



ESPERIMENTI DI FISICA

Meccanica | Termologia | Elettrologia | Ottica | Fisica atomica e moderna | Bio- e fisica medica

Trova tutti i prodotti online su 3bscientific.com

GENTILE CLIENTE,



Dr. Johannes Recht

Il catalogo degli Esperimenti di fisica e ingegneria riesaminato contiene ora oltre 135 esperimenti per il laboratorio di fisica moderna. Questa intuitiva raccolta copre l'intero spettro della fisica, da quella classica a quella moderna.

Ogni esperimento include:

- Obiettivi
- Illustrazioni facili da seguire della configurazione sperimentale
- Introduzione al contesto teorico e sperimentale
- Riepilogo dei risultati previsti dell'esperimento
- Elenco dettagliato dell'attrezzatura necessaria

Il nostro sito Web www.3bscientific.com fornisce le informazioni dettagliate e le specifiche complete dei prodotti. Molti degli esperimenti sono compatibili con il nostro sistema di registrazione dati, VinciLab o WiLab. Il potente software di valutazione Coach7 consente di registrare e analizzare i dati delle misurazioni e di eseguire un'analisi video e modeling computazionale.

Inoltre, siamo entusiasti di presentare il nuovo capitolo, Biofisica e fisica medica.

Gli argomenti in evidenza coprono i seguenti aspetti:

- Meccanica dei fluidi
- Effetto Zeeman
- Installazione e ottimizzazione di impianti fotovoltaici
- Velocità del suono nei solidi
- Neurofisiologia

Se sono necessari set personalizzati, siamo in grado di predisporli su richiesta. Il nostro obiettivo è quello di creare esperimenti per tutte le esigenze di insegnamento e apprendimento e siamo disponibili a discuterne personalmente con voi. Potete contattarci tramite telefono, e-mail o il nostro sito Web 3bscientific.com. È possibile scaricare i manuali di istruzioni e le informazioni complete sui prodotti dal sito Web in formato PDF.

Continueremo a collaborare con voi per l'allestimento del vostro laboratorio o classe.

Cordiali saluti

Dr. Johannes Recht | Direttore del segmento di Scienze naturali

METTETEVI IN CONTATTO CON NOI!



3BSCIENTIFIC.COM

Venite a trovarci online! Ordinando online si risparmia tempo ed è possibile accedere a informazioni complete sui prodotti! È inoltre possibile usare la funzione di ordine veloce!

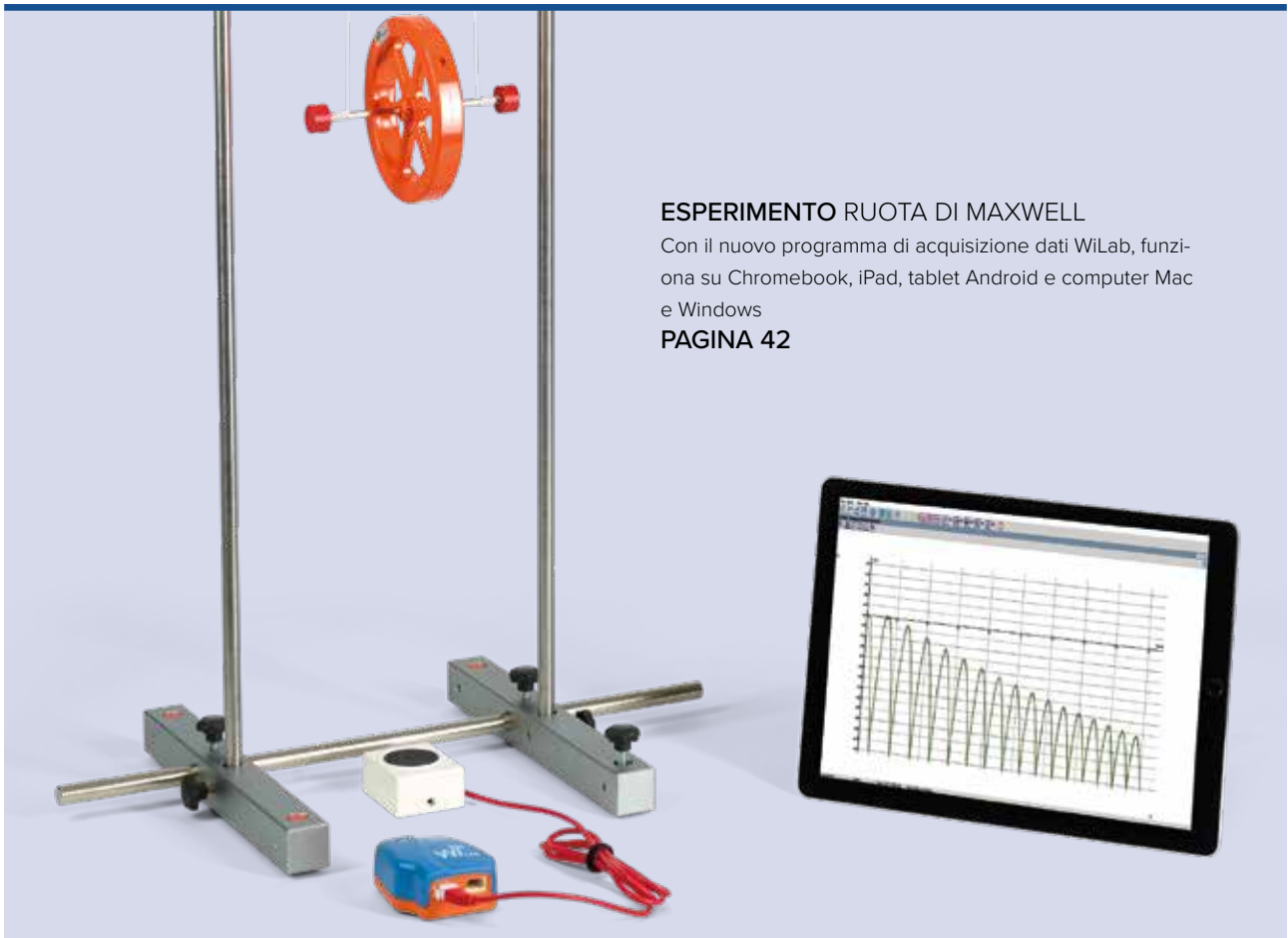


Inviateci un E-Mail all'indirizzo:
VENDITE.ITALIA@3BSCIENTIFIC.COM



Chiamateci! Saremo lieti di rispondere alle vostre domande!
+ 39 051 79 05 05



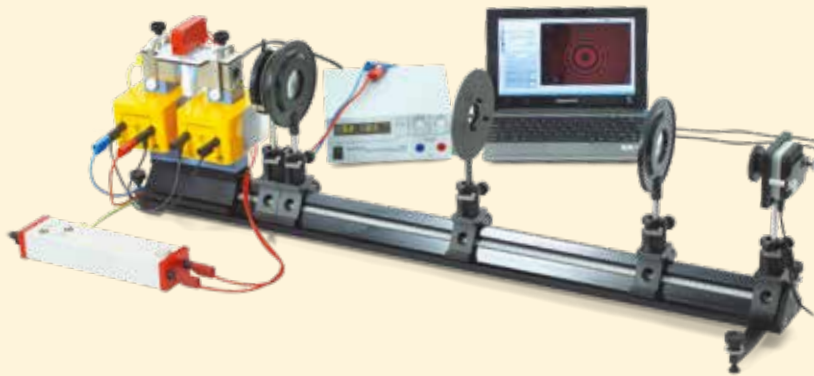


ESPERIMENTO RUOTA DI MAXWELL

Con il nuovo programma di acquisizione dati WILab, funziona su Chromebook, iPad, tablet Android e computer Mac e Windows

PAGINA 42

NUOVO ESPERIMENTO EFFETTO ZEEMAN PAGINA 244



NUOVO ESPERIMENTO SONOGRAFIA DOPPLER PAGINA 276



MECCANICA

Metodi di misurazione

Sferometro	6
Lunghezza e volume.....	8
Costante di gravitazione.....	10

Forze

Legge di Hooke.....	12
Leva unilaterale e bilaterale	14
Parallelogramma delle forze.....	16
Piano inclinato	18
Attrito statico e radente.....	20

Spinta statica

Principio di Archimede	22
------------------------------	----

Moto traslatorio

Moto uniformemente accelerato.....	24
Moto uniformemente accelerato.....	26
Leggi degli urti	28
Caduta libera	30
Moto del proiettile.....	32
Urti bidimensionali	34

Moto rotatorio

Moto rotatorio uniformemente accelerato.....	36
Momento d'inerzia I.....	38
Momento d'inerzia II.....	40
Ruota di Maxwell	42

Moti giroscopici

Precessione e nutazione di un giroscopio.....	44
--	----

Oscillazioni

Oscillazione armonica di un pendolo a filo.....	46
Oscillazione ellittica di un pendolo a filo.....	48
Pendolo gravitazionale variabile	50
Pendolo reversibile di Kater	52
Pendolo di Foucault	54
Oscillazioni armoniche	56
Pendolo di torsione del Prof. Pohl I.....	58
Pendolo di torsione del Prof. Pohl II.....	60
Oscillazioni accoppiate	62

Oscillazioni e onde

Onde meccaniche	64
-----------------------	----

CONTENUTO

ACUSTICA

lunghezza d'onda e velocità del suono

Velocità del suono nell'aria I	66
Velocità del suono nell'aria II	68
Propagazione del suono in aste	70
Propagazione del suono in corpi solidi ...	72
Effetto Debye-Sears	74

AERODINAMICA E IDRODINAMICA

Viscosità

Viscosimetro a sfera cadente	76
------------------------------------	----

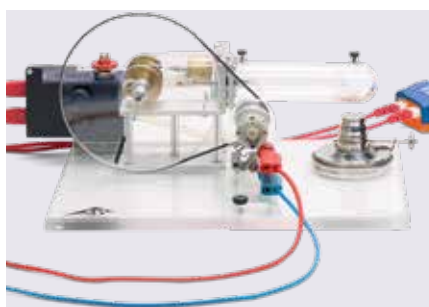
MECCANICA

Meccanica dei liquidi e dei gas

Tensione superficiale	78
-----------------------------	----

Deformazione di corpi solidi

Flessione di barre piatte	80
Torsione di barre cilindriche	82



TERMOLOGIA

Dilatazione Termica

Dilatazione termica dei solidi	84
Anomalia dell'acqua.....	86

Trasferimento di calore

Conducibilità termica	88
Cubo di Leslie	90
Energia interna.....	92
Aumento dell'energia interna attraverso il lavoro meccanico.....	92

Energia interna

Energia interna e lavoro elettrico	94
--	----

Leggi dei gas

Legge di Boyle-Mariotte	96
Legge di Amontans – Volta – Gay Lussac.....	98
L'esponente adiabatico dell'aria	100
Gas reale e punto critico	102

Motore ad aria calda

Motore stirling D	104
Motore stirling G	106
Pompa di calore.....	108



ELETTROLOGIA

Elettrostatica

Campo elettrico nelcondensatore a piastre.....	110
Tensione sul condensatore a piastre	112

Trasporto della carica e

Gocce d'acqua cariche	114
Conduzione elettrica.....	116
Il ponte di Wheatstone	118
Legge di Ohm	120
Leggi di Kirchhoff	122

Trasporto della carica e corrente

Divisore di tensione.....	124
Elettrolisi.....	126

Campo magnetico

Elettrologia	128
Bilancia Elettrodinamica.....	130
Campo magnetico di una bobina cilindrica	132
Campo geomagnetico.....	134

Induzione

Legge di induzione di Faraday	136
Induzione in un conduttore ad anello in movimento.....	138
Induzione in campo magnetico variabile	140
Pendolo di Waltenhofen	142
Trasformatore	144

Circuiti a corrente continua e alternata

Carica e scarica di un condensatore I... ..	146
Carica e scarica di un condensatore II... ..	148
Resistenza di un condensatorenel circuito a corrente alternata.....	150
Carica e scarica di una bobina	152
Resistenza di una bobina nelcircuito a corrente alternata.....	154
Impedenza in corrente alternata.....	156
Impedenza in corrente alternata.....	158
Impedenza in corrente alternata.....	160
Circuito oscillante LC	162

Oscillazioni e onde elettromagnetiche

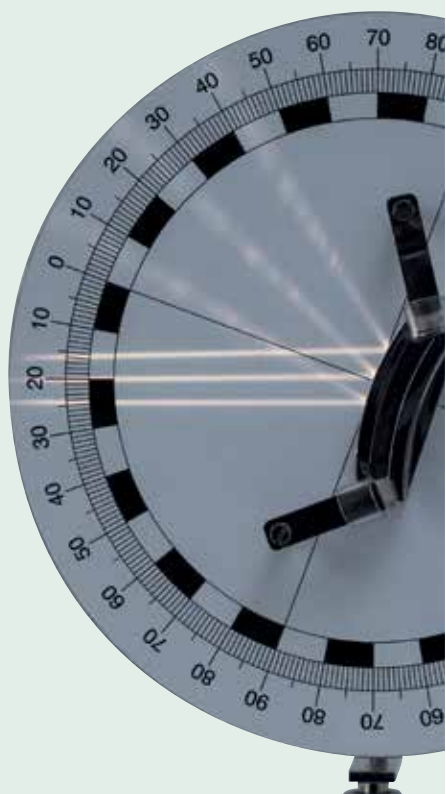
Ottica ondulatoria con microonde.....	164
---------------------------------------	-----

Tubi a fascio elettronico

Diodo a tubo	166
Triodo a tubo	168
Tubo a croce di Malta	170
Tubo di Perrin	172
Tubo di Thomson	174
Tubo a fascio filiforme.....	176
Oscilloscopio didattico I.....	178
Oscilloscopio didattico II.....	180

Elettronica

Transistor bipolare	182
Transistor ad effetto di campo	184



OTTICA

Ottica geometrica

Riflessione su uno specchio.....	186
Rifrazione della luce.....	188
Equazioni delle lenti.....	190

Colori

Spettri di trasmissione.....	192
------------------------------	-----

Ottica ondulatoria

Diffrazione da singola fenditura.....	194
Diffrazione da fenditure multiple e reticoli.....	196
Biprisma di Fresnel.....	198
Anelli di Newton.....	200

Interferometro

Interferometro di Michelson.....	202
----------------------------------	-----

Ottica ondulatoria

Interferometro di Mach-Zehnder.....	204
-------------------------------------	-----

Polarizzazione

Legge di Malus.....	206
Attività ottica.....	208
Effetto Pockels.....	210
Effetto Faraday.....	212

Intensità di radiazione

Legge del quadrato della distanza.....	214
Legge di Stefan-Boltzmann.....	216

Velocità della luce

Determinazione della velocità della luce.....	218
---	-----

Fisica del laser

Laser Nd:YAG.....	220
Q-switching di un laser Nd:YAG.....	222
Laser Nd:YAG.....	224

Spettrometri

Spettrometro A Prisma.....	226
----------------------------	-----



FISICA ATOMICA E NUCLEARE

Esperimenti introduttivi sulla fisica atomica

Costante di Planck.....	228
Esperimento di Millikan.....	230

Principi di fisica atomica

Diffrazione degli elettroni.....	232
----------------------------------	-----

Guscio dell'atomo

Spettri a righe I.....	234
Spettri a righe II.....	236
Esperimento di Franck-Hertz sul mercurio.....	238
Esperimento di Franck-Hertz sul neon.....	240
Potenziali critici.....	242

Guscio elettronico

Effetto zeeman normale.....	244
-----------------------------	-----

Risonanza magnetica

Risonanza di spin elettronico.....	246
Risonanza magnetica nucleare.....	248

FISICA DELLO STATO SOLIDO

Fenomeni di conduzione

Conduzione elettrica nei semiconduttori.....	250
Effetto Hall nei semiconduttori.....	252

Fenomeni di conduzione

Fotoconduzione.....	254
Effetto Seebeck.....	256

FISICA DEI RAGGI RÖNTGEN

Diffrattometria

Riflessione di Bragg.....	258
---------------------------	-----

Spettroscopia energetica

Fluorescenza a raggi X.....	260
-----------------------------	-----



ENERGIA E AMBIENTE

Fotovoltaico

Sistemi fotovoltaici.....	262
Impianti fotovoltaici in ombra.....	262-267



BIOFISICA

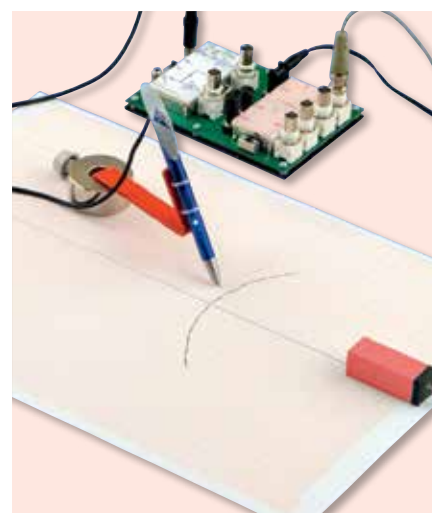
Neurofisiologia

Neurofisiologia.....	268
----------------------	-----

FISICA MEDICA

Ultrasuono

Biometria a ultrasuoni.....	270
Tomografia computerizzata a ultrasuoni.....	272
Meccanica di flusso.....	274
Sonografia Doppler.....	276

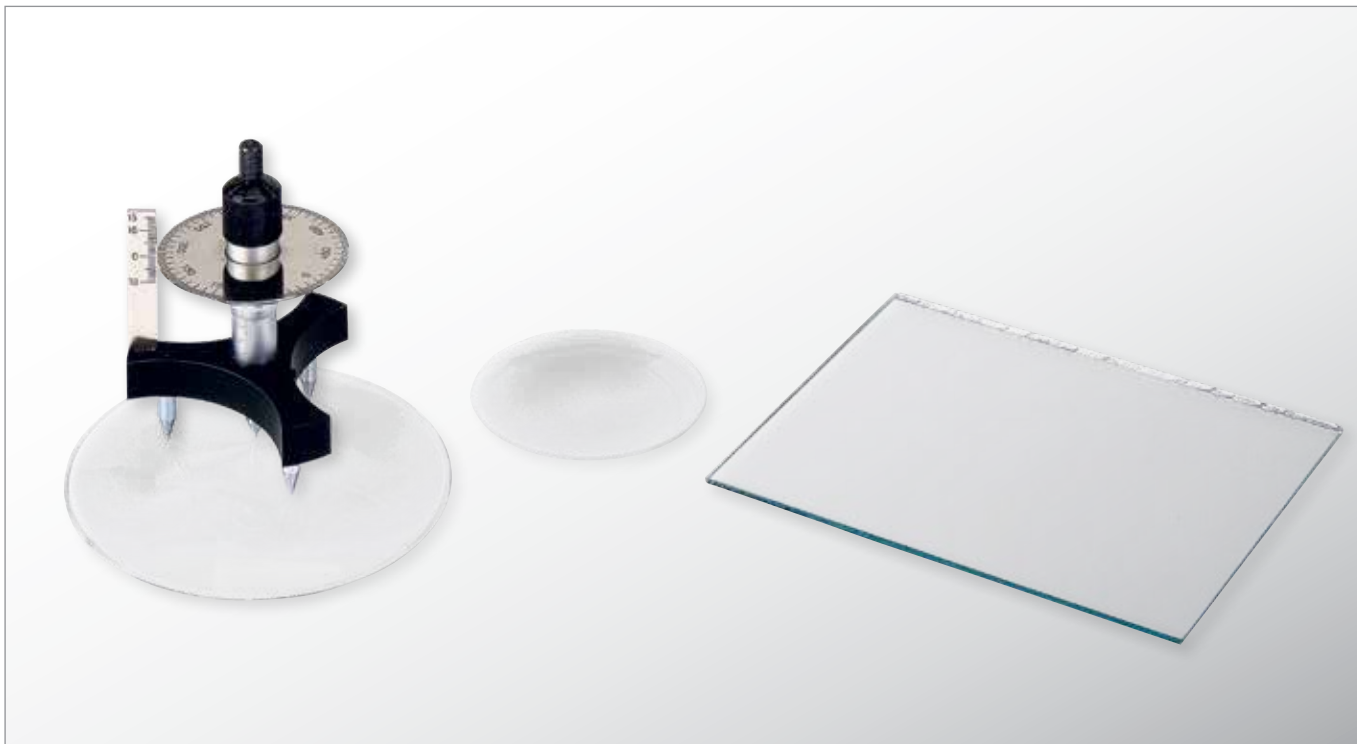


ESPERIMENTI SCOLASTICI

KIT DI ESPERIMENTI PER STUDENTI

Oscillazioni e onde meccaniche.....	278
Onde ultrasonore.....	280
Ottica di Kröncke.....	282
Elettrotecnica e magnetismo.....	284
Elettronica.....	286
Energia solare.....	288
Propagazione del suono in corpi solidi.....	290

UE1010100 | SFEROMETRO



> FUNZIONI

- Misurazione delle altezze di bombatura h di due vetri per orologio ad una distanza definita s tra le punte di base dello sferometro.
- Calcolo dei raggi di curvatura R dei due vetri per orologio.
- Confronto del metodo per curvature convesse e concave.

SCOPO

Determinazione dei raggi di curvatura sui vetri per orologio

RIASSUNTO

Dall'altezza della bombatura h di una superficie sferica sopra o sotto un piano definito dai punti d'angolo di un triangolo equilatero è possibile stabilire il raggio di curvatura R della superficie sferica. Questa determinazione è possibile per curvature concave o convesse e concava della superficie sferica.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Sferometro di precisione	1002947
1	Specchio piano	1003190
1	Set di 10 vaschette in vetro da orologio, 80 mm	1002868
1	Set di 10 vaschette in vetro da orologio, 125 mm	1002869

BASI GENERALI

Lo sferometro consta di un treppiede con tre punte in acciaio come basi, che formano un triangolo equilatero di lato 50 mm. Attraverso il centro del treppiede viene condotta una vite micrometrica con punta di misura. Una scala verticale indica l'altezza h della punta di misura sopra o sotto il piano definito dalle punte di base. Lo spostamento della punta di misura può essere letto con una precisione di $1\ \mu\text{m}$ mediante una scala su un disco circolare che gira con la vite micrometrica.

Tra la distanza r delle punte di base del centro dello sferometro, il raggio di curvatura cercato R e l'altezza della bombatura h vale la relazione

$$(1) \quad R^2 = r^2 + (R-h)^2$$

Invertendo, per R si ottiene quindi:

$$(2) \quad R = \frac{r^2 + h^2}{2 \cdot h}$$

La distanza r si calcola dal lato s del triangolo equilatero formato dalle punte di base:

$$(3) \quad r = \frac{s}{\sqrt{3}}$$

L'equazione condizionale per R è quindi:

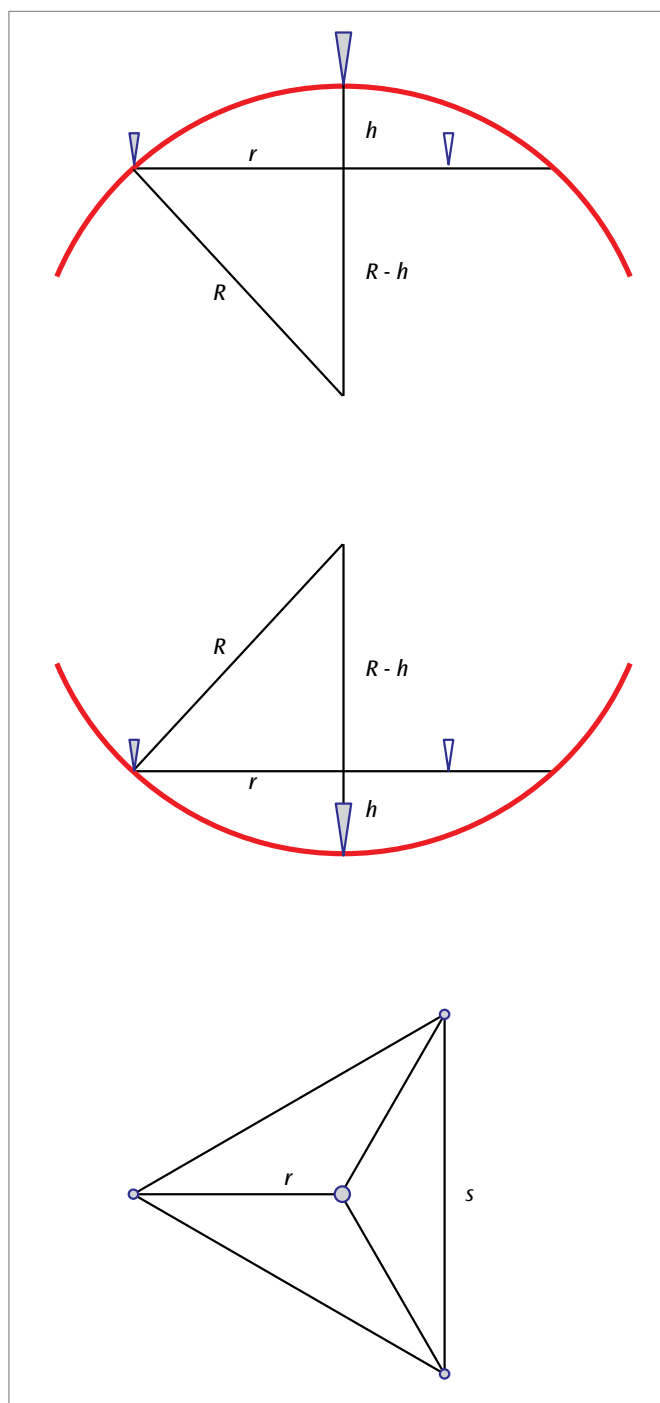
$$(4) \quad R = \frac{s^2}{6 \cdot h} + \frac{h}{2}$$

ANALISI

La distanza tra le punte di base s dello sferometro utilizzato ammonta a 50 mm. Per altezze di bombature h ridotte (4) può quindi essere semplificata in

$$R = \frac{s^2}{6 \cdot h} = \frac{2500\text{mm}^2}{6 \cdot h} \approx \frac{420\text{mm}^2}{h}$$

Sulla scala dello sferometro sono leggibili altezze di bombatura tra 10 mm e $1\ \mu\text{m}$ con una precisione di lettura di $1\ \mu\text{m}$. In questo modo, possono essere determinati raggi di curvatura da ca. 40 mm a ca. 400 mm



Rappresentazione schematica per la misurazione del raggio di curvatura con uno sferometro

In alto: Sezione trasversale per oggetto di misurazione con superficie convessa

Centro: Sezione trasversale per oggetto di misurazione con superficie concava

In basso: Osservazione dall'alto

UE1010200 | LUNGHEZZA E VOLUME



> FUNZIONI

- Determinazione della misura esterna di un corpo di forma irregolare.
- Determinazione della misura interna di un corpo di forma irregolare.
- Determinazione della misura in profondità di un corpo di forma irregolare.
- Calcolo e misurazione del volume.

SCOPO

Misurazione di un corpo di forma irregolare

RIASSUNTO

Per la misurazione precisa di lunghezze non troppo grandi si utilizzano i calibri a corsoio. Essi sono adatti per la misurazione di misure esterne, interne e in profondità, come viene dimostrato con l'esempio di un corpo di forma irregolare. Il calcolo del volume di un corpo dai dati acquisiti è relativamente complicato. Un'altra determinazione avviene secondo il metodo del traboccamento.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Calibro a corsoio, 150 mm	1002601
1	Oggetto per esercitazioni di misurazione	1006889
1	Vaso di troppopieno, trasparente	1003518
1	Cilindro graduato, 100 ml	1002870
1	Laborboy II	1002941
1	Corda sperimentale	1001055
1	Set di 10 becher, forma alta	1002873

BASI GENERALI

Per la misurazione precisa di lunghezze non troppo grandi si utilizzano i calibri a corsoio. Di norma sono composti da due grandi bracci di misura per la determinazione delle misure esterne, due becchi incrociati per la determinazione delle misure interne e un'asta per la misurazione in profondità di fori e intagli.

Per evitare errori sistematici di misurazione, il calibro a corsoio deve essere applicato in ogni caso non inclinato, per quanto possibile. La precisione di lettura viene classicamente aumentata di qualche frazione di millimetro con il cosiddetto nonio. I millimetri pieni vengono letti a sinistra dello zero del nonio. La frazione decimale è individuata quando una lineetta del nonio si copre con una lineetta della scala millimetrica.

Se è disponibile un recipiente di traboccamento, è possibile determinare il volume secondo il metodo del traboccamento. Il corpo viene immerso nel recipiente riempito con acqua provocando un traboccamento e facendo fluire il liquido in un cilindro graduato. Il volume di acqua spinto fuori dal recipiente corrisponde al volume V del corpo stesso.

ANALISI

Di norma si effettua più volte una misurazione e si calcola il valore medio dei valori determinati.

Per il calcolo del volume, il volume viene suddiviso in volumi parziali di corpi di forma regolare, che vengono sommati o sottratti ad es. nei fori.

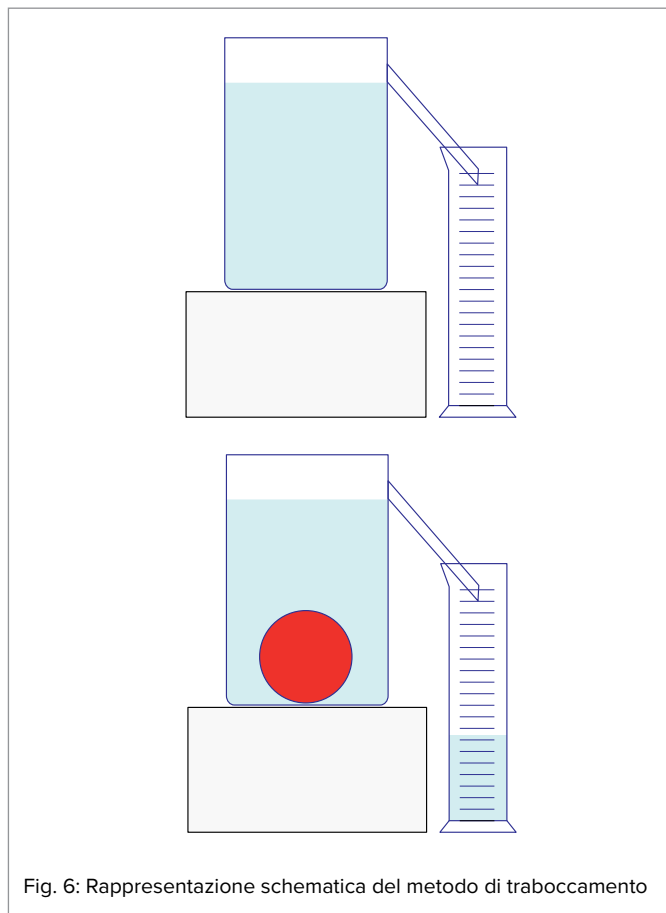


Fig. 6: Rappresentazione schematica del metodo di traboccamento

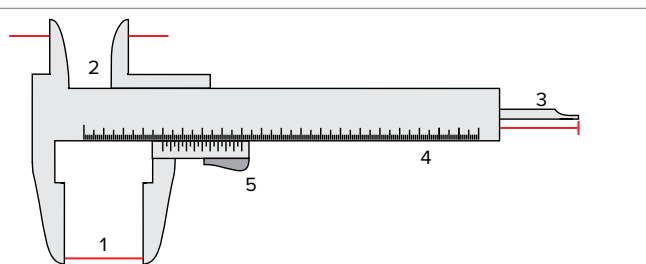


Fig. 1: Bracci di misura per misurazione esterna (1), becchi incrociati per misurazione interna (2), asta per la misurazione in profondità (3), scala millimetrica (4), cursore con nonio (5)

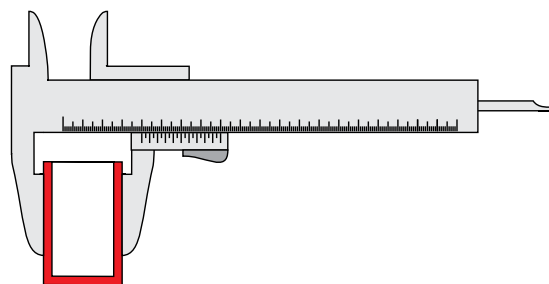


Fig. 2: Determinazione di una misura esterna

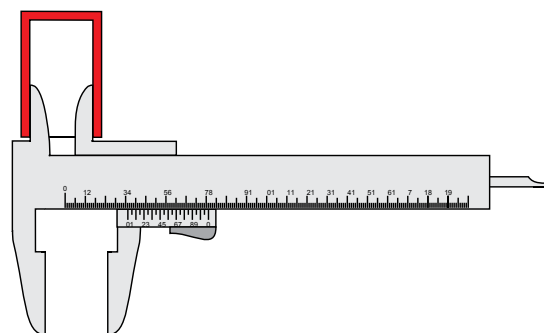


Fig. 3: Determinazione di una misura interna

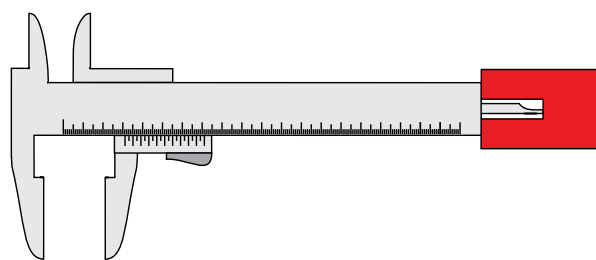


Fig. 4: Determinazione della profondità di foratura

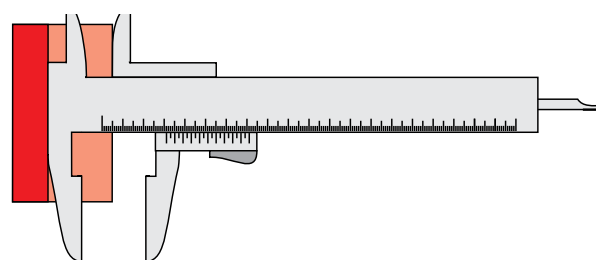


Fig. 5: Determinazione di un'altezza

UE1010300 | COSTANTE DI GRAVITAZIONE



> FUNZIONI

- Determinazione della posizione di equilibrio di partenza del pendolo di torsione.
- Registrazione dell'oscillazione del pendolo di torsione intorno alla posizione finale di equilibrio e determinazione del periodo di oscillazione.
- Determinazione della posizione finale di equilibrio.
- Calcolo della costante di gravitazione G .

SCOPO

Misurazione della forza gravitazionale e determinazione della costante di gravitazione con la bilancia di torsione di Cavendish

RIASSUNTO

Il nucleo centrale della bilancia di torsione di Cavendish è rappresentato da un pendolo di torsione sensibile munito di due sfere di piombo piccole, a loro volta attratte da una coppia di sfere grandi, anch'esse di piombo. La posizione delle sfere di piombo più grandi determina pertanto la posizione di equilibrio del pendolo di torsione. Spostando le sfere grandi in una seconda posizione specularmente simmetrica alla prima rispetto alla massa delle sfere piccole, dopo un periodo di transizione il pendolo di torsione assume una nuova posizione di equilibrio. La costante di gravitazione si ricava dalle due posizioni di equilibrio e dalle misure geometriche della disposizione. Il fattore determinante è l'equilibrio fra la forza gravitazionale e il momento torcente di richiamo del filo di torsione. Le oscillazioni del pendolo di torsione vengono misurate con un sensore differenziale capacitivo, che sopprime completamente le percentuali di rumore e vibrazione nel segnale. Il filo in tungsteno è talmente sottile che il periodo di oscillazione del pendolo di torsione è dell'ordine di pochi minuti. Nell'arco di un'ora sono pertanto osservabili diverse oscillazioni intorno alla posizione di equilibrio.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Bilancia di torsione di Cavendish	1003337
1	Diodo laser, rosso 230V	1003201 o
	Diodo laser, rosso 115V	1022208
1	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
1	Manicotto universale	1002830
1	Asta di supporto, 100 mm	1002932
Ulteriormente consigliato		
1	Calibro a corsoio, 150 mm	1002601
1	Bilancia elettronica 5200 g	1022587

BASI GENERALI

Nella misurazione delle forze gravitazionali fra due masse nell'esperimento di laboratorio, tutte le masse circostanti hanno in linea di principio un effetto di disturbo. Nel caso della bilancia di torsione di Cavendish questo problema viene in massima parte aggirato, in quanto si eseguono due misurazioni con posizioni specularmente simmetriche delle masse.

Il nucleo centrale della bilancia di torsione di Cavendish è rappresentato da un pendolo di torsione sensibile munito di due sfere di piombo piccole, a loro volta attratte da una coppia di sfere grandi, anch'esse di piombo. La posizione delle sfere di piombo più grandi determina pertanto la posizione di equilibrio del pendolo di torsione. Spostando le sfere grandi in una seconda posizione specularmente simmetrica alla prima rispetto alla massa delle sfere piccole, dopo un periodo di transizione il pendolo di torsione assume una nuova posizione di equilibrio. La costante di gravitazione si ricava dalle due posizioni di equilibrio e dalle misure geometriche della disposizione. Il fattore determinante è l'equilibrio fra la forza gravitazionale e il momento torcente del filo di torsione.

La forza gravitazionale è data da

$$(1) \quad F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

G : costante di gravitazione

m_1 : massa di una sfera di piombo piccola,

m_2 : massa di una sfera di piombo grande,

d : distanza fra sfera piccola e sfera grande nella posizione di misurazione.

Quando le due sfere di piombo grandi si trovano in posizione di misurazione, essa devia il pendolo di torsione dalla posizione di origine. Per il momento deviante vale

$$(2) \quad M_1 = 2 \cdot F \cdot r$$

r : distanza delle sfere di piombo piccole dalla sospensione dell'asta

Deviando il pendolo di torsione di un angolo φ , agisce il momento torcente di richiamo

$$(3) \quad M_2 = D \cdot \varphi$$

D : costante di collegamento angolare del filo di tungsteno del sottile filo di tungsteno cui l'asta del pendolo di torsione è appesa. Nella posizione di equilibrio, M_1 e M_2 coincidono.

La costante di collegamento angolare D si rileva dal periodo di oscillazione T con cui il pendolo di torsione oscilla intorno alla propria posizione di equilibrio.

$$(4) \quad D = J \cdot \frac{4\pi^2}{T^2}$$

Il momento d'inerzia J risulta pertanto composto dal momento d'inerzia J_s delle due sfere di piombo piccole e dal momento d'inerzia J_K dell'asta sospesa

$$(5) \quad J = 2 \cdot m_1 \cdot r^2 + \frac{m_B}{12} \cdot (a^2 + b^2)$$

m_B : massa dell'asta sospesa

a, b : lunghezza e larghezza dell'asta sospesa.

Per le due sfere di piombo grandi sono previste due posizioni di misurazione specularmente simmetriche, cui appartengono due angoli di deviazione φ e φ' così come due momenti devianti uguali e contrapposti. Da (2) e (3) segue pertanto un equilibrio.

$$(6) \quad 4 \cdot F \cdot r = D \cdot (\varphi - \varphi') = D \cdot \Delta\varphi$$

Nell'esperimento le oscillazioni del pendolo di torsione vengono misurate con un sensore differenziale capacitivo, che sopprime completamente le percentuali di rumore e vibrazione nel segnale. Il filo in tungsteno è talmente sottile che il periodo di oscillazione del pendolo di torsione è dell'ordine di pochi minuti. Nell'arco di un'ora sono pertanto osservabili diverse oscillazioni intorno alla posizione di equilibrio. È possibile utilizzare uno specchio fissato al pendolo di torsione per realizzare un indice luminoso in grado di rendere osservabili a occhio nudo le oscillazioni. Ciò consente di semplificare notevolmente la necessaria regolazione e calibrazione della bilancia di torsione.

ANALISI

Dalle equazioni (1), (4), (5) e (6) si ottiene previa conversione:

$$G = \frac{\Delta\varphi}{m_2} \cdot \frac{d^2 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot \left(2 \cdot r + \frac{1}{12} \cdot \frac{m_B}{m_1} \cdot \frac{a^2 + b^2}{r} \right)$$

In questa sede, non si è ancora considerato che ciascuna delle due sfere di piombo piccole viene attratta anche dalle sfere di piombo grandi lontane e pertanto il momento torcente sul pendolo di torsione risulta leggermente inferiore a quanto finora calcolato. In tal senso, è possibile correggere senza problemi l'equazione (2), poiché tutte le distanze sono note.

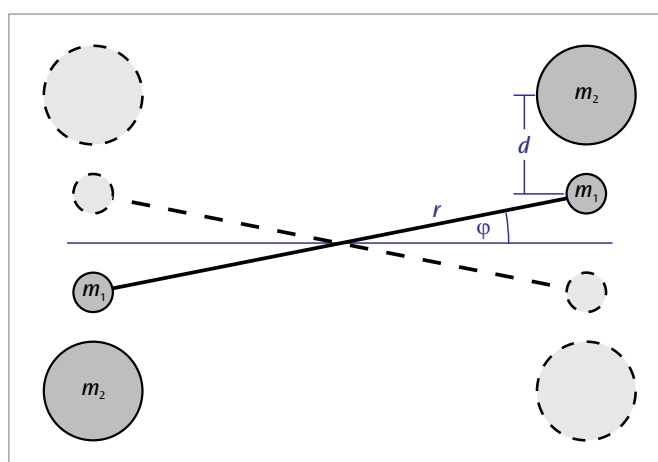


Fig. 1: Rappresentazione schematica della disposizione per la misurazione con la bilancia di torsione di Cavendish

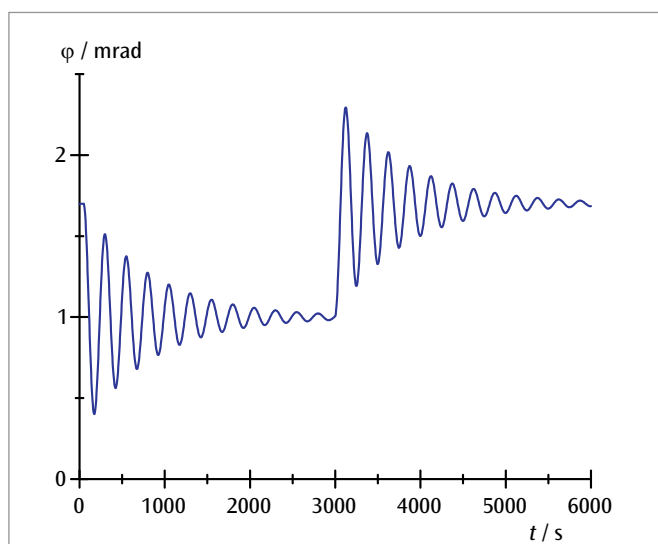


Fig. 2: Angolo di deviazione del pendolo di torsione in funzione del tempo con doppio cambio della posizione di misurazione per le sfere di piombo grandi

UE1020100 | LEGGE DI HOOKE



SCOPO

Conferma della legge di Hooke per molle elicoidali in tensione

> FUNZIONI

- Conferma della legge di Hooke e determinazione dell'indice di rigidità per cinque diverse molle elicoidali.
- Confronto degli indici di rigidità misurati con quelli calcolati.

RIASSUNTO

In un corpo elastico, deformazione e tensione sono proporzionali tra loro. Tale correlazione riscontrata da *Robert Hooke* viene spesso analizzata su una molla elicoidale caricata con un peso. La variazione di lunghezza della molla elicoidale è proporzionale al peso F agganciato. Nell'esperimento si misurano cinque diverse molle elicoidali in tensione i cui indici di rigidità, grazie ad un'ideale selezione di diametro del filo e diametro spire, si differenziano complessivamente di un ordine di grandezza. In tutti i casi, la validità della legge di Hooke per forze superiori al pretensionamento risulta confermata.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Set molle ad elica per verificare la legge di Hooke	1003376
1	Set pesi a fessura 20 – 100 g	1003226
1	Scala per altezza, 1 m	1000743
1	Set indicatori per scale	1006494
1	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
1	Asta di supporto, 1000 mm	1002936
1	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
1	Manicotto con gancio	1002828
Ulteriormente consigliato		
1	Calibro a corsoio, 150 mm	1002601
1	Micrometro con staffa	1002600

BASI GENERALI

In un corpo elastico, espansione e tensione sono proporzionali tra loro. Tale correlazione riscontrata da *Robert Hooke* descrive bene il comportamento di molti materiali con una deformazione sufficientemente ridotta. Per illustrare tale correlazione, la legge di Hooke viene spesso analizzata con una molla elicoidale caricata con un peso. La variazione di lunghezza della molla elicoidale è in questo caso proporzionale al peso F agganciati.

Va considerato più attentamente il pretensionamento che la molla può presentare a seconda del processo produttivo. Esso deve essere compensato con un peso F_1 in grado di espandere la molla dalla lunghezza in assenza di carico s_0 alla lunghezza s_1 . Per pesi superiori a F_1 , la legge di Hooke vale nella seguente forma

$$(1) \quad F - F_1 = k \cdot (s - s_1)$$

purché la lunghezza s della molla allungata non diventi eccessiva.

L'indice di rigidezza k dipende dal materiale e dalle dimensioni geometriche. Per una molla elicoidale cilindrica con n spire di diametro costante D vale

$$(2) \quad k = G \cdot \frac{d^4}{D^3} \cdot \frac{1}{8 \cdot n}$$

d : diametro del filo della molla

Il modulo di taglio G ammonta, nel caso di fili in acciaio, a 81,5 GPa.

Nell'esperimento si misurano cinque diverse molle elicoidali in tensione i cui indici di rigidezza, grazie ad un'ideale selezione di diametro del filo e diametro spire, si differenziano complessivamente di un ordine di grandezza. In tutti i casi, la validità della legge di Hooke per forze superiori al pretensionamento risulta confermata.

ANALISI

La forza peso F viene calcolata con una precisione sufficiente a partire dalla massa appesa m in base alla formula

$$F = m \cdot 10 \frac{m}{s^2}$$

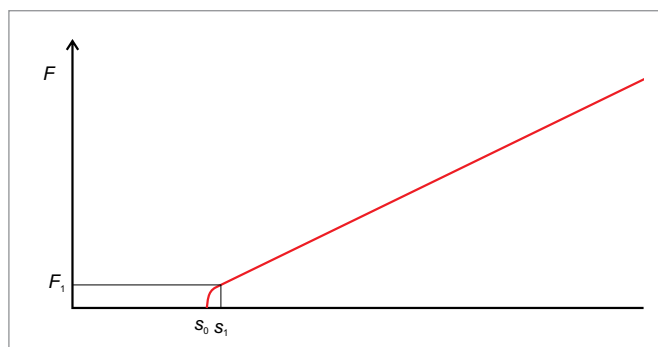


Fig. 1: Rappresentazione schematica di una molla elicoidale in tensione di lunghezza s con pretensionamento

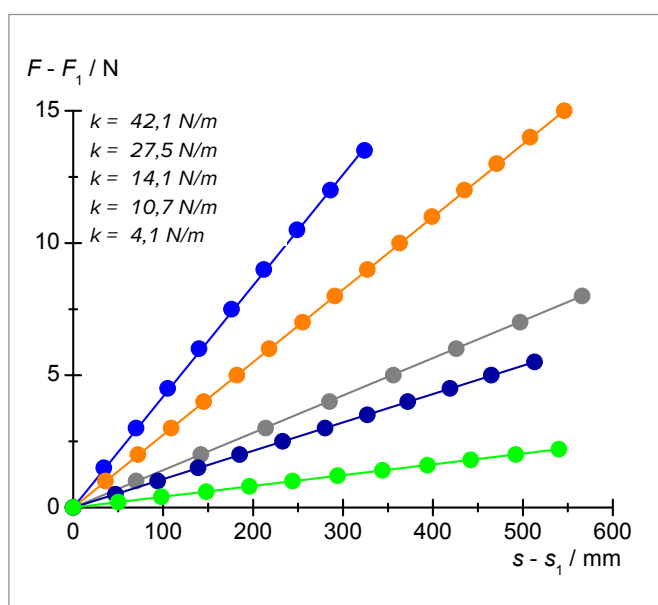


Fig. 2: Carico come funzione della variazione di lunghezza

UE1020200 | LEVA UNILATERALE E BILATERALE



> FUNZIONI

- Misurazione della forza F_1 in base al carico F_2 , al braccio del carico x_2 e al braccio della forza x_1 con leva unilaterale.
- Misurazione della forza F_1 in base al carico F_2 , al braccio del carico x_2 e al braccio della forza x_1 con leva bilaterale.

SCOPO

Conferma della legge sulle leve

RIASSUNTO

Dall'equilibrio dei momenti torcenti deriva la legge sulle leve che ha validità sia per le leve unilaterali che per quelle bilaterali. Rappresenta la base fisica per le trasmissioni meccaniche della forza di tutti i tipi.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Braccio di leva	1008539
1	Dinamometro di precisione 2 N	1003105
1	Dinamometro di precisione 5 N	1003106

BASI GENERALI

Una leva è un corpo rigido collocato in modo da poter ruotare intorno a un asse fisso e che serve per sollevare e spostare carichi. I bracci di leva sono i tratti tra il punto di rotazione e il punto di applicazione della forza o del carico. Il braccio ove è applicata la forza si dice braccio-potenza mentre quello ove il carico applica la sua forza resistente si dice braccio-resistenza. Nella leva unilaterale, la forza F_1 e il carico F_2 agiscono sullo stesso lato dell'asse di rotazione in direzione opposta l'una rispetto all'altra. Nella leva bilaterale, la forza F_1 e il carico F_2 agiscono su lati diversi dell'asse di rotazione nella stessa direzione.

Per entrambe le varianti dall'equilibrio dei momenti torcenti deriva la cosiddetta legge sulle leve:

$$(1) \quad F_1 \cdot x_1 = F_2 \cdot x_2$$

Rappresenta la base fisica per le trasmissioni meccaniche della forza di tutti i tipi.

ANALISI

Dai valori di misurazione si calcolano e si confrontano tra loro i prodotti

$$F_1 \cdot x_1 \text{ e } F_2 \cdot x_2$$

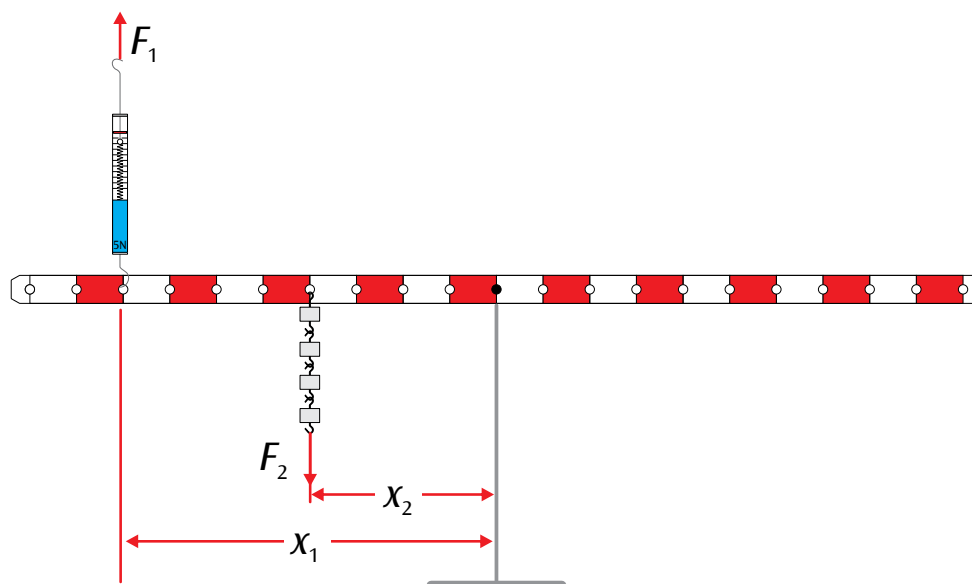


Fig. 1: Leva unilaterale

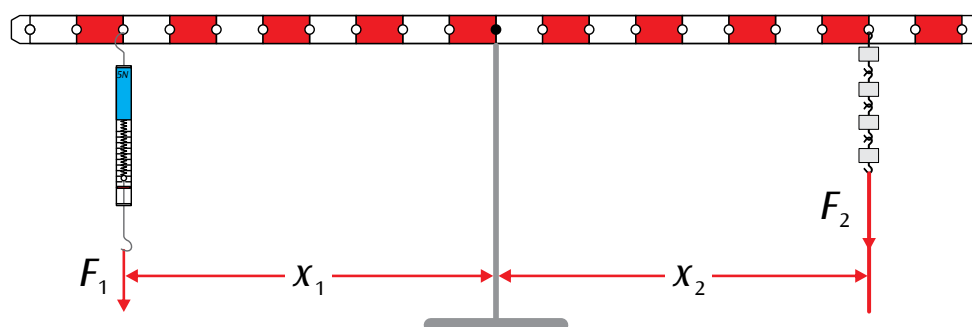


Fig. 2: Leva bilaterale

UE1020300 | PARALLELOGRAMMA DELLE FORZE



> FUNZIONI

- Analisi grafica dell'equilibrio di tre forze singole qualsiasi.
- Analisi analitica dell'equilibrio in caso di allineamento simmetrico di F_1 e F_2 .

SCOPO

Analisi sperimentale della somma vettoriale delle forze

RIASSUNTO

Sul tavolo delle forze è possibile verificare in modo semplice e chiaro la somma vettoriale delle forze. A tale scopo il punto di applicazione di tre forze singole in equilibrio tra loro si trova esattamente nel centro. I valori delle singole forze vengono determinati in base alle masse sospese e la loro direzione viene letta come angolo sulla scala angolare. La valutazione del risultato sperimentale può essere effettuata in modo grafico o analitico.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tavolo delle forze	1000694

BASI GENERALI

Le forze sono vettori, cioè si sommano tra loro secondo le regole della somma vettoriale. Ai fini della somma - interpretata graficamente - il punto iniziale del secondo vettore viene disposto in corrispondenza del punto finale del primo vettore. La freccia tracciata dal punto iniziale del primo vettore al punto finale del secondo vettore rappresenta il vettore risultato. Se i due vettori sono interpretati come i lati di un parallelogramma, il vettore risultato è la diagonale (vedi fig. 1).

Sul tavolo delle forze è possibile verificare in modo semplice e chiaro la somma vettoriale delle forze. A tale scopo il punto di applicazione di tre forze singole in equilibrio tra loro si trova esattamente nel centro. I valori delle singole forze vengono determinati in base alle masse sospese e la loro direzione viene letta come angolo sulla scala angolare.

In caso di equilibrio delle forze la somma delle forze singole è

$$(1) \quad F_1 + F_2 + F_3 = 0$$

La forza $-F_3$ è quindi la somma delle forze singole F_1 e F_2 (vedi fig. 2)

$$(2) \quad -F_3 = F = F_1 + F_2$$

Per la componente del vettore parallela alla somma F vale

$$(3) \quad -F_3 = F = F_1 \cdot \cos \alpha_1 + F_2 \cdot \cos \alpha_2$$

e per la componente perpendicolare ad essa

$$(4) \quad 0 = F_1 \cdot \sin \alpha_1 + F_2 \cdot \sin \alpha_2$$

Le equazioni (3) e (4) descrivono la somma vettoriale in modo analitico. Per la verifica sperimentale è opportuno collocare la forza F_3 sull'angolo 0.

In alternativa all'interpretazione analitica, l'equilibrio delle forze può anche essere analizzato graficamente. A tale scopo inizialmente tutte le tre forze vengono disegnate a partire dal punto di applicazione centrale con il loro valore e il loro angolo. In seguito le forze F_2 e F_3 vengono spostate parallelamente, finché il relativo punto iniziale non si trova in corrispondenza della fine del vettore precedente. Come risultato è previsto il vettore nullo (vedere fig. 3). Nell'esperimento ciò viene riprodotto per tre forze singole qualsiasi in equilibrio tra loro.

L'interpretazione analitica nell'esperimento è limitata al caso speciale, in cui le due forze F_1 e F_2 sono simmetriche rispetto a F_3 .

ANALISI

Nel caso della simmetria ($F_1 = F_2$ e $\alpha_1 = -\alpha_2$) l'equazione (4) è ovviamente soddisfatta. A partire dall'equazione 4, l'equazione condizionale utilizzata nella fig. 4 per descrivere i dati misurati per la somma delle forze diventa

$$F = 2 \cdot F_1 \cdot \cos \alpha_1$$

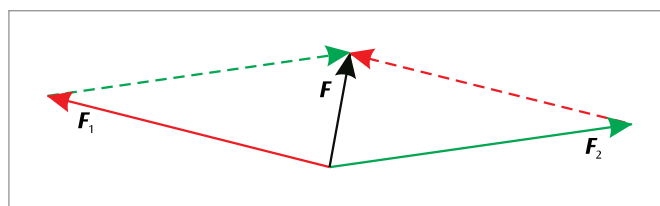


Fig. 1: Somma vettoriale di forze (Parallelogramma delle forze)

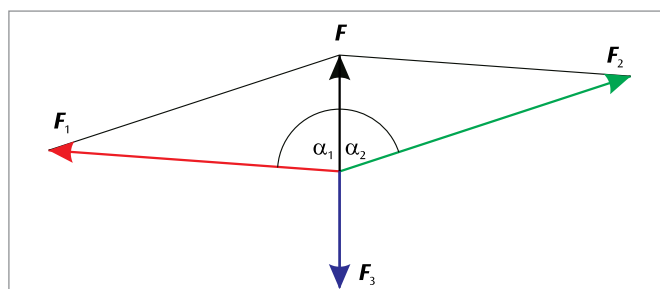


Fig. 2: Determinazione della somma vettoriale di due forze F_1 e F_2 a partire dalla forza F_3 che mantiene l'equilibrio

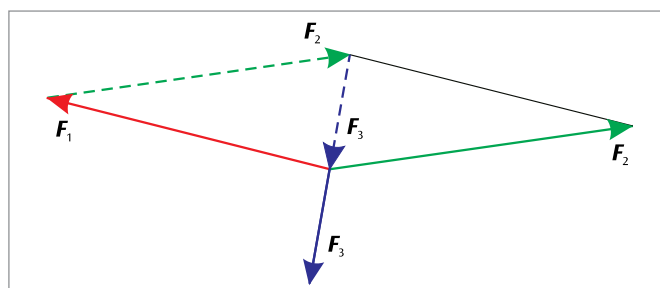


Fig. 3: Analisi grafica dell'equilibrio di tre forze singole allineate in modo qualsiasi

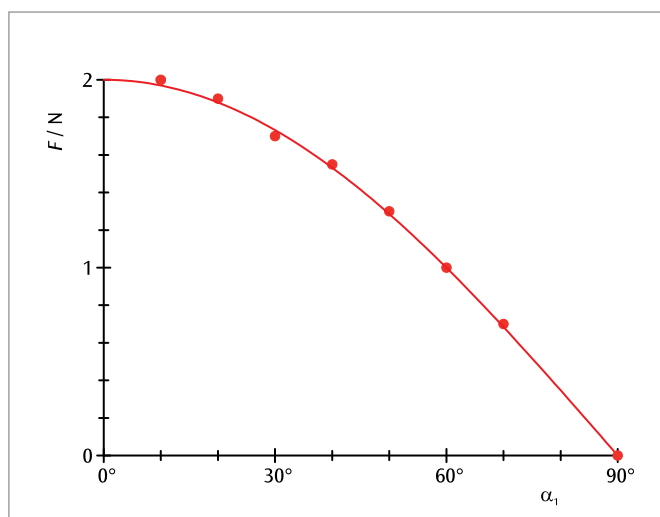


Fig. 4: Somma misurata e calcolata di due forze simmetriche in funzione dell'angolo di apertura α_1

UE1020400 | PIANO INCLINATO



> FUNZIONI

- Misurazione della forza di trazione F_1 di un corpo in base all'angolo di inclinazione α sul piano inclinato.
- Rappresentazione del rapporto tra la forza di trazione F_1 e il peso G in funzione di $\sin \alpha$.

SCOPO

Determinazione della forza resistente

RIASSUNTO

Se un corpo sul piano inclinato deve essere tirato verso l'alto, non si deve superare il peso G del corpo, ma la forza resistente F_1 . Essa agisce parallelamente al piano e il suo valore è inferiore al peso. Ciò vale tanto più quanto più piccolo è l'angolo di inclinazione α del piano.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Piano inclinato	1003213
1	Dinamometro di precisione 5 N	1003106
1	Set di pesatura, da 1 g a 500 g	1010189

BASI GENERALI

Se un corpo sul piano inclinato deve essere tirato verso l'alto, non si deve superare il peso G del corpo, ma la forza resistente F_1 . Essa agisce parallelamente al piano e il suo modulo è inferiore a quello del peso. Come differenza vettoriale tra il peso e la forza resistente rimane la forza normale F_2 che agisce verticalmente rispetto al piano, vedere fig. 1.

Per i valori delle forze vale:

$$(1) \quad F_1 = G \cdot \sin \alpha$$

e

$$(2) \quad F_2 = G \cdot \cos \alpha.$$

La forza resistente è quindi tanto più piccola quanto più piccolo è l'angolo di inclinazione α del piano.

Nell'esperimento il corpo è appeso a un filo che viene condotto attraverso una puleggia. La forza resistente viene compensata con delle masse su un piatto appeso all'altro capo del filo. Poiché l'attrito statico esercita una forza di modulo sconosciuto ma tale da opporsi all'inizio del moto, come valore misurato per la forza resistente viene assunto il valore medio tra la forza limite che non fa scivolare il corpo verso il basso e quella che non lo tira verso l'alto. Il peso del corpo viene determinato prima con un dinamometro. Anche il peso del piatto viene conteggiato. L'angolo di inclinazione α viene letto su una scala angolare.

ANALISI

Per l'analisi, le forze resistenti F_1 determinate per diversi angoli di inclinazione α vengono messe in relazione con il peso G del corpo e inserite in un diagramma rapportate a $\sin \alpha$. I valori di misurazione si trovano su una retta attraverso l'origine, nei limiti della precisione di misurazione.

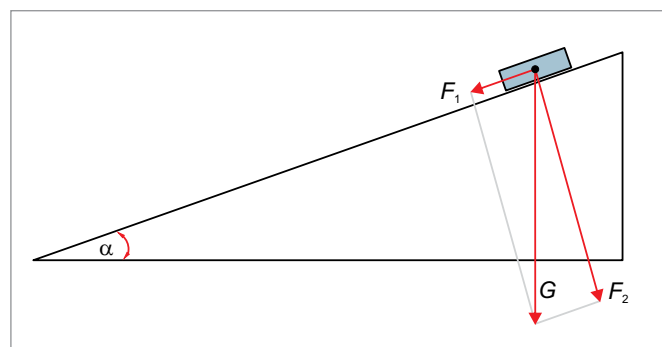


Fig. 1: Scomposizione vettoriale del peso G nella forza resistente F_1 e forza normale F_2

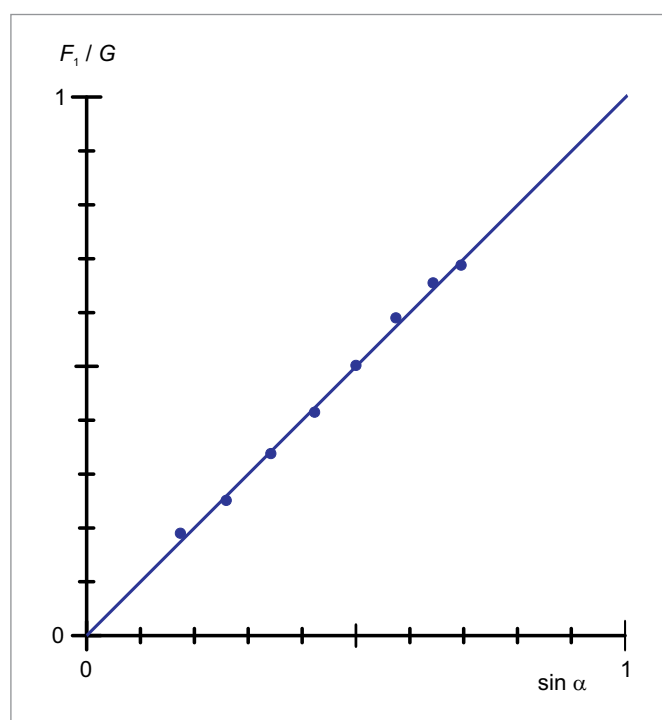
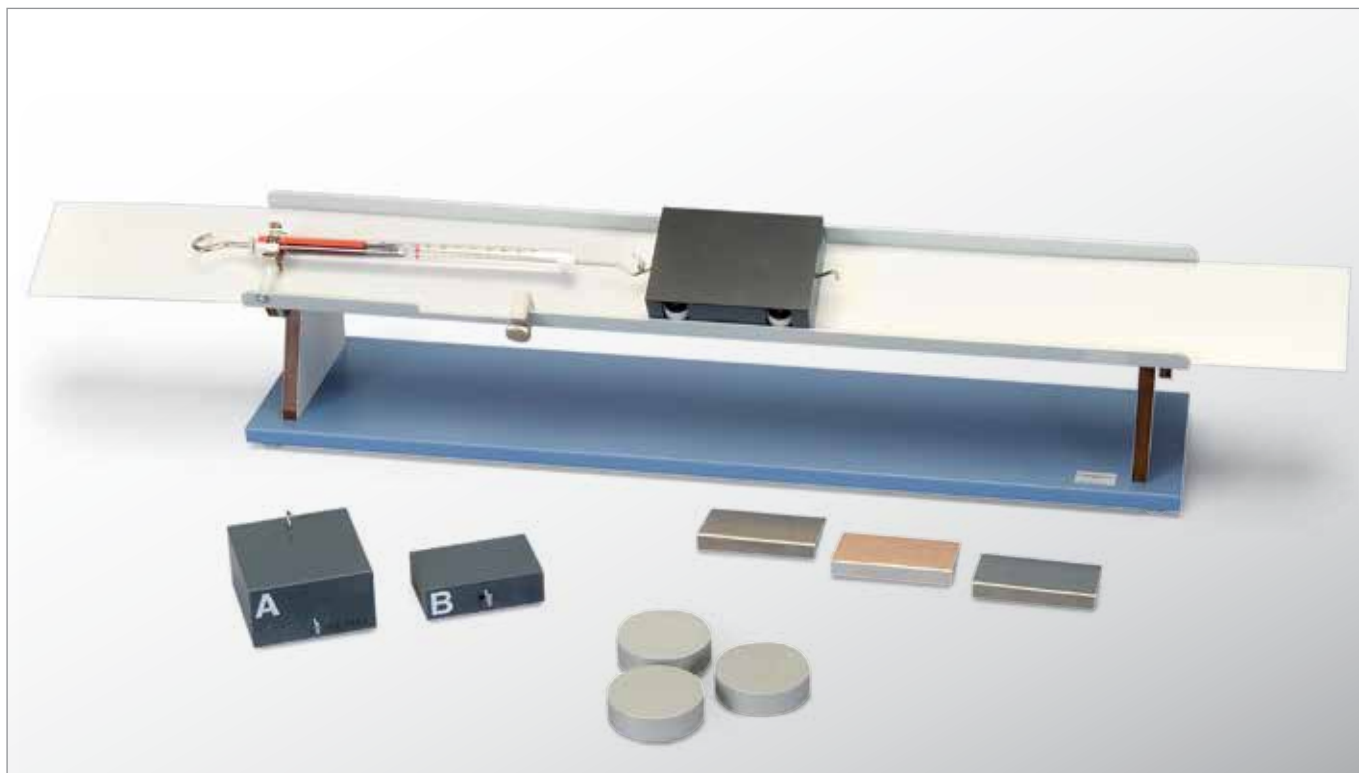


Fig. 2: Rapporto tra la forza resistente F_1 e il peso G come funzione di $\sin \alpha$

UE1020500

ATTRITO STATICO E RADENTE



> FUNZIONI

- Comparazione fra attrito statico e attrito radente.
- Misurazione della forza di attrito radente in funzione della superficie di appoggio.
- Misurazione della forza di attrito radente in funzione della combinazione di materiali.
- Misurazione della forza di attrito radente in funzione della forza di appoggio.

SCOPO

Misurazione delle forze di attrito

RIASSUNTO

Per misurare l'intensità della forza di attrito radente, si utilizza un misuratore di attrito ad indicatore mobile, che viene allontanato a velocità costante sotto il corpo fermo collegato ad un dinamometro. Per variare la forza di appoggio, la rotaia di attrito può essere inclinata con regolazione in continuo lungo l'asse longitudinale.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio di misurazione dell'attrito	1009942

BASI GENERALI

Per spostare un corpo fermo su una superficie piana, è necessario superare la forza resistente generata dall'attrito statico del corpo sulla superficie stessa. Qualora lo spostamento del corpo prosegua come moto radente costante, è necessario applicare una forza F_{Dyn} a compensare l'attrito dinamico radente. Tale forza è inferiore rispetto a quella necessaria al superamento dell'attrito statico F_{Stat} , in quanto il contatto superficiale del corpo radente con la base è meno marcato.

Entrambe le forze sono indipendenti dalle dimensioni della superficie di appoggio e sono sostanzialmente determinate dal tipo di materiale e dalla rugosità delle superfici contattate. Esse sono inoltre proporzionali alla forza di appoggio F_N , con la quale il corpo preme sulla base. Si introducono allora il coefficiente di attrito statico μ_{Stat} e il coefficiente di attrito radente μ_{Dyn} e si scrive

$$(1) \quad F_{Stat} = \mu_{Stat} \cdot F_N \quad \text{e} \quad F_{Dyn} = \mu_{Dyn} \cdot F_N$$

Per misurare l'intensità della forza di attrito radente, nell'esperimento si utilizza un misuratore di attrito ad indicatore mobile, che viene allontanato a velocità costante sotto il corpo per attrito fermo collegato ad un dinamometro. Le misurazioni vengono effettuate per diverse combinazioni di materiali e superfici di appoggio. Per variare la forza di appoggio, la rotaia di attrito può essere inclinata con regolazione in continuo lungo l'asse longitudinale.

ANALISI

Inclinando la rotaia di attrito di un angolo α , la forza di appoggio ammonta, per un corpo di attrito con massa m

$$F_N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

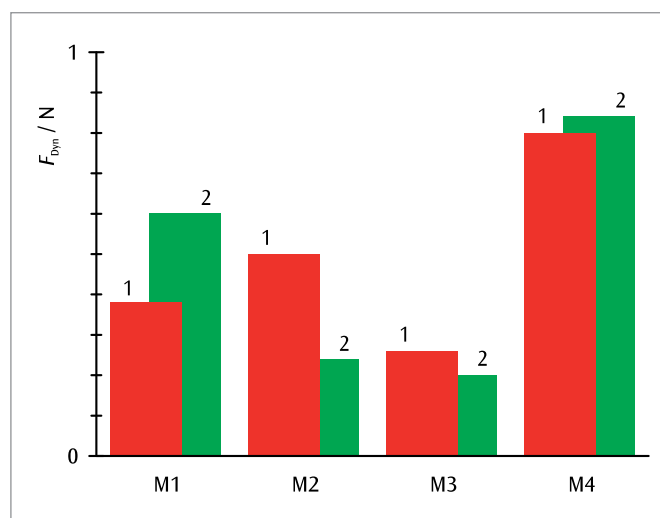


Fig. 1: Forza di attrito radente F_{Dyn} per quattro diversi materiali su base liscia (1) e su base ruvida (2)

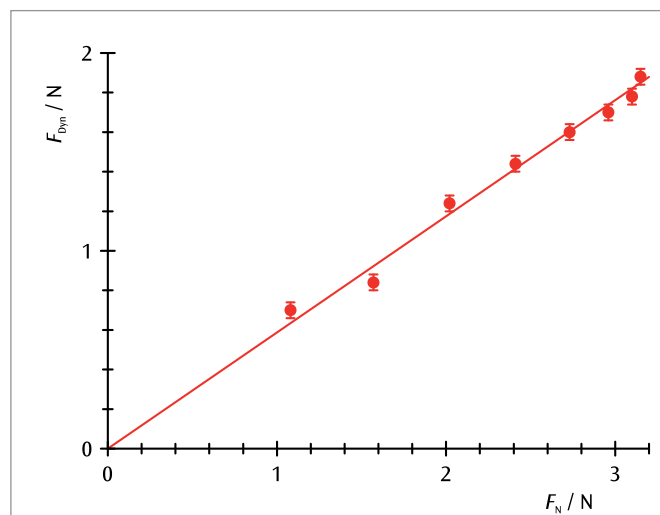


Fig. 2: Forza di attrito radente F_{Dyn} in funzione della forza di appoggio F_N

UE1020850 | PRINCIPIO DI ARCHIMEDE



SCOPO

Determinazione della spinta statica in funzione della profondità di immersione

RIASSUNTO

Secondo il principio di Archimede, un corpo immerso in un liquido è soggetto a una spinta statica F_G la cui intensità corrisponde al peso del liquido spostato. Per un corpo immerso, di forma regolare, l'intensità della forza è proporzionale alla profondità h alla quale il corpo è immerso, finché questa è inferiore all'altezza H del corpo stesso.

> FUNZIONI

- Misurazione della forza in un corpo immerso in acqua.
- Determinazione della spinta statica e conferma della proporzionalità tra spinta statica e profondità di immersione.
- Determinazione della densità dell'acqua.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Corpo da immersione Al 100 cm ³	1002953
1	Dinamometro di precisione 5 N	1003106
1	Calibro a corsoio, 150 mm	1002601
1	Set di 10 becher, forma alta	1002873
1	Laborboy II	1002941
1	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
1	Asta di supporto, 750 mm	1002935
1	Manicotto con gancio	1002828

BASI GENERALI

Secondo il principio di Archimede, un corpo immerso in un liquido è soggetto a una spinta statica F_G la cui intensità corrisponde al peso del liquido spostato.

Per un corpo da immersione regolare con sezione trasversale A e altezza H , immerso fino alla profondità h , si ha

$$(1) \quad F_G = \rho \cdot g \cdot A \cdot h, \text{ per } h < H$$

e

$$(2) \quad F_G = \rho \cdot g \cdot A \cdot H, \text{ per } h > H$$

Nell'esperimento si usa un parallelepipedo con peso F_0 che esercita una forza

$$(3) \quad F(h) = F_0 - F_G(h)$$

su un dinamometro, mentre è immerso in acqua fino alla profondità h .

ANALISI

I valori di misurazione per la spinta statica come funzione della profondità di immersione relativa h/H si trovano su una retta passante per l'origine con incremento

$$a = \rho \cdot g \cdot A \cdot H$$

Dall'incremento si può quindi calcolare la densità dell'acqua.

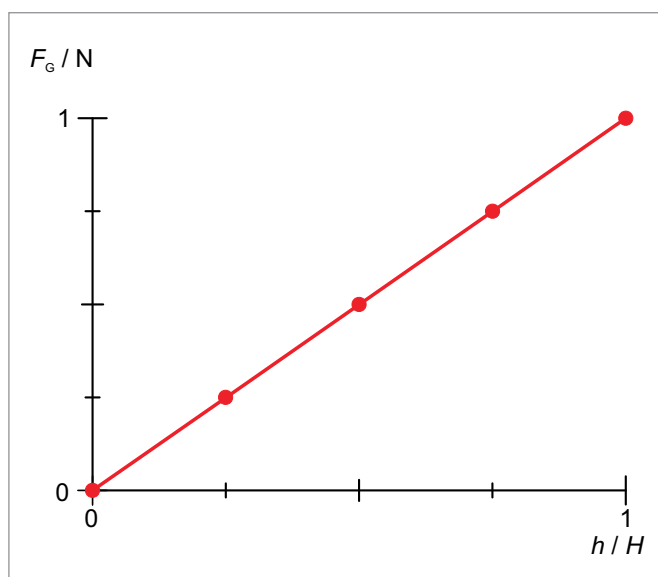


Fig. 1: Spinta statica F_G come funzione della profondità di immersione relativa h/H

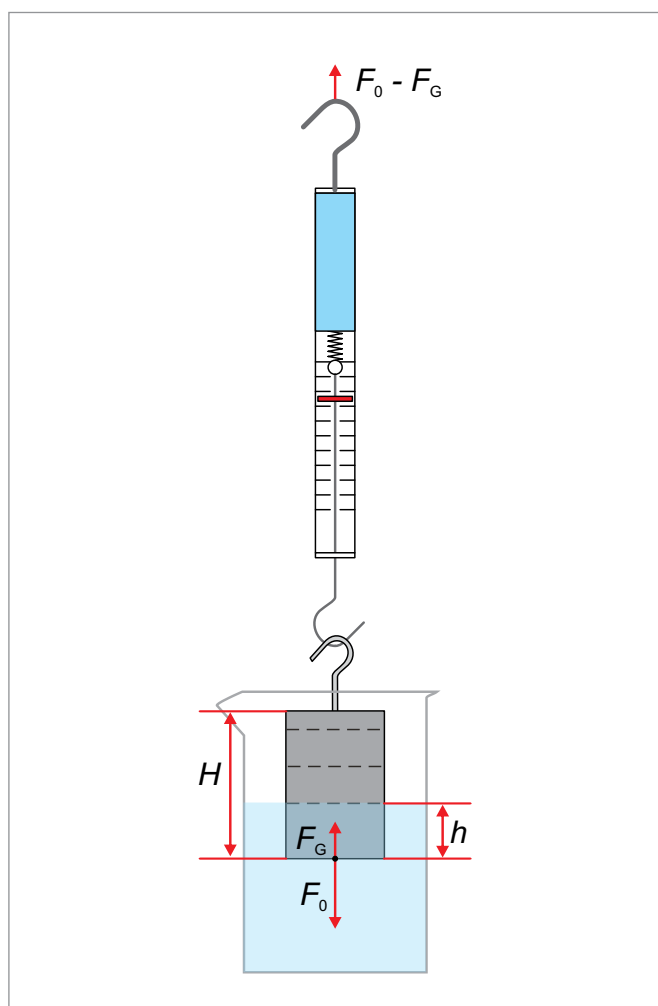
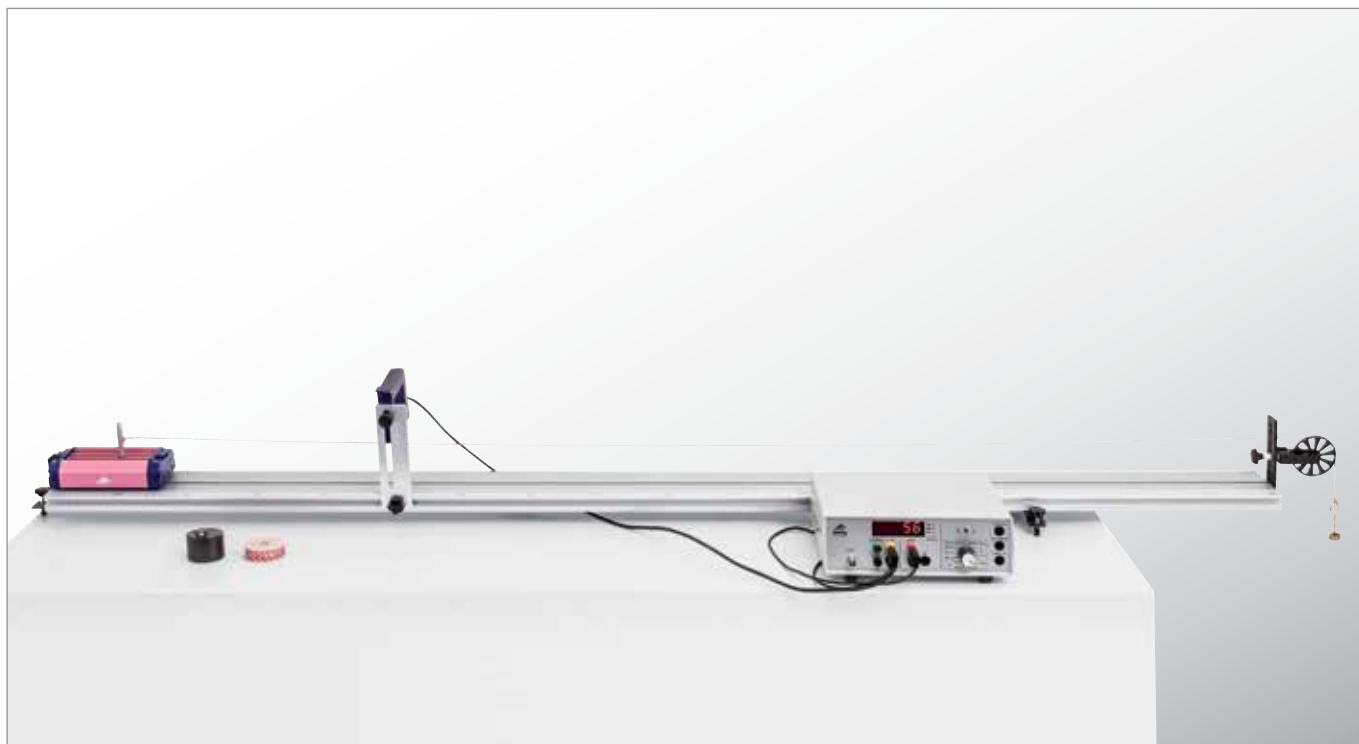


Fig. 2: Rappresentazione schematica

UE1030250

MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO



> FUNZIONI

- Analisi del moto uniformemente accelerato in funzione della massa che produce l'accelerazione.
- Analisi del moto uniformemente accelerato in funzione della massa accelerata.

SCOPO

Misurazione della velocità istantanea in funzione del tratto percorso

RIASSUNTO

In un moto accelerato uniformemente, la velocità istantanea è tanto maggiore quanto più lungo è il tratto percorso o spostamento. Dal fattore di proporzionalità tra il quadrato della velocità e lo spostamento si calcola l'accelerazione. Nell'esperimento essa viene esaminata utilizzando un carrello sulla rotaia delle pulegge. Per misurare la velocità istantanea, un interruttore di larghezza nota fissato al carrello interrompe un fototraguardo. Il tempo di interruzione viene misurato con un contatore digitale.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Rotaia delle pulegge	1018102
1	Fotocellula	1000563
1	Contatore digitale (230 V, 50/60 Hz)	1001033 o
	Contatore digitale (115 V, 50/60 Hz)	1001032
1	Set pesi a fessura 10 x 10 g	1003227
1	Coppia di cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002849
1	Corda, 100 m	1007112

BASI GENERALI

Con un'accelerazione costante, la velocità istantanea v e lo spostamento s percorso nel tempo t aumentano. Quanto maggiore è il tratto percorso, tanto maggiore sarà la velocità.

Allo scadere del tempo t , la velocità istantanea è pari a

$$(1) \quad v(t) = a \cdot t$$

e lo spostamento è pari a

$$(2) \quad s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Pertanto si ha

$$(3) \quad v(s) = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$$

e

$$(4) \quad v^2(s) = 2 \cdot a \cdot s$$

Per misurare la velocità istantanea

$$(5) \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

nell'esperimento si utilizza un interruttore, fissato al carrello e di larghezza nota Δs , che ha la funzione di interrompere la barriera di un fototraguardo. Il tempo di interruzione Δt viene misurato con un contatore digitale.

ANALISI

Se si riportano i quadrati delle velocità istantanee determinate dai tempi di interruzione rispetto ai tratti percorsi, a velocità costante ci si aspetta un rapporto lineare secondo l'equazione 4. La pendenza della corrispondente retta passante per l'origine è pari al doppio del valore dell'accelerazione.

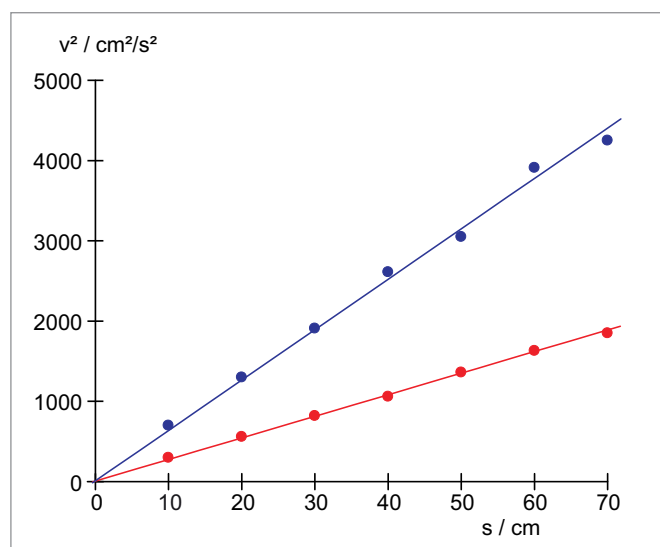


Fig. 2: Diagramma v^2 - s per $m_2 = 500$ g. $m_1 = 10$ g (rosso), 20 g (blu)

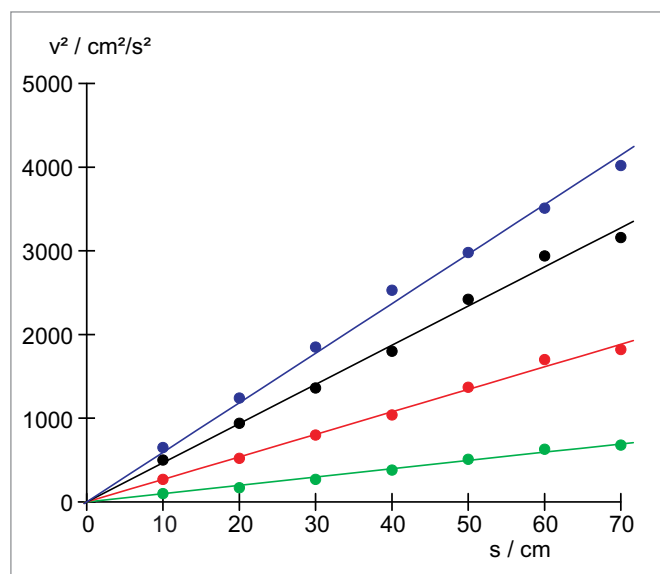


Fig. 3: Diagramma v^2 - s per $m_2 = 1000$ g. $m_1 = 10$ g (verde), 20 g (rosso), 30 g (nero), 40 g (blu)

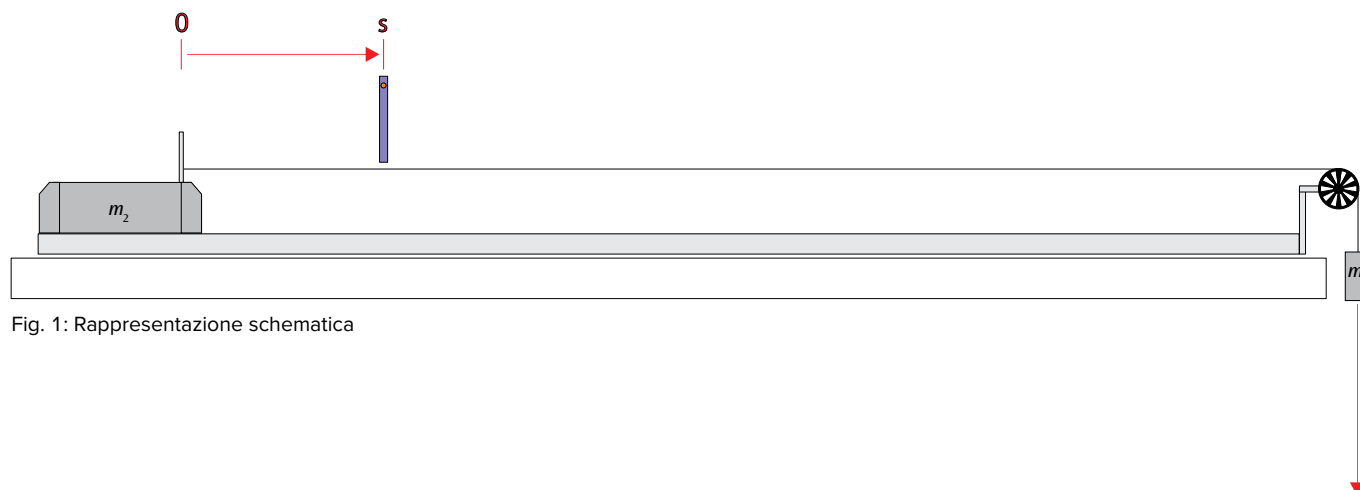
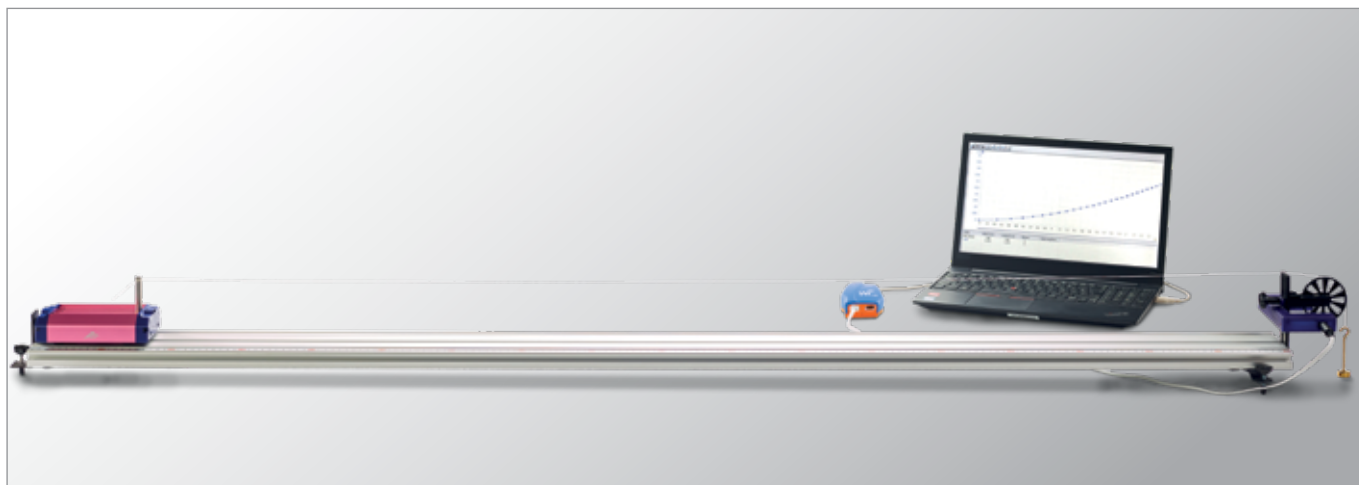


Fig. 1: Rappresentazione schematica

UE1030260

MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO



> FUNZIONI

- Registrazione dello spostamento in funzione del tempo.
- Determinazione della velocità istantanea in funzione del tempo.
- Determinazione dell'accelerazione istantanea in funzione del tempo.
- Determinazione dell'accelerazione media come parametro di adattamento e confronto con il quoziente ricavato dalla forza e dalla massa.

SCOPO

Registrazione e valutazione di movimenti moti uniformemente accelerati sulla rotaia delle pulegge

RIASSUNTO

In un moto uniformemente accelerato, la velocità istantanea è lineare rispetto al tempo e lo spostamento ha un rapporto quadratico rispetto ad esso. Queste dipendenze sono analizzate nell'esperienza sui moti sulla rotaia delle pulegge, che vengono registrati con una combinazione di una puleggia Super Pulley e di una fotocellula.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Rotaia delle pulegge	1018102
1	WiLab*	1022284
1	Cavo di collegamento miniDIN8 – BT	1021688
1	Fotocellula	1000563
1	Corda, 100 m	1007112
1	Set pesi a fessura 10 x 10 g	1003227

Ulteriormente necessario:

1	Coach 7 Licenza
---	-----------------

* Alternativa: 1 VinciLab 1021477

BASI GENERALI

La velocità istantanea v e l'accelerazione istantanea a di un punto materiale sono definiti come rispettivamente la derivata prima e la derivata seconda dello spostamento s rispetto al tempo t . Queste definizioni possono essere riprodotte in modo sperimentale considerando invece delle derivate i relativi rapporti incrementali, e misurando i tempi t_n relativi ai punti del percorso s_n considerando piccoli incrementi dello spostamento. Vengono così creati i presupposti, per esempio, per analizzare a livello sperimentale l'andamento cronologico del moto uniformemente accelerato.

Con un'accelerazione costante a la velocità istantanea v aumenta in modo proporzionale al tempo t ; assumendo il punto materiale inizialmente fermo:

$$(1) \quad v = a \cdot t$$

Lo spostamento s aumenta in modo proporzionale al quadrato del tempo:

$$(2) \quad s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

La causa di un'accelerazione costante è una forza costante F , se anche la massa accelerata m non varia:

$$(3) \quad a = \frac{F}{m}$$

Queste dipendenze sono esaminate nell'esperimento con un carrello sulla rotaia delle pulegge. Il carrello è soggetto ad un'accelerazione costante, perché tirato da un filo con forza costante. Questa forza è il peso di una massa appesa, vedere Fig. 1. La puleggia per il filo è predisposta come Super Pulley, ovvero con i suoi raggi interrompe la fotocellula. Un'interfaccia di misura collegata individua gli istanti t_n dell'interruzione e invia i dati ad un computer per la valutazione. Il software di valutazione calcola lo spostamento valutato in un determinato momento t_n e i relativi valori per la velocità istantanea e l'accelerazione istantanea

$$(4a) \quad s_n = n \cdot \Delta$$

$$(4b) \quad v_n = \frac{\Delta}{t_{n+1} - t_{n-1}}$$

$$(4c) \quad a_n = \frac{\frac{\Delta}{t_{n+1} - t_n} - \frac{\Delta}{t_n - t_{n-1}}}{\frac{t_{n+1} - t_{n-1}}{2}}$$

$\Delta = 20$ mm: Distanza raggi

Le misurazioni vengono eseguite per diverse combinazioni di forza di accelerazione F e di massa accelerata m .

ANALISI

Con il software di valutazione vengono rappresentate le tre grandezze s , v e a come funzione del tempo t . La validità delle equazioni (1) e (2) è verificata tramite l'adattamento delle funzioni corrispondenti in cui l'accelerazione a è accettata come parametro.

Si m_1 è la massa del carrello e m_2 la massa appesa al filo, poiché anche la massa m_2 viene accelerata, nell'equazione si avrà (3):

$$F = m_2 \cdot g \quad m = m_1 + m_2$$

Di conseguenza:
$$a = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot g$$

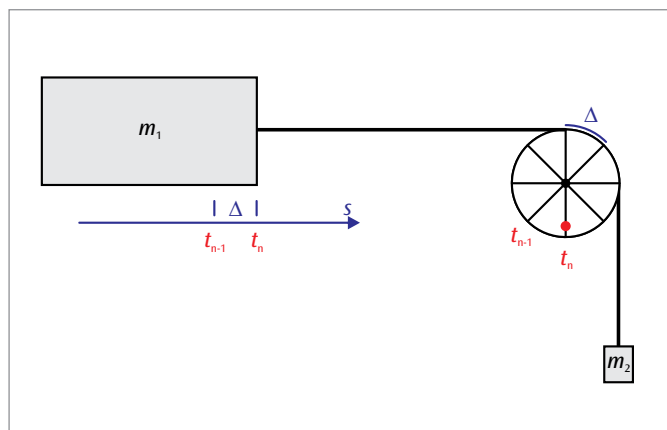


Fig. 1: Rappresentazione schematica del principio di misura

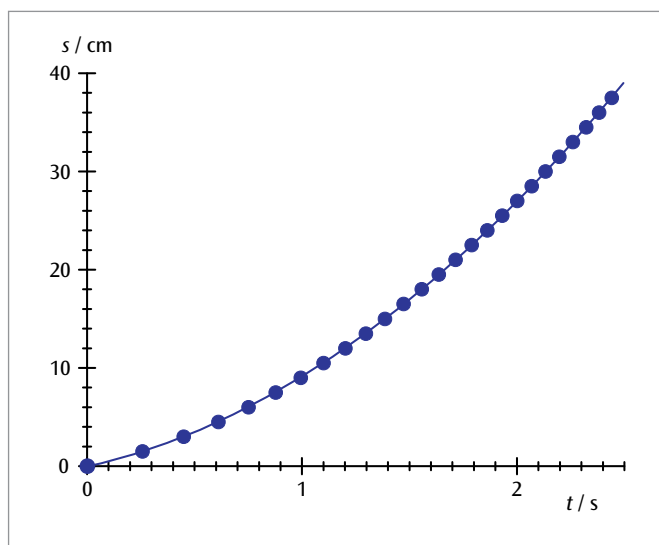


Fig. 2: Spostamento in funzione del tempo

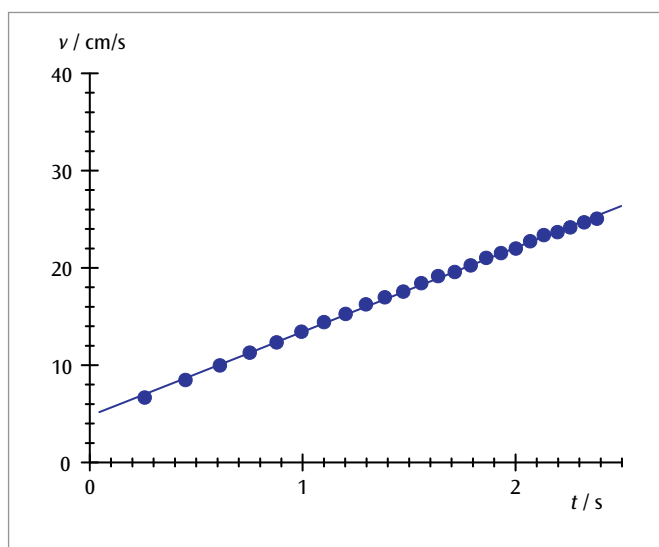


Fig. 3: Velocità in funzione del tempo

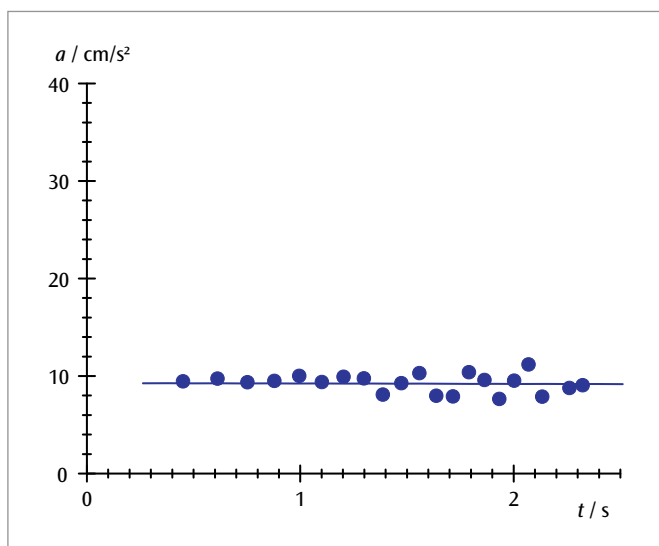


Fig. 4: Accelerazione in funzione del tempo

UE1030280 | LEGGI DEGLI URTI



SCOPO

Analisi di urti unidimensionali su rotaia a cuscino d'aria

RIASSUNTO

Una conseguenza importante del terzo assioma di Newton è la conservazione della quantità di moto nell'urto tra due corpi. Tale fenomeno è verificabile ad es. attraverso l'analisi di urti unidimensionali tra due carrelli su una rotaia a cuscino d'aria. Si parla di urti elastici quando l'energia cinetica totale rimane invariata e di urti anelastici quando invece rimane invariata solo l'energia cinetica del centro di massa. Nell'esperienza, si determinano le singole velocità dei carrelli dai tempi di interruzione rilevati da una fotocellula e si calcolano le quantità di moto.

> FUNZIONI

- Analisi dell'urto elastico e anelastico tra due carrelli su una rotaia a cuscino d'aria.
- Dimostrazione della conservazione della quantità di moto nel caso di urto elastico e anelastico e osservazione delle quantità di moto finali nell'urto elastico.
- Analisi del bilancio energetico nell'urto elastico e anelastico.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Rotaia a cuscino d'aria	1021090
1	Generatore di corrente d'aria (230 V, 50/60 Hz)	1000606 o
	Generatore di corrente d'aria (115 V, 50/60 Hz)	1000605
1	WiLab*	1022284
2	Cavo di collegamento miniDIN8 – BT	1021688
2	Fotocellula	1000563
2	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
2	Manicotto universale	1002830
2	Asta di supporto, 470 mm	1002934

Ulteriormente necessario:

1	Coach 7 Licenza	
---	-----------------	--

Ulteriormente consigliato:

1	Bilancia da laboratorio 610	1003419
---	-----------------------------	---------

* Alternativa: 1 VinciLab 1021477

BASI GENERALI

Una conseguenza importante del terzo assioma di Newton è la conservazione della quantità di moto nell'urto tra due corpi. Tale fenomeno è verificabile ad es. attraverso l'analisi di urti unidimensionali tra due carrelli su una rotaia a cuscino d'aria.

Nel sistema di riferimento del centro di massa, la quantità di moto totale dei due carrelli con massa m_1 e m_2 è uguale a zero sia prima sia dopo l'urto.

$$(1) \quad \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 = 0$$

\vec{p}_1, \vec{p}_2 : quantità di moto prima dell'urto, \vec{p}'_1, \vec{p}'_2 : quantità di moto dopo l'urto.

L'energia cinetica dei due carrelli nel sistema di riferimento

$$(2) \quad \tilde{E} = \frac{\vec{p}_1^2}{2m_1} + \frac{\vec{p}_2^2}{2m_2}$$

può, a seconda del tipo di urto, essere trasformata parzialmente o completamente in altre forme di energia. Si parla di urto elastico quando l'energia cinetica calcolata nel sistema del centro di

massa rimane invariata e di urto completamente anelastico quando invece essa viene completamente trasformata.

Nel sistema di riferimento della rotaia, la conservazione della quantità di moto si scrive

$$(3) \quad p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2 = p = \text{const.}$$

p_1, p_2 : impulsi singoli prima dell'urto,
 p'_1, p'_2 : impulsi singoli dopo l'urto.

Come conseguenza della conservazione della quantità di moto, anche la velocità

$$(4) \quad v_c = \frac{p}{m_1 + m_2}$$

e l'energia cinetica

$$(5) \quad E_c = \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot v_c^2$$

del baricentro rimangono invariate. Questo vale nel caso di urti sia elastici sia anelastici.

Nell'esperimento, prima dell'urto il secondo carrello è fermo. La conservazione della quantità di moto (equaz. 3) corrisponde pertanto a

$$(6) \quad p = m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

dove v'_1 e v'_2 assumono valori diversi dopo un urto elastico, mentre dopo un urto completamente anelastico coincidono. Nel caso dell'urto elastico, la piastra del primo carrello va ad urtare il nastro di gomma teso del secondo carrello; nel caso dell'urto anelastico l'ago del primo carrello va ad incunearsi in un pezzo di plastilina. Per variare la massa, è possibile aggiungere masse supplementari.

Dopo un urto elastico si ha

$$(7) \quad p'_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot p, \quad p'_2 = \frac{2 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot p$$

e

$$(8) \quad E = \frac{m_1}{2} \cdot v_1^2 = \frac{m_1}{2} \cdot v_1'^2 + \frac{m_2}{2} \cdot v_2'^2$$

Nel caso dell'urto anelastico rimane invariata solo l'energia cinetica del baricentro, per la quale da (4), (5) e (6) si calcola

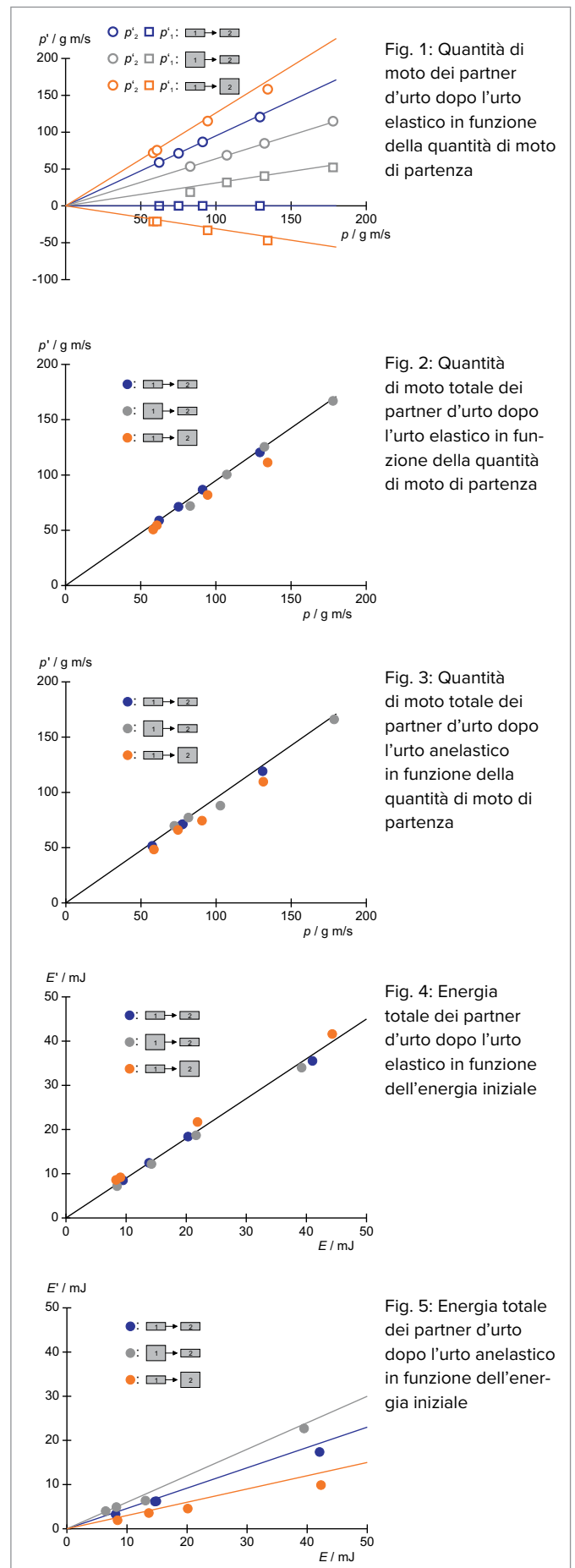
$$(9) \quad E_c = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot \frac{m_1}{2} \cdot v_1^2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot E$$

ANALISI

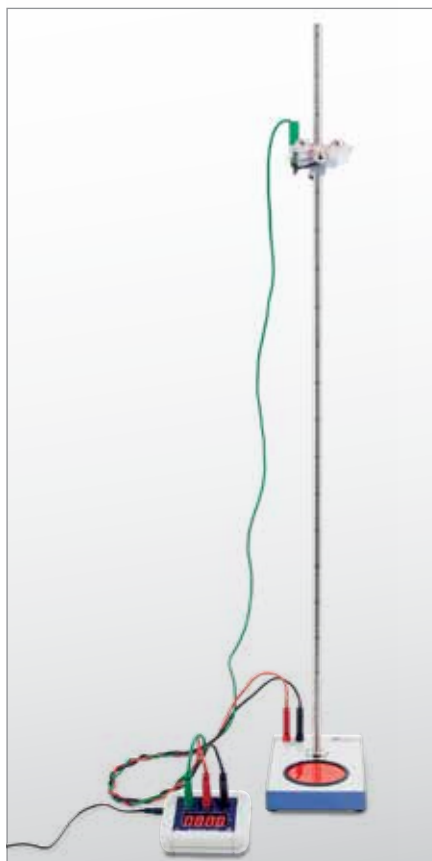
Gli intervalli di tempo t registrati dal software devono essere confrontati con le procedure sperimentali. Per le velocità dei carrelli vale

$$v = \frac{25 \text{ mm}}{\Delta t}$$

Per una più precisa osservazione del bilancio energetico e della quantità di moto, occorre considerare anche le perdite per attrito. Esse ammontano per gli impulsi rilevati al 5% e al 10% dei valori energetici, v. Fig. da 1 a 5.



UE1030300 | CADUTA LIBERA



> FUNZIONI

- Misurazione del tempo di caduta t di una sfera a seconda della distanza h tra dispositivo di sgancio e piatto di raccolta.
- Registrazione punto per punto del diagramma percorso-tempo di un movimento accelerato in maniera uniforme.
- Conferma della proporzionalità tra percorso di caduta e quadrato del tempo di caduta.
- Determinazione dell'accelerazione di caduta g .

SCOPO

Determinazione dell'accelerazione di caduta

RIASSUNTO

Durante la caduta libera, il percorso di caduta h è proporzionale al quadrato del tempo di caduta t . Sulla base del fattore di proporzionalità è possibile calcolare l'accelerazione di caduta g .

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Apparecchio per esperimenti di caduta libera	1000738
1	Contamillisecondi (115 V, 50/60 Hz)	1012832 o
	Contamillisecondi (230 V, 50/60 Hz)	1012833
1	Set di 3 cavi di sicurezza per esperimenti	1002848

BASI GENERALI

Se un corpo cade sul pavimento nel campo gravitazionale della terra da un'altezza h , è soggetto ad un'accelerazione costante g , nella misura in cui la velocità di caduta è ridotta e l'attrito è quindi trascurabile. Questo movimento di caduta viene chiamato caduta libera.

Nell'esperimento, una sfera di acciaio viene agganciata ad un dispositivo di sgancio. Durante lo sgancio viene contemporaneamente avviata anche la misurazione elettronica del tempo. Dopo aver coperto un percorso di caduta h , la sfera cade su un dispositivo di raccolta e arresta la misurazione del tempo di caduta t .

Poiché la sfera al momento $t_0 = 0$ inizia alla velocità $v_0 = 0$, il percorso coperto nel tempo t ammonta a

$$(1) \quad h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

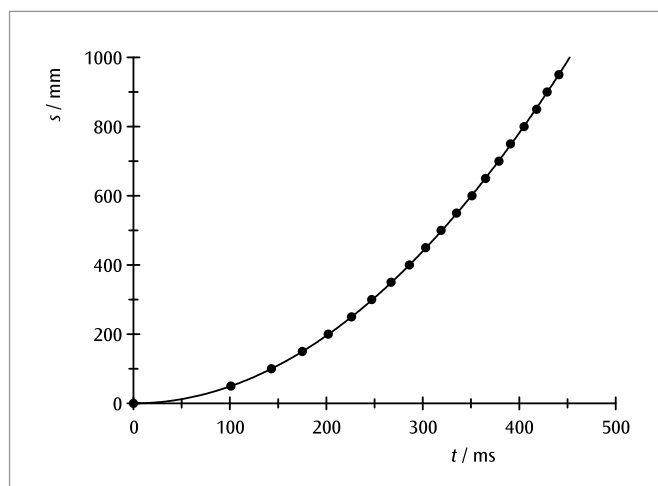


Fig. 1: Diagramma percorso-tempo della caduta libera

ANALISI

Variante 1:

I tempi di caduta si trovano in un rapporto di 2 : 1, se i percorsi di caduta si trovano in un rapporto di 4 : 1. Il percorso di caduta è quindi proporzionale al quadrato del tempo di caduta.

Variante 2:

I risultati di misurazione per diversi percorsi di caduta vengono indicati come coppie di valori in un diagramma percorso-tempo. Il percorso di caduta coperto h non è una funzione lineare del tempo t , come conferma il confronto tra l'adeguamento di una linea retta e una parabola ai valori di misurazione. Per la linearizzazione, il percorso di caduta viene indicato come funzione del quadrato del tempo di caduta. La corrispondenza delle passanti per l'origine adattate ai valori di misurazione conferma (1). Dalla pendenza è possibile calcolare l'accelerazione di caduta.

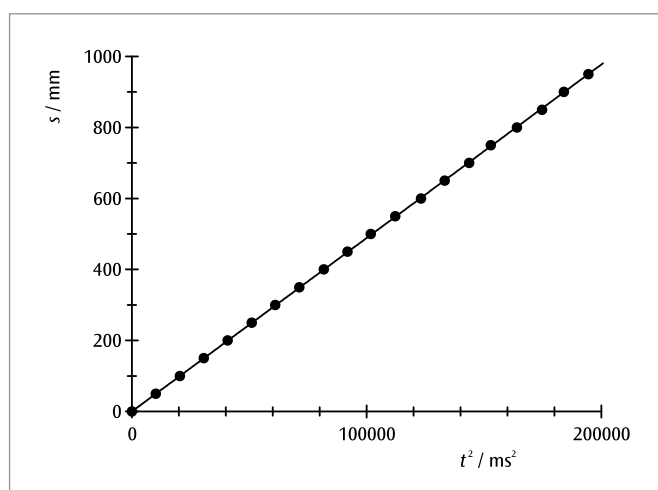
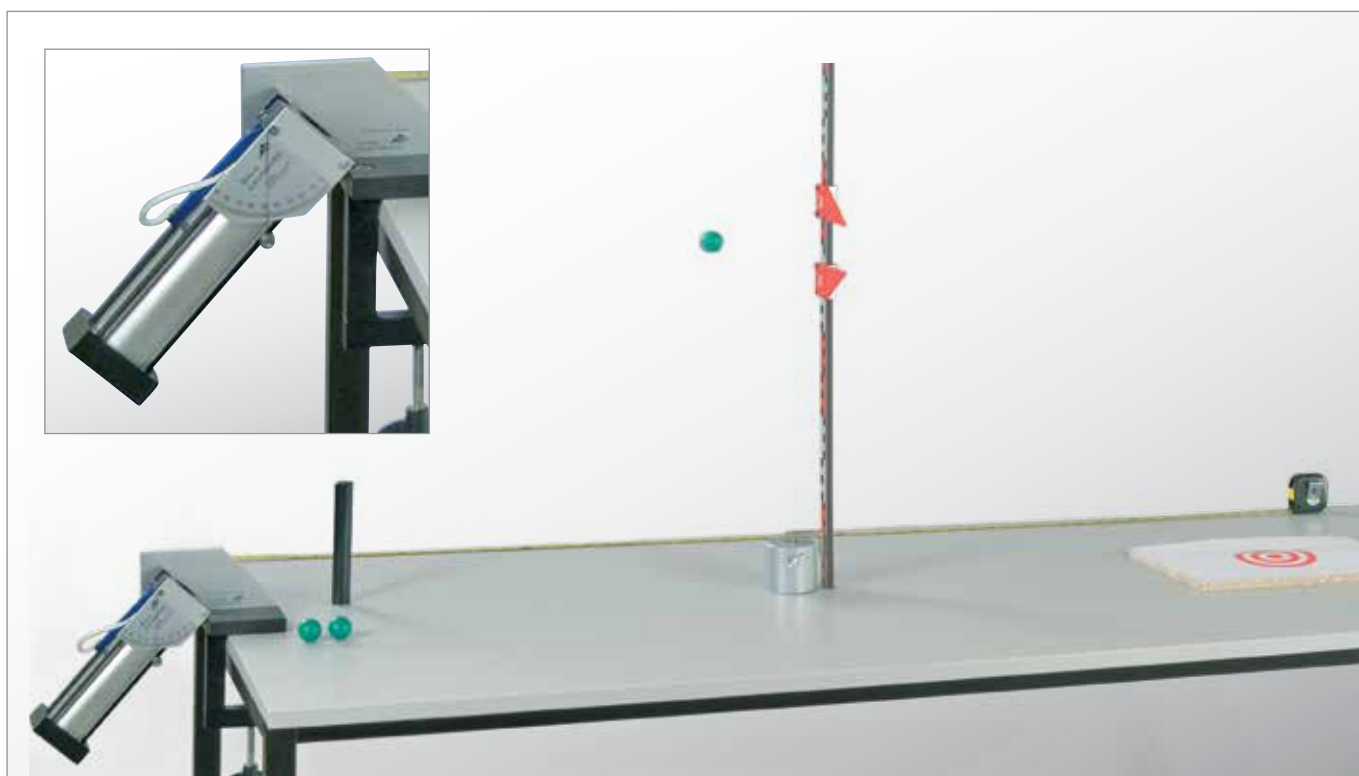


Fig. 2: Percorso di caduta come funzione del quadrato del tempo di caduta

UE1030400 | MOTO DEL PROIETTILE



> FUNZIONI

- Determinazione della gittata in funzione dell'angolo e della velocità di lancio.
- Calcolo della velocità di lancio sulla base della gittata massima.
- Registrazione punto per punto delle "parabole di lancio" in funzione dell'angolo e della velocità di lancio.
- Conferma del principio di sovrapposizione.

SCOPO

Registrazione punto per punto delle parabole di lancio

RIASSUNTO

Il movimento di una sfera lanciata nel campo gravitazionale con un'angolazione rispetto al piano orizzontale segue una curva di volo parabolica, la cui altezza e ampiezza dipendono dall'angolo e dalla velocità di lancio. La curva viene misurata punto per punto con l'impiego di una scala per altezza con due indicatori.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Apparecchio di lancio	1002654
1	Supporto per apparecchio di lancio	1002655
1	Scala per altezza, 1 m	1000743
1	Set indicatori per scale	1006494
1	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
1	Metro a nastro tascabile, 2 m	1002603

BASI GENERALI

Il movimento di una sfera lanciata nel campo gravitazionale con un'angolazione rispetto al piano orizzontale è composto, secondo il principio di sovrapposizione, da un movimento a velocità costante nella direzione del lancio e da un movimento di caduta. Ne risulta una curva di volo parabolica, la cui altezza e ampiezza dipendono dall'angolo di lancio α e dalla velocità di lancio v_0 .

Ai fini del calcolo della curva di volo, per semplificare le cose si posiziona l'origine del sistema di coordinate al centro della sfera nel momento iniziale e si trascura l'attrito dell'aria sulla sfera. Quindi in direzione orizzontale la sfera mantiene la propria velocità iniziale

$$(1) \quad v_x(0) = v_0 \cdot \cos \alpha$$

e pertanto raggiunge, nel momento t , la distanza orizzontale

$$(2) \quad x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t$$

In direzione verticale la sfera, sotto l'influsso del campo gravitazionale, è soggetta all'accelerazione di caduta g . All'istante t la sua velocità è pertanto

$$(3) \quad v_y(t) = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t$$

e la distanza verticale.

$$(4) \quad y(t) = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

La curva di volo della sfera ha forma parabolica in quanto soddisfa l'equazione:

$$(5) \quad y(x) = \tan \alpha \cdot x - \frac{1}{2} \cdot \frac{g}{(v_0 \cdot \cos \alpha)^2} \cdot x^2$$

All'istante

$$(6) \quad t_1 = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

la sfera raggiunge il punto più elevato della parabola e all'istante

$$(7) \quad t_2 = 2 \cdot \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

ritorna nuovamente alla quota di partenza 0. L'altezza della parabola è quindi

$$(8) \quad h = y(t_1) = \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \cdot \sin^2 \alpha$$

e l'ampiezza

$$(9) \quad s = x(t_2) = 2 \cdot \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

Nell'esperimento si misurano punto per punto le curve di volo di una sfera di legno in funzione dell'angolo e della velocità di lancio con l'impiego di una scala per altezza con due indicatori.

ANALISI

In corrispondenza dell'angolo di lancio $\alpha = 45^\circ$ viene raggiunta l'ampiezza s_{\max} di tutte le curve di volo. Da essa è possibile calcolare la velocità di lancio. Grazie all'equazione 9, vale

$$v_0 = \sqrt{g \cdot s_{\max}}$$

Un'analisi accurata dei dati misurati indica che anche l'attrito dell'aria deve essere preso in considerazione e che le parabole si scostano leggermente dalla forma parabolica.

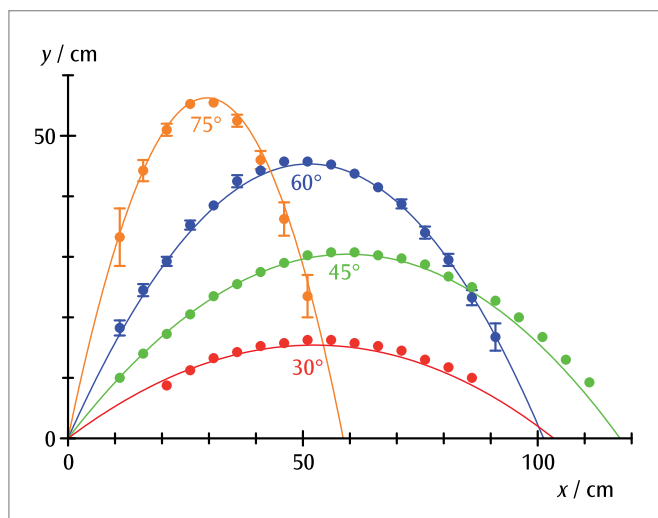


Fig. 1: Parabole di lancio misurate e calcolate tenendo conto dell'attrito dell'aria a velocità di lancio minima e a diversi angoli di lancio

UE1030600 | URTI BIDIMENSIONALI



> FUNZIONI

- Determinazione delle velocità prima e dopo un urto.
- Conferma della conservazione dell'impulso con urti elastici e anelastici.
- Conferma della conservazione dell'energia con urti elastici e anelastici.
- Analisi del moto del centro di massa del sistema.

SCOPO

Analisi di urti elastici ed anelastici di due corpi su un piano

RIASSUNTO

Al momento della collisione tra due corpi, essi sono soggetti alla conservazione dell'energia e dell'impulso. Con l'ausilio di queste grandezze conservate è possibile descrivere il moto dei corpi dopo l'urto. Nel caso bidimensionale, le velocità e gli impulsi dei corpi collidenti devono essere descritti in modo vettoriale. Il passaggio al sistema del centro di massa consente una descrizione particolarmente semplice. Nell'esperimento vengono portati in collisione due dischi di massa su una tavola a cuscino d'aria e le velocità sono quindi registrate e analizzate utilizzando la marcatura a getto d'inchiostro o la tracciatura video.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Tavola a cuscino d'aria con dischi inkjet	1021623
Ulteriormente consigliato:		
1	Bilancia da laboratorio 610	1003419
1	Righello, 50 cm	
1	Videocamera	
1	Software di analisi video, ad esempio Coach 7	

BASI GENERALI

Un urto descrive una breve interazione reciproca di due corpi. A questo proposito, si suppone che l'interazione reciproca avvenga solo in un intervallo di tempo breve e definito all'esterno del quale i corpi non interagiscono. In assenza di ulteriori forze, prima e dopo l'urto entrambi i corpi si muovono con velocità costante. Poiché sotto tali ipotesi il sistema composto dai due corpi è chiuso, il processo è soggetto alla conservazione dell'impulso e dell'energia.

Indichiamo le velocità dei corpi 1 e 2 prima dell'urto con i vettori v_1 e v_2 ; dopo l'urto con v'_1 o v'_2 . Gli impulsi corrispondenti con p_i e p'_i ($i = 1, 2$). Le masse sono costanti nel tempo e vengono indicate con m_1 e m_2 .

In virtù della conservazione dell'impulso, vale

$$(1) \quad m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

Inoltre, in caso di urti elastici, si conserva tutta l'energia cinetica del sistema.

$$(2) \quad \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2'^2$$

Sia il corpo 2 in stato di riposo prima dell'urto. Senza perdere in generalità si può scegliere un sistema di riferimento tale che il corpo 1 si muova lungo l'asse x ($v_{1y} = 0$).

Inizialmente consideriamo un urto centrale con $d = 0$, vedere fig. 1. In questo caso i corpi si muovono lungo l'asse x e per le velocità dopo l'urto vale

$$(3) \quad v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_1$$

$$(4) \quad v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1$$

Con masse identiche $m_1 = m_2$ risulta

$$(5) \quad v_1' = 0$$

e

$$(6) \quad v_2' = v_1$$

Con urti non centrali, in caso di masse identiche si dimostra che i corpi divergono con un angolo di 90° .

$$(7) \quad \theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$$

Inoltre, consegue da (1) con $v_{1y} = 0$ e $m_1 = m_2$

$$(8) \quad v_{1y}' = -v_{2y}'$$

Il vettore di posizione del centro di massa è

$$(9) \quad \mathbf{r}_s = \frac{m_1 \cdot \mathbf{r}_1 + m_2 \cdot \mathbf{r}_2}{m_1 + m_2}$$

Poiché l'impulso totale si conserva, la velocità del centro di massa è

$$(10) \quad \mathbf{v}_s = \frac{m_1 \cdot \mathbf{v}_1 + m_2 \cdot \mathbf{v}_2}{m_1 + m_2}$$

costante. L'impulso totale corrisponde all'impulso di una massa $m_s = m_1 + m_2$ che procede con la velocità del centro di massa.

Il sistema del centro di massa è spesso conveniente per lo studio di un urto. In questo sistema, prima dell'urto, entrambe le masse si muovono l'una verso l'altra perché l'impulso totale è zero. Dopo un urto elastico si allontanano, perché l'impulso totale rimane zero, mentre dopo un urto perfettamente anelastico si determina un moto di rotazione intorno al centro di massa dei due corpi, ora solidali. In questo caso si conserva l'energia cinetica del sistema.

Nell'esperimento si fanno collidere due dischi massivi su una tavola a cuscino d'aria e il loro moto viene registrato con l'ausilio di un generatore di scintille.

ANALISI

Il calcolo dell'energia cinetica indica che una parte dell'energia è persa. Ciò è dovuto alla leggera deformazione dei corpi quando si scontrano e alla rotazione intrinseca dei dischi, che non è stata presa in considerazione.

$$v = \Delta \cdot f$$

Δ : Distanza tra due punti,
f: Frequenza del plotter

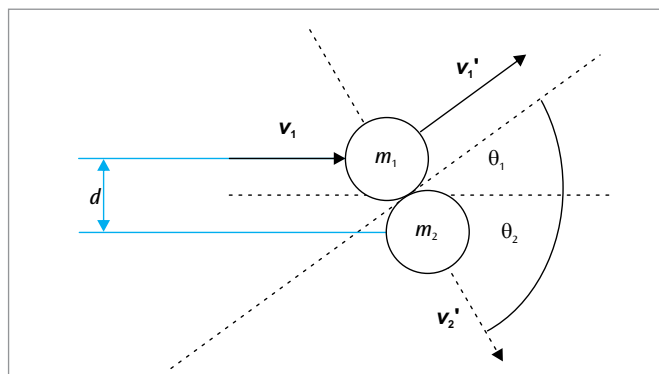


Fig. 1: Rappresentazione schematica dell'urto non centrale di due masse

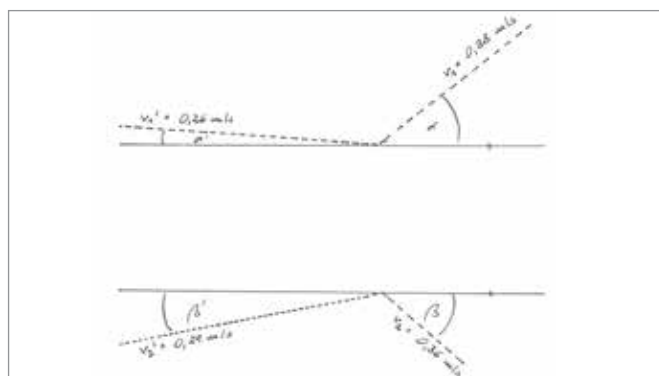


Fig. 2: Registrazione e analisi di un urto non centrale di due masse differenti con velocità iniziali $v_1 \neq 0$ e $v_2 \neq 0$

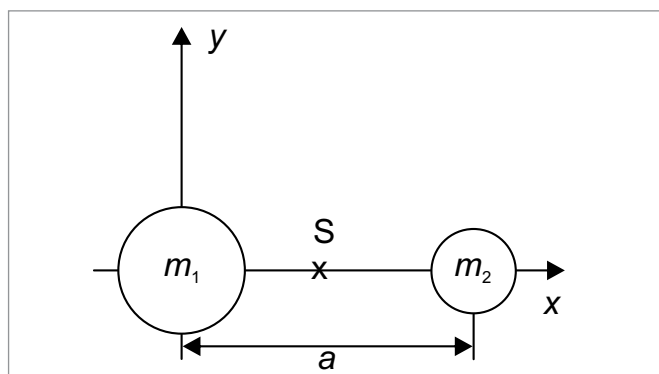


Fig. 3: Movimento del baricentro S prima e dopo l'urto

UE1040101 | MOTO ROTATORIO UNIFORMEMENTE ACCELERATO



> FUNZIONI

- Registrazione punto per punto del diagramma angolo di rotazione-tempo di un moto di rotazione uniformemente accelerato.
- Conferma della proporzionalità tra angolo di rotazione e quadrato del tempo.
- Determinazione dell'accelerazione angolare in funzione del momento torcente in accelerazione e conferma dell'equazione del moto di Newton.
- Determinazione dell'accelerazione angolare in funzione del momento d'inerzia e conferma dell'equazione del moto di Newton.

SCOPO

Conferma dell'equazione del moto di Newton

RIASSUNTO

L'angolo di rotazione φ di un corpo rigido che ruota in modo uniformemente accelerato intorno ad un asse fisso aumenta in modo proporzionale al quadrato del tempo t . Sulla base del fattore di proporzionalità è possibile calcolare l'accelerazione angolare α che, a sua volta, secondo l'equazione del moto di Newton, dipende dal momento torcente di accelerazione e dal momento d'inerzia del corpo rigido.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Sistema rotante a sostentamento pneumatico (230 V, 50/60Hz)	1000782 o
	Sistema rotante a sostentamento pneumatico (115 V, 50/60Hz)	1000781
1	Sensore laser in reflex	1001034
1	Contatore digitale (230 V, 50/60 Hz)	1001033 o
	Contatore digitale (115 V, 50/60 Hz)	1001032

BASI GENERALI

La rotazione di un corpo rigido intorno ad un asse fisso può essere descritta in modo analogo ai moti traslatori unidimensionali. Si sostituisce il percorso s con l'angolo di rotazione φ , la velocità v con la velocità angolare ω , l'accelerazione a con l'accelerazione angolare α , la forza di accelerazione F con il momento torcente M che agisce sul corpo rigido, e la massa inerziale m con il momento d'inerzia J del corpo rigido intorno all'asse di rotazione.

In analogia con l'equazione del moto di Newton per i movimenti di traslazione vale: un corpo rigido girevole e con momento d'inerzia J è sottoposto ad un'accelerazione angolare α , sotto l'effetto del momento torcente

$$(1) \quad M = J \cdot \alpha$$

Se il momento torcente è costante, allora il corpo compie un moto rotatorio con accelerazione angolare uniforme.

Nell'esperimento, ciò viene verificato con un sistema rotante a sostegno pneumatico e quindi con un attrito molto ridotto.

Si avvia nel momento $t_0 = 0$ con velocità angolare $\omega = 0$ e ruota nel tempo t intorno all'angolo

$$(2) \quad \varphi = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot t^2$$

Il momento torcente M si ottiene dalla forza peso di una massa in accelerazione m_M , che agisce sul corpo con distanza r_M rispetto all'asse di rotazione.

$$(3) \quad M = r_M \cdot m_M \cdot g$$

$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$: Accelerazione di caduta

Se sull'asta del sistema rotante si dispongono altre due masse m_J a distanza fissa r_J rispetto all'asse di rotazione, il momento d'inerzia aumenta secondo

$$(4) \quad J = J_0 + 2 \cdot m_J \cdot r_J^2$$

J_0 : Momento d'inerzia senza masse supplementari

Sia per accelerazione che per l'aumento dell'inerzia sono disponibili ogni volta più pesi. E' inoltre possibile variare le distanze r_M e r_J . In questo modo si può esaminare l'accelerazione angolare a conferma di (1) in funzione del momento d'inerzia e del momento torcente.

ANALISI

La proporzionalità dell'angolo di rotazione rispetto al quadrato del tempo è dimostrata dalla misurazione dei tempi rispetto agli angoli di rotazione 10° , 40° , 90° , 160° e 250° .

Per la misurazione dell'accelerazione angolare α in funzione dei parametri M e J viene misurato ogni volta il tempo t (90°) necessario ad una rotazione di 90° . In questo caso vale

$$\alpha = \frac{\pi}{t(90^\circ)^2}$$

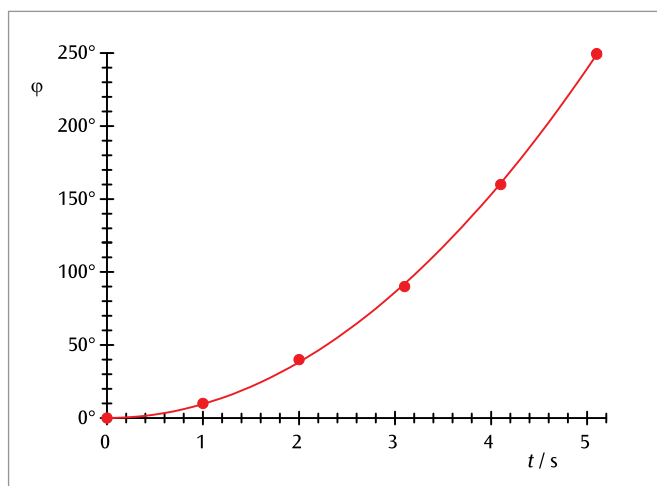


Fig. 1: Diagramma angolo di rotazione-tempo di un moto rotatorio uniformemente accelerato

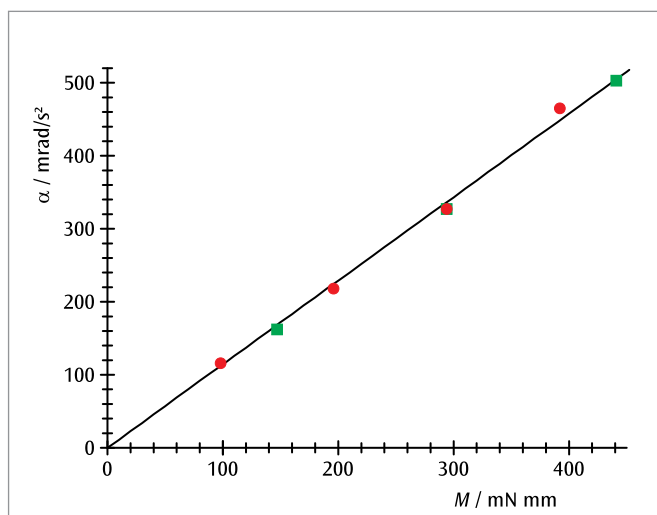


Fig. 2: Accelerazione angolare in funzione del momento torcente M

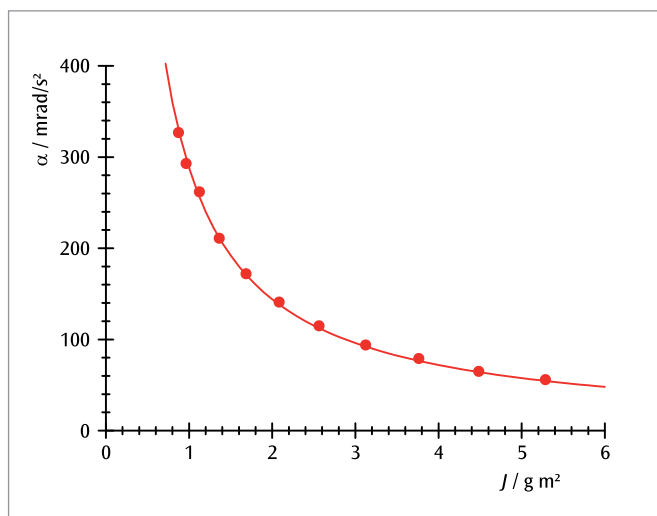


Fig. 3: Accelerazione angolare α in funzione del momento d'inerzia J

UE1040201 | MOMENTO D'INERZIA I



> FUNZIONI

- Determinazione della costante di collegamento angolare D_r della molla di accoppiamento.
- Determinazione del momento d'inerzia J in funzione della distanza r dei pesi rispetto all'asse di rotazione.
- Determinazione del momento d'inerzia J in funzione della massa m dei pesi.

SCOPO

Determinazione del momento d'inerzia di un'asta del manubrio con masse supplementari

RIASSUNTO

Il momento d'inerzia di un corpo intorno al suo asse di rotazione dipende dalla distribuzione del peso all'interno del corpo rispetto all'asse. Questo è quanto viene esaminato su un'asta sulla quale sono disposti due pesi, simmetricamente rispetto all'asse di rotazione. Il periodo di oscillazione dell'asta collegata con una molla di accoppiamento è tanto maggiore quanto maggiore è il momento d'inerzia dell'asta del manubrio determinato dalle masse supplementari e dalla distanza tra loro.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Sistema rotante a sostentamento pneumatico (230 V, 50/60Hz)	1000782 o
	Sistema rotante a sostentamento pneumatico (115 V, 50/60Hz)	1000781
1	Sensore laser in reflex	1001034
1	Contatore digitale (230 V, 50/60 Hz)	1001033 o
	Contatore digitale (115 V, 50/60 Hz)	1001032

BASI GENERALI

L'inerzia di un corpo rigido rispetto ad una variazione del suo moto di rotazione intorno ad un asse fisso è indicata dal momento d'inerzia J . Esso dipende dalla distribuzione del peso nel corpo rispetto all'asse di rotazione ed è tanto maggiore quanto maggiori sono le distanze rispetto all'asse di rotazione.

Questo viene esaminato nell'esperimento con l'esempio di un disco rotante con asta sulla quale sono disposti simmetricamente due pesi con massa m ad una distanza r rispetto all'asse di rotazione m . Il momento d'inerzia in questo caso è

$$(1) \quad J = J_0 + 2 \cdot m \cdot r^2$$

J_0 : Momento d'inerzia senza pesi

Se il disco rotante viene accoppiato elasticamente ad uno stativo mediante una molla elicoidale, il momento d'inerzia può essere determinato dal periodo di oscillazione del disco rotante intorno alla sua posizione di riposo. Vale

$$(2) \quad T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D_r}}$$

D_r : Costante di collegamento angolare della molla elicoidale

Ossia il periodo di oscillazione T è tanto maggiore quanto maggiore è il momento d'inerzia J del disco rotante con asta del manubrio, determinato dal peso m e dalla distanza r .

ANALISI

Da (2) si ottiene l'equazione condizionale per il momento d'inerzia:

$$J = D_r \cdot \frac{T^2}{4\pi^2}$$

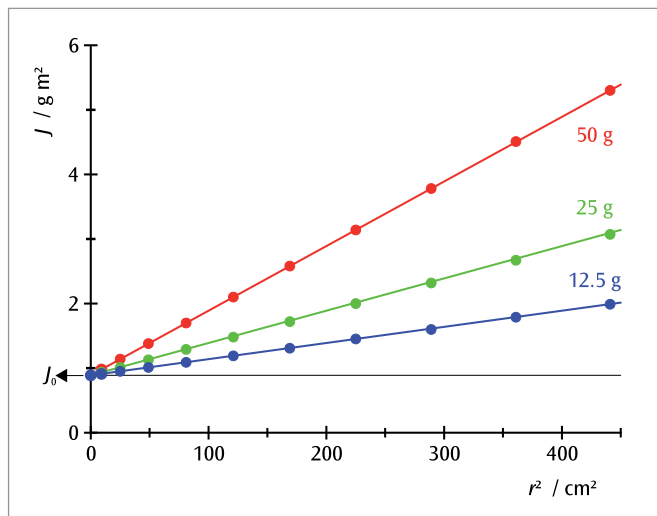
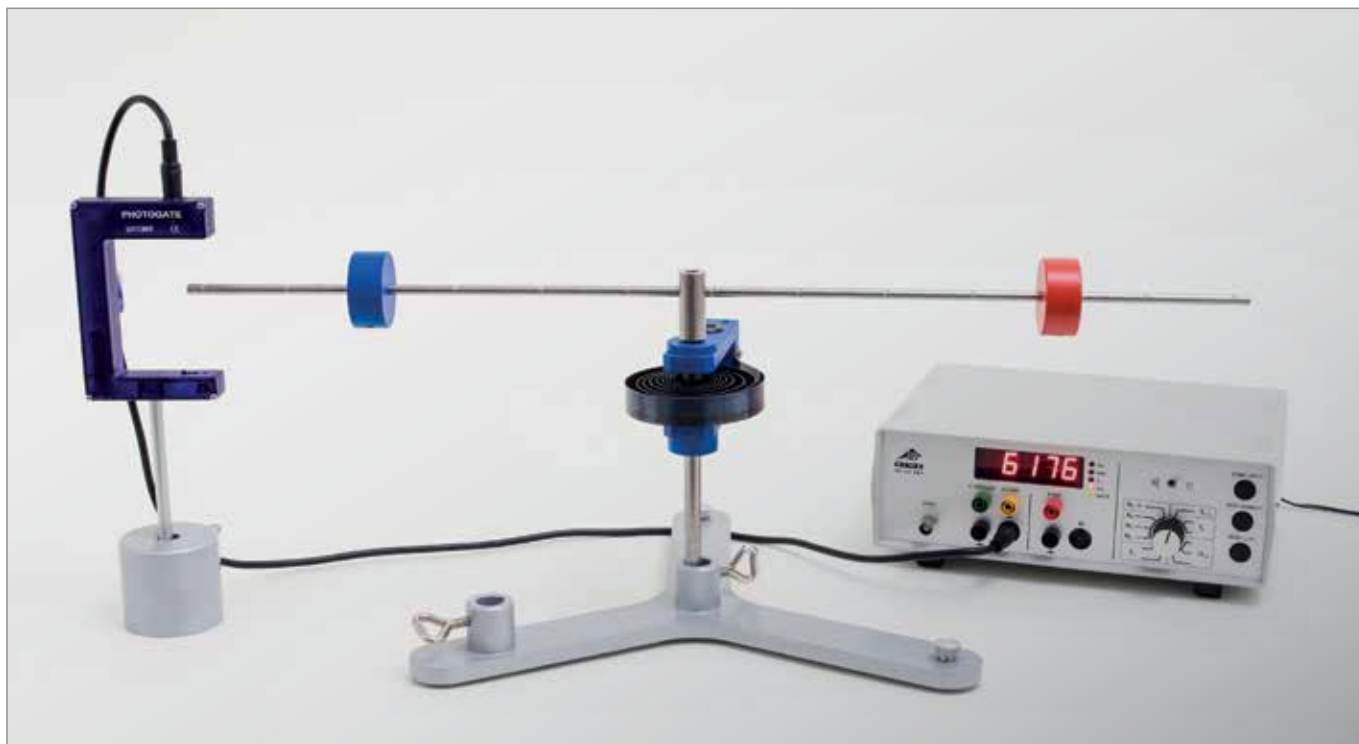


Fig. 1: Momento d'inerzia J del disco rotante con asta del manubrio per tre diverse masse supplementari m in base al quadrato della distanza r rispetto all'asse di rotazione

UE1040205 | MOMENTO D'INERZIA II



> FUNZIONI

- Determinazione della costante di torsione D_f della molla di accoppiamento.
- Determinazione del momento d'inerzia J dell'asta del manubrio senza pesi.
- Determinazione del momento d'inerzia J in funzione della distanza r dei pesi rispetto all'asse di rotazione.
- Determinazione del momento d'inerzia J per un disco e un disco spesso, una sferapiena, un cilindro pieno e uno cavo.

SCOPO

Determinazione del momento d'inerzia di diversi corpi di prova

RIASSUNTO

Il momento d'inerzia di un corpo intorno a un dato asse di rotazione dipende dalla distribuzione del peso all'interno del corpo rispetto all'asse. Questo è quanto viene sperimentato usando un'asta dotata di due pesi mobili, un disco sottile, un disco spesso, una sfera piena, un cilindro pieno e uno cavo. Il periodo di oscillazione dei corpi di prova dipende dalla distribuzione della massa e dalla loro geometria.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Asse di torsione	1008662
1	Fotocellula	1000563
1	Contatore digitale (230 V, 50/60 Hz)	1001033 o
	Contatore digitale (115 V, 50/60 Hz)	1001032
1	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
1	Base di supporto, 3 gambe, 185 mm	1002836
1	Dinamometro di precisione 1 N	1003104
1	Kit provini per asse di torsione	1021752

BASI GENERALI

L'inerzia di un corpo rigido rispetto ad una variazione del suo moto di rotazione intorno ad un asse fisso è indicata dal momento d'inerzia J . Esso dipende dalla distribuzione della massa nel corpo rispetto all'asse di rotazione ed è tanto maggiore quanto maggiori sono le distanze rispetto all'asse di rotazione.

In generale, il momento d'inerzia si definisce tramite l'integrale di volume:

$$(1) \quad J = \int_V r_s^2 \cdot \rho(r) \cdot dV$$

r_s : distanza dell'elemento di volume dall'asse di rotazione
 $\rho(r)$: Distribuzione della massa del corpo

Nel caso di un'asta sulla quale sono disposti simmetricamente due pesi con massa m ad una distanza r rispetto all'asse di rotazione, il momento d'inerzia è pari a:

$$(2) \quad J = J_0 + 2 \cdot m \cdot r^2$$

J_0 : Momento d'inerzia dell'asta senza pesi

I diversi corpi di prova possono essere fissati sull'asse di torsione. Il periodo di oscillazione T vale:

$$(3) \quad T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D_r}}$$

D_r : Costante di torsione della molla a elica

Ossia il periodo di oscillazione T è tanto maggiore quanto maggiore è il momento d'inerzia J .

La costante di torsione della molla a elica può essere definita con l'ausilio di un dinamometro a molla:

$$(4) \quad D_r = \frac{F \cdot r}{\alpha}$$

α : Deviazione dalla posizione di equilibrio

ANALISI

Da (3) si ottiene l'equazione per il momento d'inerzia:

$$J = D_r \cdot \frac{T^2}{4\pi^2}$$

Per la composizione con l'asta deve essere sottratto inoltre il momento d'inerzia dell'asta:

$$J(\text{masse}) = J(\text{asta} + \text{masse}) - J(\text{asta})$$

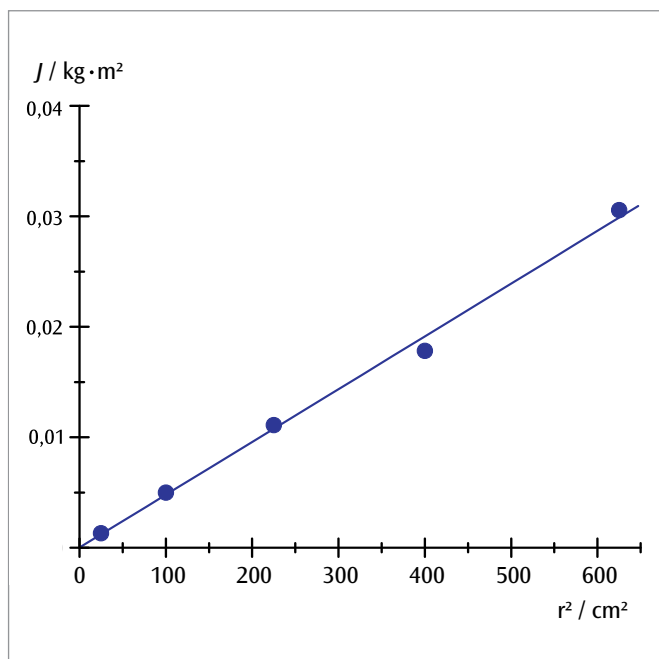


Fig. 1: Momento d'inerzia J dei pesi in relazione al quadrato della distanza delle masse r

UE1040320 | RUOTA DI MAXWELL



SCOPO

Conferma della conservazione dell'energia con la ruota di Maxwell

RIASSUNTO

La ruota di Maxwell è sospesa su entrambi i lati del proprio asse a un filo su cui scorre svolgendosi e riavvolgendosi. Durante il movimento, l'energia potenziale viene trasformata in energia cinetica e nuovamente in energia potenziale. Il movimento di svolgimento e riavvolgimento prosegue fino a quando l'energia determinata dall'altezza iniziale non viene completamente esaurita dall'attrito e dalla perdita in riflessione. In questo esperimento, il movimento della ruota di Maxwell viene registrato con un sensore di movimento a ultrasuoni. A partire dallo spostamento risultante rispetto al diagramma temporale, è possibile determinare la velocità momentanea della ruota e calcolare la sua energia cinetica.

> FUNZIONI

- Registrazione del diagramma spazio-tempo e del diagramma velocità-tempo del primo movimento discendente.
- Determinazione dell'accelerazione e del momento d'inerzia.
- Determinazione delle energie cinetiche e potenziali durante il movimento ascendente e discendente.
- Conferma della conservazione dell'energia in considerazione dell'attrito e della perdita di riflessione.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Ruota di Maxwell	1000790
1	WiLab*	1022284
1	Sensore di movimento per WiLab*	1022288
1	Base di supporto a forma di H	1018874
2	Asta di supporto, 1000 mm	1002936
2	Manicotto universale	1002830
Ulteriormente necessario:		
1	Coach 7 Licenza	
Ulteriormente consigliato:		
1	Bilancia elettronica 5200 g	1022587
1	Calibro a corsoio, 150 mm	1002601

* Alternativa: 1 €Motion 1021673 o 1 VinciLab 1021477 e 1 sensore di movimento 1021683

BASI GENERALI

La ruota di Maxwell è sospesa su entrambi i lati del proprio asse a un filo su cui scorre svolgendosi. L'energia potenziale viene progressivamente trasformata in energia cinetica di rotazione. Non appena il filo è completamente svolto, la ruota continua a girare con un'energia di rotazione elevata, avvolgendo il filo verso l'altro lato e muovendosi per riconversione dell'energia cinetica in energia potenziale verso l'alto fino a quando l'energia cinetica non risulta completamente riconvertita. Il movimento di svolgimento e riavvolgimento si ripete fino a quando l'energia determinata dall'altezza iniziale dalla perdita di carico continua e non viene completamente esaurita dall'attrito e dalla perdita in riflessione.

Mentre si svolge e si riavvolge, la ruota si muove lentamente verso il basso e verso l'alto con una velocità v . Essa è vincolata dalla relazione

$$(1) \quad v = \omega \text{ con } r: \text{raggio dell'asse}$$

rispetto alla velocità angolare ω con cui la ruota gira intorno al proprio asse. L'energia totale è pertanto pari a

$$(2) \quad \begin{aligned} E &= m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ &= m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{I}{m \cdot r^2} + 1 \right) \cdot v^2 \end{aligned}$$

m : massa, I : momento d'inerzia,
 h : altezza sul punto di inversione inferiore,
 g : accelerazione di gravità

Essa descrive un movimento di traslazione con un'accelerazione orientata verso il basso.

$$(3) \quad \dot{v} = a = \frac{g}{\frac{I}{m \cdot r^2} + 1}$$

Tale accelerazione viene determinata nell'esperimento a partire dal tratto percorso nel tempo t

$$(4) \quad s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

o dalla velocità istantanea raggiunta dopo il tempo t

$$(5) \quad v = a \cdot t$$

In questo esperimento, il movimento della ruota di Maxwell viene registrato con un sensore di movimento a ultrasuoni. A partire dallo spostamento risultante rispetto al diagramma temporale, è possibile determinare la velocità momentanea della ruota e calcolare la sua energia cinetica.

ANALISI

Noti la massa m e il raggio dell'asse r , il momento d'inerzia viene determinato a partire dall'accelerazione a . Da (3) si ha

$$I = m \cdot r^2 \cdot \left(\frac{g}{a} - 1 \right)$$

La velocità istantanea v può essere determinata derivando lo spostamento rispetto al diagramma temporale. Le energie cinetiche E_{kin} sono calcolate come segue:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{I}{m \cdot r^2} + 1 \right) \cdot v^2$$

Per l'energia potenziale vale

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

Le perdite chiaramente riconoscibili in Fig. 3 in termini di bilancio energetico sono descrivibili supponendo una forza di attrito costante contro la direzione del movimento e una perdita di energia non trascurabile nel cambio di direzione presso il punto di inversione inferiore.

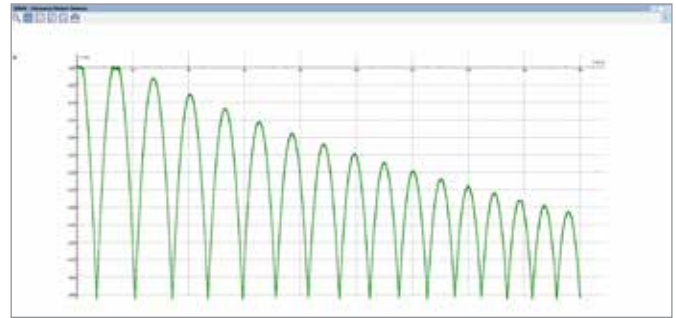


Fig. 1: Rappresentazione schematica della struttura sperimentale

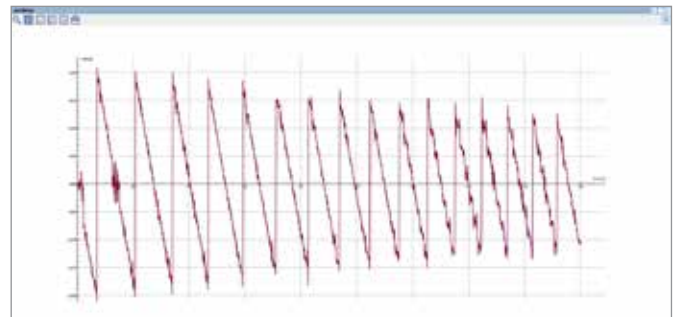


Fig. 2: Diagramma spazio-tempo del primo movimento discendente

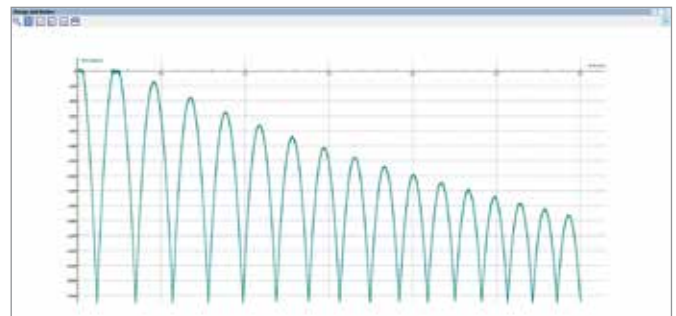
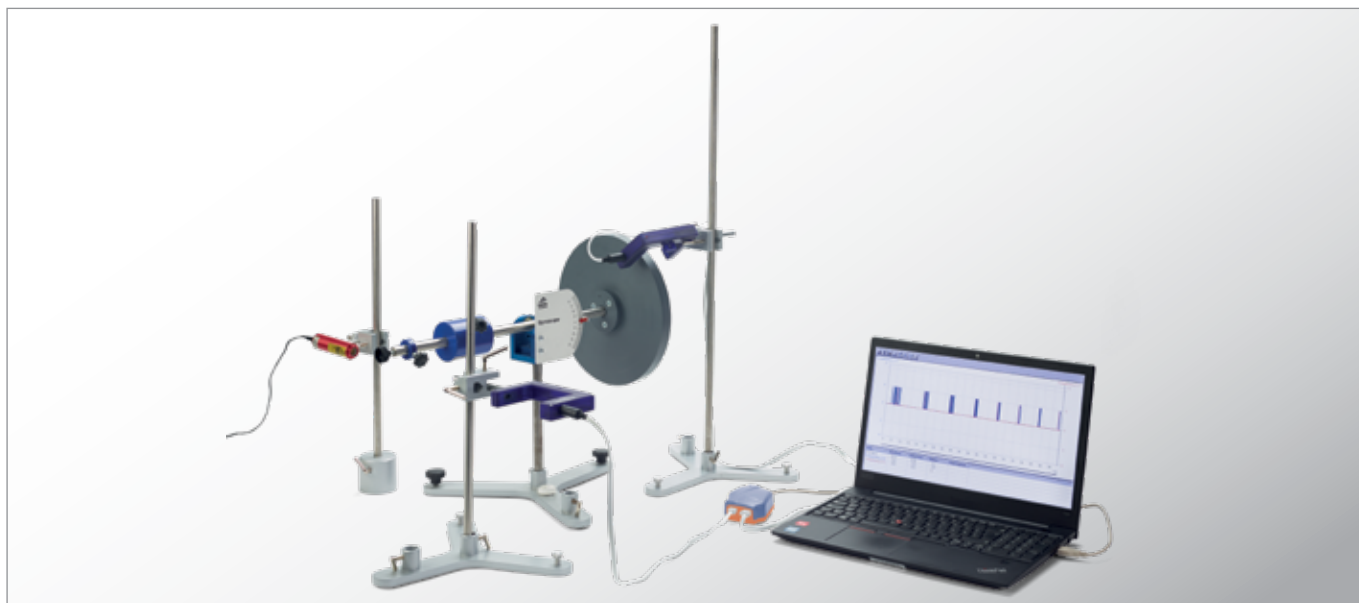


Fig. 3: Diagramma velocità-tempo del primo movimento discendente

UE1040500

PRECESSIONE E NUTAZIONE DI UN GIROSCOPIO



> FUNZIONI

- Conferma della proporzionalità tra la frequenza di rotazione f_R del disco e il periodo T_p della precessione del giroscopio e determinazione del momento d'inerzia dall'applicazione grafica $f_R(T_p)$.
- Conferma della proporzionalità tra la frequenza della rotazione f_R e la frequenza di nutazione f_N tramite l'applicazione grafica $f_N(f_R)$, ovvero dei periodo corrispondenti $T_R(T_N)$.

SCOPO

Analisi sperimentale della precessione e nutazione di un giroscopio e determinazione del momento d'inerzia

RIASSUNTO

Un giroscopio compie un moto di precessione e nutazione oltre al suo moto di rotazione se una forza esterna e quindi un ulteriore momento torcente agisce sull'asse di rotazione oppure l'asse di rotazione del giroscopio che ruota a un basso numero di giri è sottoposto a una deviazione dalla sua posizione di equilibrio. Il periodo di precessione è inversamente proporzionale al periodo di rotazione e il periodo di nutazione è direttamente proporzionale al periodo di rotazione. La dipendenza del periodo di precessione dal periodo di rotazione consente la determinazione del momento d'inerzia del disco rotante.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Giroscopio	1000695
2	Fotocellula	1000563
1	Diodo laser, rosso 230V	1003201 o
	Diodo laser, rosso 115V	1022208
1	WiLab*	1022284
2	Cavo di collegamento miniDIN8 – BT	1021688
3	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
3	Manicotto universale	1002830
3	Asta di supporto, 750 mm	1002935
Ulteriormente necessario		
1	Coach 7 Licenza	

* Alternativa: 1 VinciLab 1021477

BASI GENERALI

Un giroscopio è un corpo rigido che ruota attorno ad un asse fissato a un punto fisso. Se sull'asse interviene una forza esterna, il momento torcente modifica il momento angolare. Il giroscopio si muove quindi in direzione perpendicolare rispetto all'asse del corpo e alla forza incidente. Questo movimento viene definito precessione. Se un giroscopio che ruota a un basso numero di giri riceve un urto contro il suo asse di rotazione, compie movimenti basculanti, chiamati nutazione. Generalmente, questi movimenti si sovrappongono.

Nell'esperimento viene utilizzato un giroscopio il cui disco grande ruota a basso attrito intorno a un asse di rotazione posto in punto di contatto. Una massa contraria viene regolata in modo che il punto di contatto coincida con il baricentro. Se il giroscopio si trova in equilibrio e il disco viene messo in rotazione, esso possiede un momento angolare costante L :

$$(1) \quad L = I \cdot \omega_R$$

I : Momento d'inerzia, ω_R : velocità angolare

Il momento d'inerzia del disco rotante del giroscopio vale:

$$(2) \quad I = \frac{1}{2} \cdot M \cdot R^2$$

M : Massa del disco, R : Raggio del disco

Se l'asse di rotazione viene gravato da una massa supplementare m , allora il momento torcente provocato da un carico aggiuntivo causa una variazione τ del momento angolare:

$$(3) \quad \tau = m \cdot g \cdot r = \frac{dL}{dt}$$

r : Distanza del punto di supporto dell'asse di rotazione dal punto di applicazione della massa supplementare

L'asse di rotazione ruota quindi secondo la fig. 2 di un angolo

$$(4) \quad d\varphi = \frac{dL}{L} = \frac{m \cdot g \cdot r \cdot dt}{L}$$

e con movimento di precessione. Ne consegue quindi per la velocità angolare del moto di precessione:

$$(5) \quad \omega_p = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{m \cdot g \cdot r}{L} = \frac{m \cdot g \cdot r}{I \cdot \omega_R}$$

$$\text{e con } \omega = 2\pi/T = 2\pi f:$$

$$(6) \quad \frac{1}{T_R} = f_R = \frac{m \cdot g \cdot r}{I} \cdot T_p$$

Se il disco di rotazione viene messo in rotazione senza un ulteriore momento torcente esterno e l'asse di rotazione viene urtato leggermente di lato, il giroscopio compie moti di nutazione. La velocità angolare della nutazione è quindi direttamente proporzionale alla velocità angolare della rotazione:

$$(7) \quad \omega_N = C \cdot \omega_R \quad \text{ovvero} \quad T_R = C \cdot T_N$$

C : Costante

Questo esperimento consiste nel far correre i movimenti rotatori, precessivi e nutativi con l'aiuto di barriere fotoelettriche, in cui il modo in cui gli impulsi cambiano nel tempo viene registrato e visualizzato da un'interfaccia e dal suo software.

ANALISI

I periodi di rotazione, precessione e nutazione vengono definiti tramite i tracciati temporali registrati degli impulsi. Secondo l'equazione (6), il periodo di precessione è inversamente proporzionale al periodo di rotazione e secondo l'equazione (7), il periodo di nutazione è direttamente proporzionale al periodo di rotazione. Nei diagrammi corrispondenti, i valori di misurazione si trovano pertanto su una retta passante per l'origine nei limiti della precisione di misurazione. Dalla pendenza di una delle rette adattate ai punti di misurazione $f_R(T_p)$, è possibile determinare il momento d'inerzia del disco rotante del giroscopio in maniera sperimentale e confrontarlo con quello calcolato in maniera teorica con l'equazione (2).

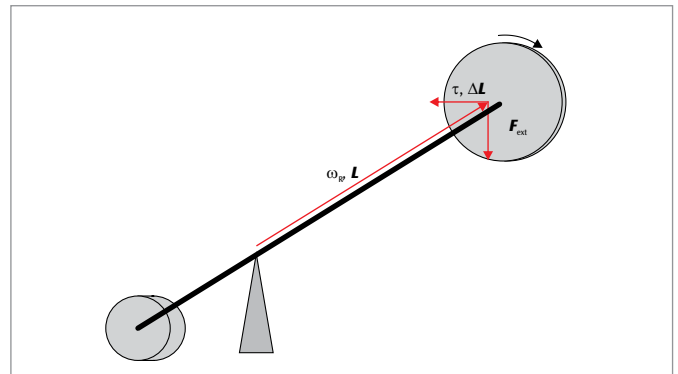


Fig. 1: Schizzo schematico del giroscopio per la precessione

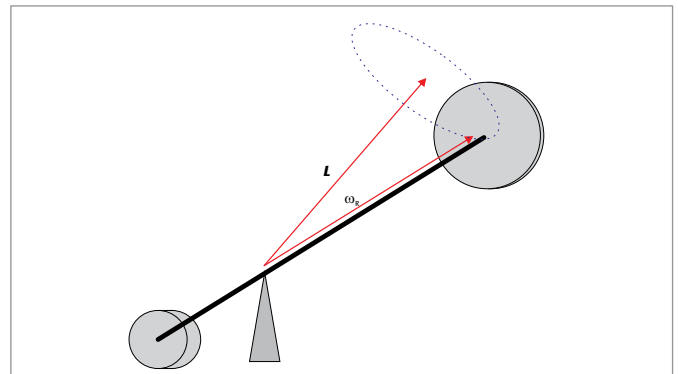


Fig. 2: Schizzo schematico del giroscopio per la nutazione

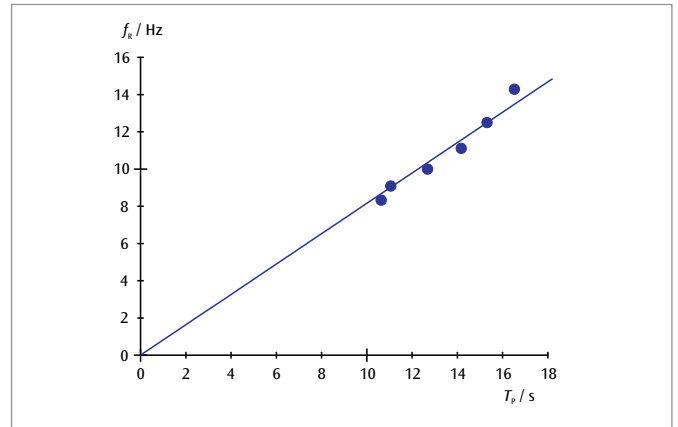


Fig. 3: Frequenza di rotazione f_R del disco di rotazione in relazione al periodo di precessione T_p

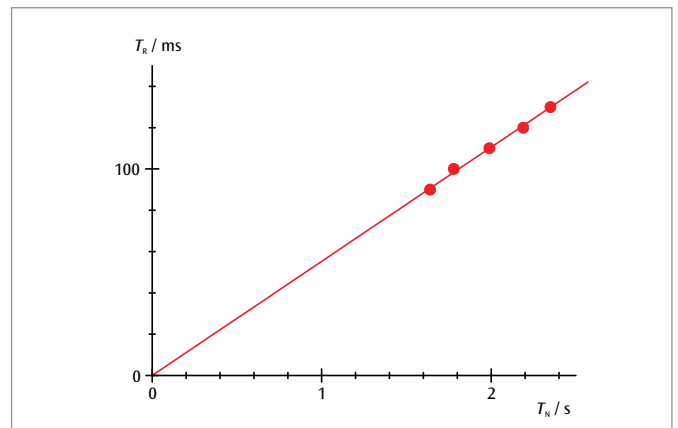
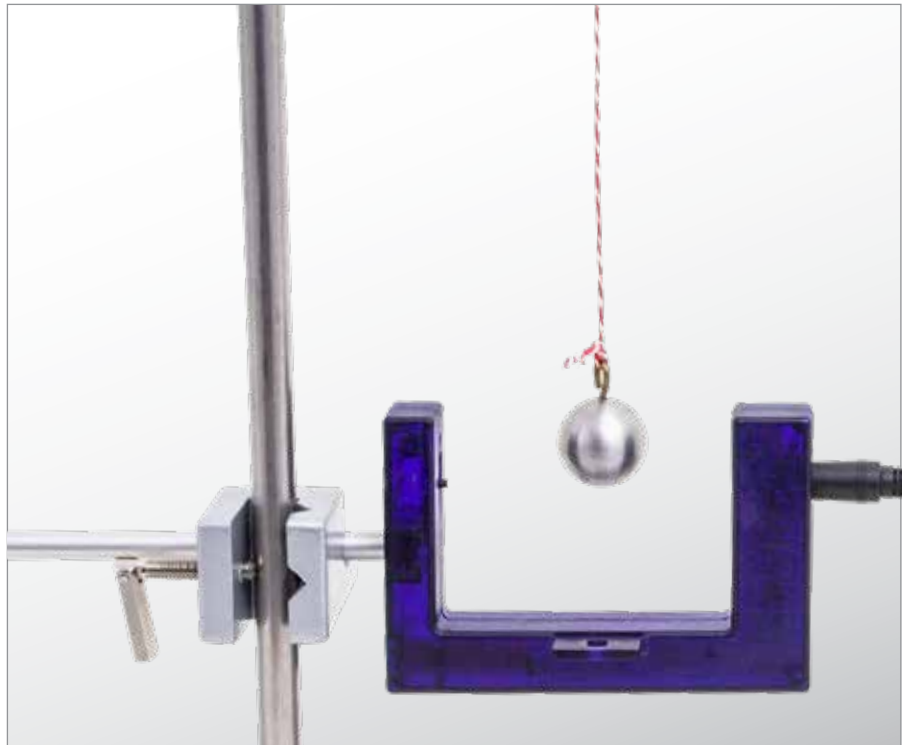


Fig. 4: Periodo di rotazione T_R in relazione al periodo di nutazione T_N

UE1050101

OSCILLAZIONE ARMONICA DI UN PENDOLO A FILO



> FUNZIONI

- Misurazione del periodo di oscillazione T di un pendolo a filo in funzione della lunghezza del pendolo L .
- Misurazione del periodo di oscillazione T di un pendolo a filo in funzione del peso del pendolo m .
- Determinazione dell'accelerazione di caduta g .

SCOPO

Misurazione del periodo di oscillazione di un pendolo a filo per vari pesi

RIASSUNTO

Il periodo di oscillazione T di un pendolo a filo dipende dalla lunghezza del pendolo L , ma non dal peso m . Ciò viene dimostrato in una serie di misurazioni in cui si registra il periodo di oscillazione di un pendolo a filo per mezzo di una fotocellula collegata a un contatore digitale.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Set 4 sfere per pendolo	1003230
1	Corda sperimentale	1001055
1	Base di supporto, 3 gambe, 185 mm	1002836
1	Asta di supporto, 1500 mm	1002937
1	Asta di supporto, 100 mm	1002932
1	Manicotto con gancio	1002828
2	Manicotto universale	1002830
1	Fotocellula	1000563
1	Contatore digitale (230 V, 50/60 Hz)	1001033 o
	Contatore digitale (115 V, 50/60 Hz)	1001032
1	Metro a nastro tascabile, 2 m	1002603
1	Bilancia elettronica 220 g	1022627

BASI GENERALI

Un pendolo a filo di peso m e lunghezza L oscilla in modo armonico attorno alla posizione di riposo fintanto che la deviazione rispetto a quest'ultima non è eccessiva. Il periodo di oscillazione T , ovvero il tempo impiegato per un movimento completo attorno alla posizione di riposo, dipende solo dalla lunghezza L e non dal peso m del pendolo.

Spostando il pendolo dalla posizione di riposo di un angolo φ , la forza di richiamo è pari a

$$(1a) \quad F_1 = -m \cdot g \cdot \sin \varphi$$

o in buona approssimazione per piccoli angoli φ

$$(1b) \quad F_1 = -m \cdot g \cdot \varphi$$

La forza di inerzia della massa accelerata è uguale a

$$(2) \quad F_2 = m \cdot L \cdot \ddot{\varphi}$$

Le due forze sono identiche, da cui si ottiene l'equazione del moto dell'oscillatore armonico

$$(3) \quad \ddot{\varphi} + \frac{g}{L} \cdot \varphi = 0$$

e per il periodo di oscillazione T segue

$$(4) \quad T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Nell'esperimento si misura il periodo di oscillazione per varie lunghezze e pesi del pendolo utilizzando una fotocellula collegata a un contatore digitale. Tale contatore è programmato internamente in modo da arrestare la misurazione del tempo dopo ciascuna oscillazione completa.

ANALISI

I valori misurati sono rappresentati da un lato in un diagramma $T-L$ e dall'altro in diagramma $T-m$. I diagrammi dimostrano la prevista dipendenza del periodo di oscillazione dalla lunghezza del pendolo e l'indipendenza dal peso dello stesso.

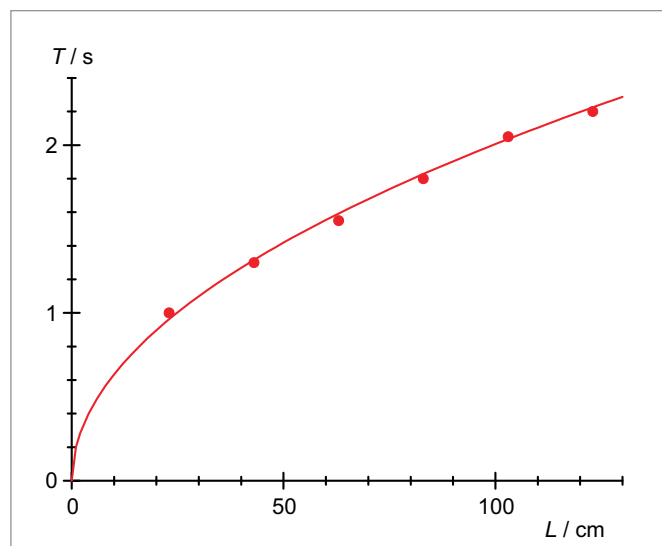


Fig. 1: Periodo di oscillazione T in funzione della lunghezza del pendolo L

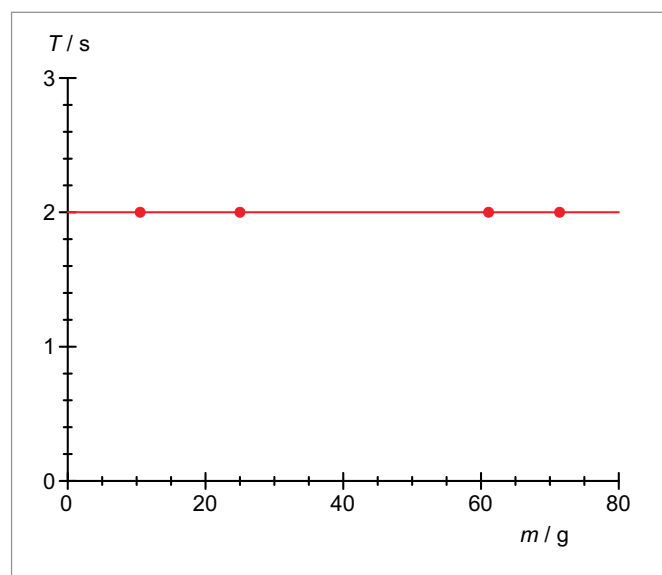
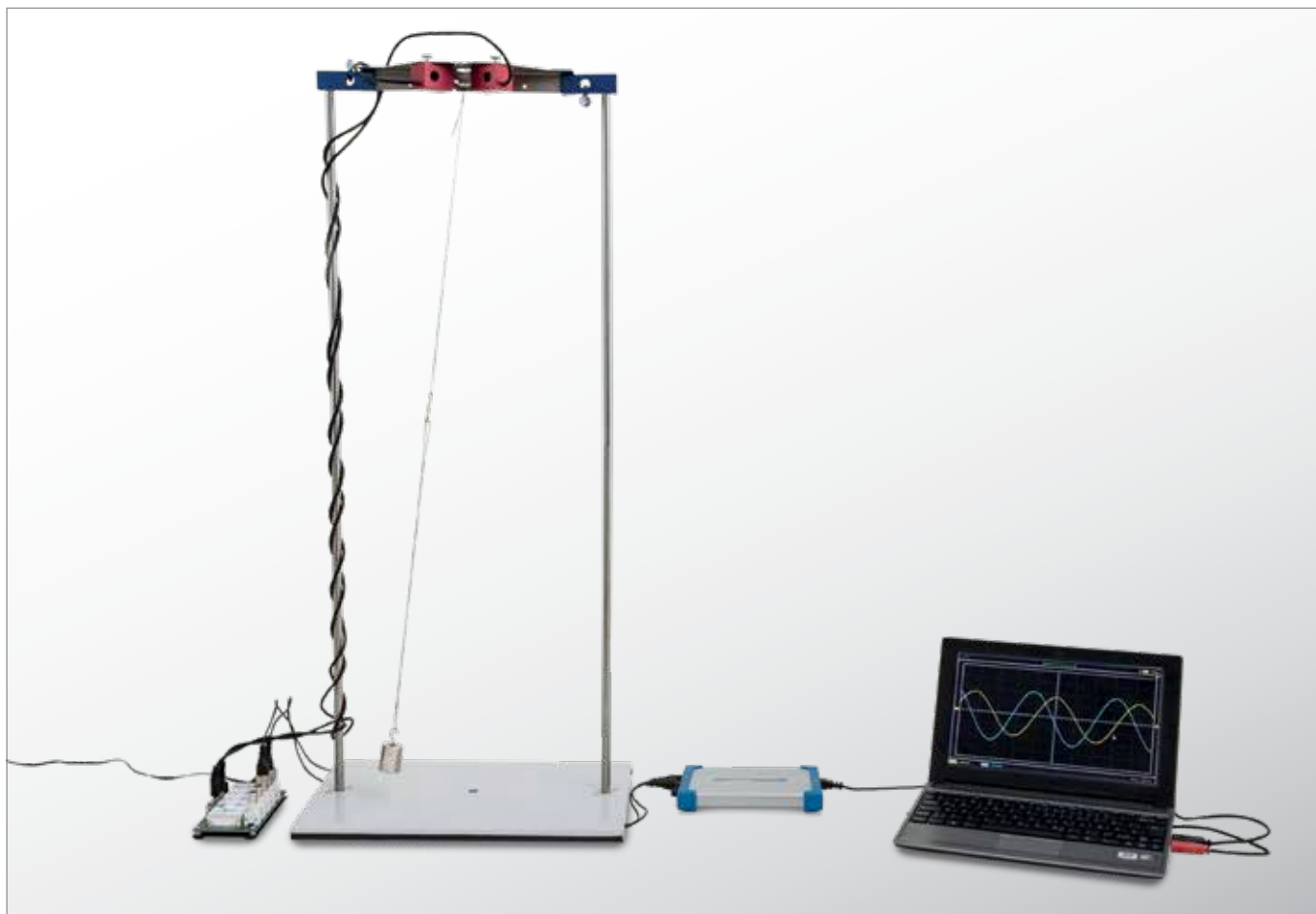


Fig. 2: Periodo di oscillazione T in funzione del peso del pendolo m



> FUNZIONI

- Registrazione dell'oscillazione ellittica di un pendolo a filo in due componenti perpendicolari tra loro per diverse condizioni iniziali.

SCOPO

Descrizione dell'oscillazione ellittica di un pendolo a filo come sovrapposizione di due componenti perpendicolari tra loro

RIASSUNTO

A seconda della condizione iniziale, un pendolo a filo adeguatamente sospeso oscilla in piccole deviazioni tali per cui il corpo del pendolo viene a descrivere un'ellissi. Scomponendo il movimento in due componenti perpendicolari tra loro, si trova tra di esse una differenza di fase. Nell'esperimento si rappresenta questa correlazione misurando le oscillazioni per mezzo di due sensori di forza dinamici perpendicolari tra loro. Vengono valutate l'ampiezza delle componenti e la relativa differenza di fase.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Set supplementare "Pendolo a filo"	1012854
1	Stativo "Oscillazioni meccaniche"	1012849
1	Sensori "Oscillazioni meccaniche" (230 V, 50/60 Hz)	1012850 o
	Sensori "Oscillazioni meccaniche" (115 V, 50/60 Hz)	1012851
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857

BASI GENERALI

A seconda della condizione iniziale, un pendolo a filo adeguatamente sospeso oscilla in piccole deviazioni tali per cui il corpo del pendolo viene a descrivere un'ellissi. Scomponendo il movimento in due componenti perpendicolari tra loro, si ha una differenza di fase.

Nell'esperimento si rappresenta questa correlazione misurando le oscillazioni per mezzo di due sensori di forza dinamici perpendicolari tra loro. Lo spostamento di fase è immediatamente riconoscibile rappresentando le oscillazioni con un oscilloscopio a due canali.

Si riconoscono subito in maniera evidente tre casi particolari:

- Se il pendolo oscilla sulla bisettrice tra i sensori di forza, si ha uno spostamento di fase $\varphi = 0^\circ$.
- In caso di oscillazioni perpendicolari alla bisettrice si ha $\varphi = 180^\circ$.
- Se il corpo del pendolo descrive una traiettoria circolare, si ha $\varphi = 90^\circ$.

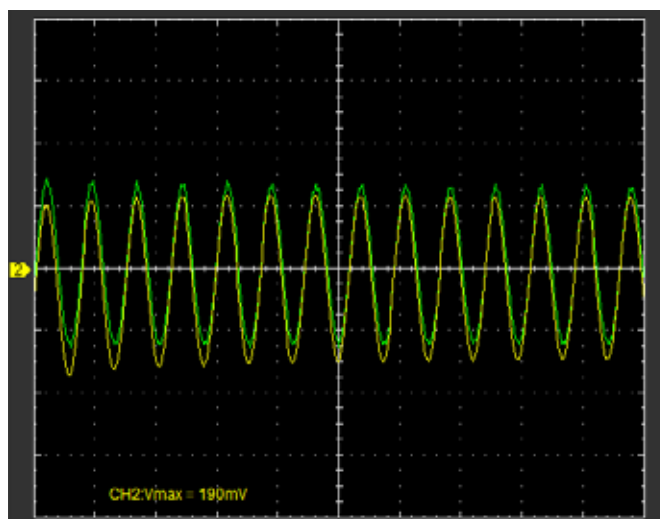


Fig. 2: Le componenti oscillatorie del pendolo a filo nell'oscillazione "sulla bisettrice"

ANALISI

Le oscillazioni vengono registrate e "bloccate" per mezzo di un oscilloscopio con memoria. Vengono valutate l'ampiezza delle componenti e la relativa differenza di fase.

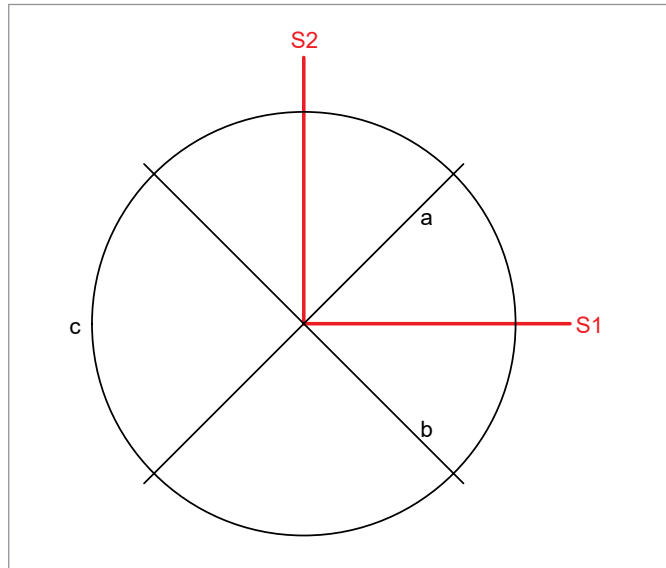


Fig. 1: Allineamento dei sensori S_1 e S_2 e direzioni di oscillazione esaminate del pendolo a filo

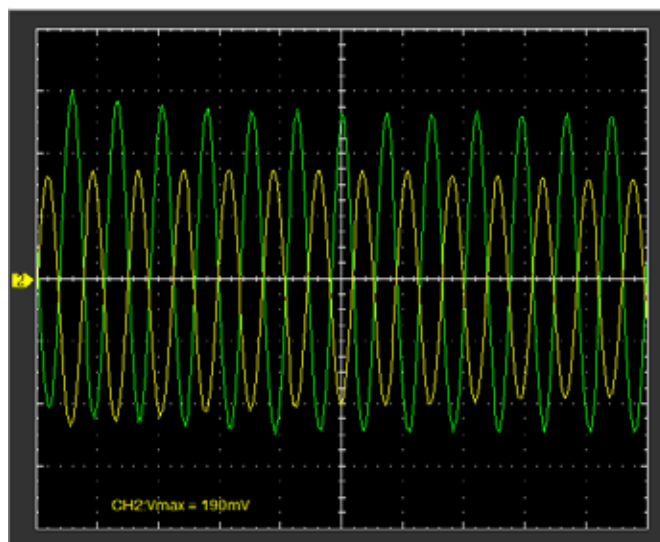


Fig. 3: Le componenti oscillatorie del pendolo a filo nell'oscillazione "perpendicolare alla bisettrice"

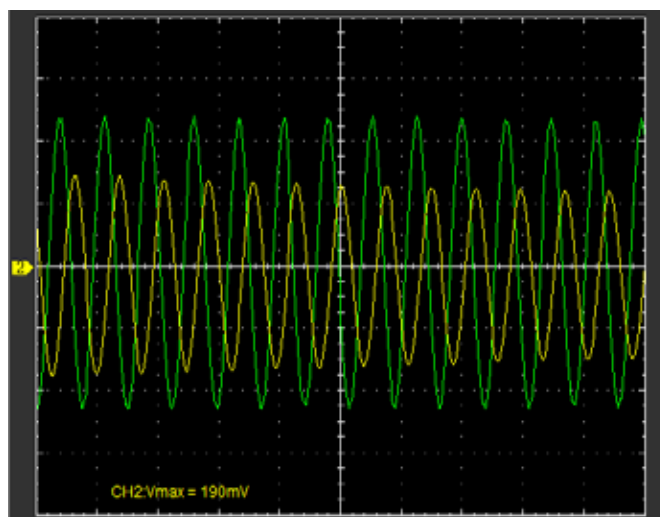


Fig. 4: Le componenti oscillatorie del pendolo a filo in oscillazioni circolari

UE1050201

PENDOLO GRAVITAZIONALE VARIABILE



> FUNZIONI

- Misurazione del periodo di oscillazione T a seconda della componente efficace g_{eff} dell'accelerazione di caduta.
- Misurazione del periodo di oscillazione T per diverse lunghezze del pendolo L .

SCOPO

Misurazione del periodo di oscillazione di un pendolo a seconda della componente attiva dell'accelerazione di caduta

RIASSUNTO

Il periodo di oscillazione di un pendolo viene aumentato dall'inclinazione del suo asse di rotazione rispetto alla verticale, in quanto la componente attiva dell'accelerazione di caduta si riduce.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Pendolo g variabile	1000755
1	Supporto fotocellula al pendolo	1000756
1	Fotocellula	1000563
1	Contatore digitale (230 V, 50/60 Hz)	1001033 o
	Contatore digitale (115 V, 50/60 Hz)	1001032
1	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
1	Asta di supporto, 470 mm	1002934

BASI GENERALI

Il periodo di oscillazione di un pendolo matematico è determinato dalla lunghezza del pendolo L e dall'accelerazione di caduta g . L'influenza dell'accelerazione di caduta può essere dimostrata se l'asse di rotazione, intorno al quale ruota il pendolo, è inclinato rispetto alla verticale.

In caso di asse di rotazione inclinato, la componente g_{par} parallela all'asse di rotazione dell'accelerazione g viene compensata dal supporto dell'asse di rotazione (vedi fig.1). La componente efficace rimanente g_{eff} è:

$$(1) \quad g_{eff} = g \cdot \cos \alpha$$

α : Angolo d'inclinazione dell'asse di rotazione rispetto alla verticale.

Dopo la deviazione del pendolo dell'angolo φ dalla posizione di riposo, sulla massa sospesa m agisce una forza di richiamo

$$(2) \quad F = -m \cdot g_{eff} \cdot \sin \varphi$$

Per piccole deviazioni, l'equazione del moto del pendolo è pertanto:

$$(3) \quad m \cdot L \cdot \ddot{\varphi} + m \cdot g_{eff} \cdot \varphi = 0$$

Il pendolo oscilla quindi alla frequenza angolare:

$$(4) \quad \omega = \sqrt{\frac{g_{eff}}{L}}$$

ANALISI

Da (4) per il periodo di oscillazione del pendolo deriva

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g_{eff}}}$$

Pertanto, il periodo di oscillazione si riduce con l'accorciamento del pendolo, mentre aumenta con la diminuzione della componente attiva dell'accelerazione di caduta.

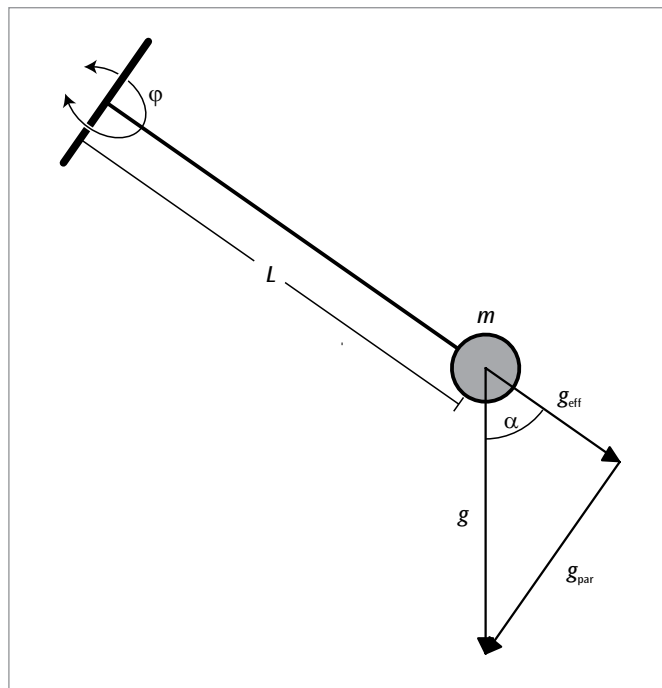


Fig. 1: Pendolo gravitazionale variabile (rappresentazione schematica)

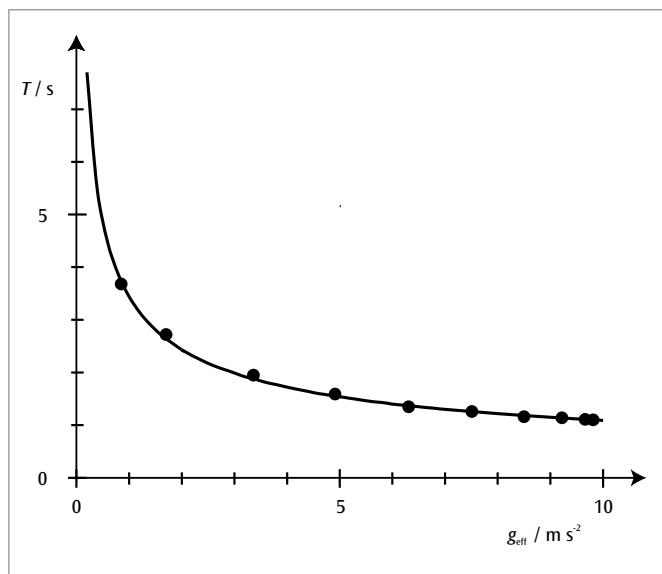


Fig. 2: Periodo di oscillazione del pendolo a seconda della componente efficace dell'accelerazione di caduta
La linea tracciata è stata calcolata con il valore $L = 30$ cm

UE1050221 | PENDOLO REVERSIBILE DI KATER



> FUNZIONI

- Sincronizzazione di un pendolo reversibile al medesimo periodo di oscillazione intorno a due punti di sospensione.
- Determinazione del periodo di oscillazione e calcolo dell'accelerazione di gravità locale.

SCOPO

Determinazione dell'accelerazione di gravità locale con l'ausilio di un pendolo reversibile

RIASSUNTO

Il pendolo reversibile è una particolare struttura del pendolo fisico. Esso dispone di due punti di sospensione alternativi e può essere regolato di modo che il periodo di oscillazione sia identico in entrambi i casi. La lunghezza del pendolo ridotta coincide con la distanza dei due fulcri. Ciò facilita la determinazione dell'accelerazione di gravità locale da periodo di oscillazione e lunghezza del pendolo ridotta. La sincronizzazione del pendolo reversibile si ottiene nell'esperimento spostando in maniera adeguata un peso tra i due fulcri, mentre un contrappeso leggermente più grande rimane fisso al di fuori di essi.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Pendolo reversibile di Kater	1018466
1	Fotocellula	1000563
1	Contatore digitale (230 V, 50/60 Hz)	1001033 o
	Contatore digitale (115 V, 50/60 Hz)	1001032

BASI GENERALI

Il pendolo reversibile è una particolare struttura del pendolo fisico. Esso dispone di due punti di sospensione alternativi e può essere regolato di modo che il periodo di oscillazione sia identico in entrambi i casi. La lunghezza del pendolo ridotta coincide con la distanza dei due fulcri. Ciò facilita la determinazione dell'accelerazione di gravità locale da periodo di oscillazione e lunghezza del pendolo ridotta.

Quando un pendolo fisico oscilla liberamente intorno alla propria posizione di riposo con piccole deviazioni φ , l'equazione del moto è

$$(1) \quad \frac{J}{m \cdot s} \cdot \ddot{\varphi} + g \cdot \varphi = 0$$

J : momento d'inerzia intorno all'asse di oscillazione,

g : accelerazione di gravità,

m : peso del pendolo,

s : distanza tra asse di oscillazione e baricentro

La grandezza

$$(2) \quad L = \frac{J}{m \cdot s}$$

è la lunghezza del pendolo ridotta del pendolo fisico. Un pendolo matematico di tale lunghezza oscilla con identico periodo di oscillazione.

Per il momento d'inerzia vale per il teorema di Steiner

$$(3) \quad J = J_s + m \cdot s^2$$

J_s : momento d'inerzia intorno all'asse del baricentro

A un pendolo reversibile con due fulcri ad una distanza d sono pertanto associate le due lunghezze ridotte del pendolo

$$(4) \quad L_1 = \frac{J_s}{m \cdot s} + s \quad \text{e} \quad L_2 = \frac{J_s}{m \cdot (d-s)} + d - s$$

Esse coincidono se il pendolo reversibile è sincronizzato in modo tale che il periodo di oscillazione intorno ai due fulcri risulta identico. Si ha quindi

$$(5) \quad s = \frac{d}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \frac{J_s}{m}}$$

e

$$(6) \quad L_1 = L_2 = d$$

Il periodo di oscillazione T è in questo caso pari a

$$(7) \quad T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{d}{g}}$$

La sincronizzazione del pendolo reversibile si ottiene nell'esperimento spostando in maniera adeguata un peso $m_2 = 1$ kg tra i fulcri, mentre un contrappeso di massa leggermente più grande $m_1 = 1,4$ kg è fisso al di fuori di esse. La misurazione del periodo di oscillazione avviene in maniera elettronica, poiché l'estremità inferiore del pendolo interrompe periodicamente una fotocellula. In questo modo, i periodi di oscillazione T_1 e T_2 associati alle lunghezze ridotte L_1 e L_2 del pendolo vengono misurati in funzione della posizione x_2 del peso m_2 .

ANALISI

Le due curve di misurazione $T_1(x_2)$ e $T_2(x_2)$ si intersecano due volte al valore $T = T_1 = T_2$, dove per la determinazione precisa dei punti di intersezione fra punti di misurazione si effettua un'interpolazione. Dal valore rilevato si calcola

$$g = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot d, \quad d = 0,8 \text{ m}$$

con una precisione relativa di 0,3 per mille.

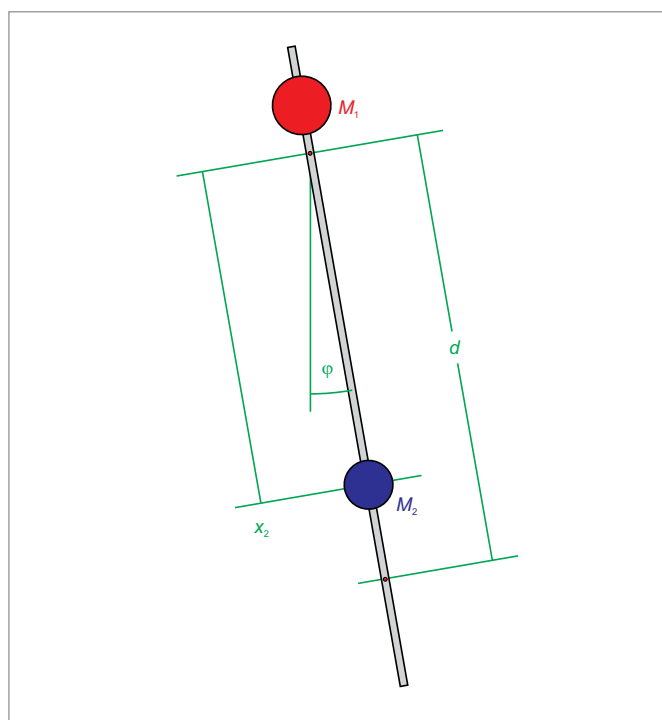


Fig. 1: Rappresentazione schematica del pendolo reversibile

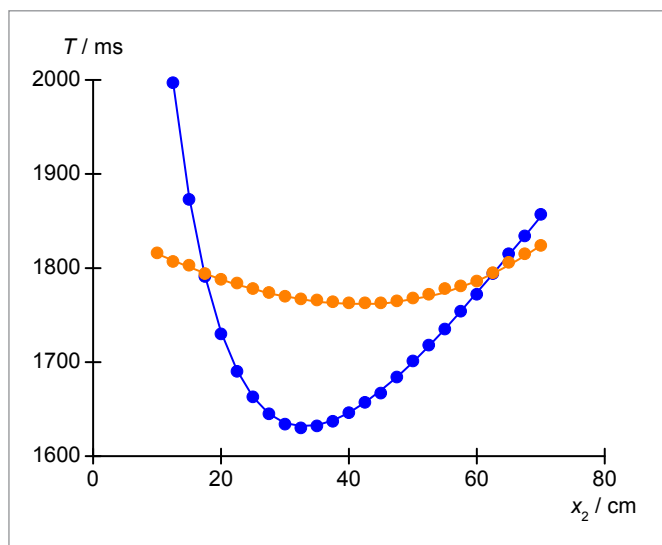


Fig. 2: Periodi di oscillazione misurati T_1 e T_2 in funzione della posizione del peso 2.

UE1050250 | PENDOLO DI FOUCAULT



SCOPO

Dimostrazione della rotazione terrestre con un pendolo di Foucault

RIASSUNTO

Il pendolo di Foucault è un semplice pendolo, composto da un peso di grande massa appeso a un filo molto lungo, utilizzato per dimostrare la rotazione terrestre. Nell'esperimento si usa un pendolo con lunghezza 1,2 m la cui direzione di oscillazione è determinabile con estrema precisione per mezzo di una proiezione in ombra. Per ottenere un tempo di osservazione più lungo, lo smorzamento dell'oscillazione può essere compensato mediante un'eccitazione elettromagnetica regolabile di continuo.

> FUNZIONI

- Misurazione della direzione di oscillazione in funzione del tempo.
- Determinazione della velocità di rotazione.
- Determinazione della latitudine geografica.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Pendolo di Foucault (230 V, 50/60 Hz)	1000748 o
	Pendolo di Foucault (115 V, 50/60 Hz)	1000747
1	Cronometro digitale	1002811

BASI GENERALI

Il pendolo di Foucault è un semplice pendolo, composto da un peso di grande massa appeso a un filo molto lungo, utilizzato per dimostrare la rotazione terrestre. Il suo nome deriva da Jean Foucault, che nel 1851 scoprì, su un pendolo lungo 2 m, che la direzione di oscillazione cambia nel tempo. In seguito, l'esperimento venne ripetuto con pendoli sempre più lunghi e pesanti.

Siccome la Terra ruota attorno al proprio asse, nel sistema di coordinate riferito alla Terra del pendolo oscillante agisce una forza di Coriolis.

$$(1) \quad F = 2 \cdot m \cdot \Omega_0 \times v$$

m : massa del corpo del pendolo
 Ω_0 : vettore della velocità angolare della Terra
 v : vettore della velocità del pendolo oscillante

in direzione trasversale rispetto alla direzione di oscillazione. Essa genera una rotazione del piano di oscillazione con periodo che dipende dalla latitudine geografica φ del punto di sospensione. Spostando il pendolo di Foucault di un piccolo angolo α , il corpo del pendolo si muove esclusivamente sul piano orizzontale formato in Fig. 1 dall'asse N rivolto a nord e dall'asse E rivolto a est. Poiché il corpo del pendolo è appeso a un filo, si osservano solo deviazioni in senso orizzontale. Per questa ragione solo la componente verticale

$$(2) \quad \Omega(\varphi) = \Omega_0 \cdot \sin\varphi$$

del vettore Ω_0 è rilevante. L'equazione di moto del pendolo di Foucault oscillante è pertanto

$$(3) \quad \frac{d^2\alpha}{dt^2} \cdot e_p + 2 \cdot \Omega_0 \cdot \sin\varphi \cdot \frac{d\alpha}{dt} \cdot e_v + \frac{g}{L} \cdot \alpha \cdot e_p = 0$$

L : lunghezza del pendolo, g : accelerazione di caduta
 e_p : versore orizzontale parallelo alla direzione di oscillazione attuale
 e_v : versore orizzontale perpendicolare alla direzione di oscillazione attuale

la cui soluzione può suddividersi in una soluzione per l'angolo di deviazione α e una soluzione per il versore e_p parallelo alla direzione di oscillazione attuale:

$$(4a) \quad \alpha(t) = \cos(\omega \cdot t + \beta) \quad \text{con } \omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

$$(4b) \quad e_p(t) = e_E \cdot \cos(\psi(t)) + e_N \cdot \sin(\psi(t))$$

con $\psi(t) = \Omega_0 \cdot \sin\varphi \cdot t + \psi_0$: direzione di oscillazione
 e_E : vettore unitario orizzontale verso est
 e_N : vettore unitario orizzontale verso nord

Con il passare del tempo, il piano di oscillazione ruota quindi con la frequenza indicata nell'equazione (2). Nell'emisfero settentrionale si ha una rotazione verso destra, in quello meridionale verso sinistra. La velocità di rotazione è massima ai poli, mentre in corrispondenza dell'Equatore non vi è alcuna deviazione.

Nell'esperimento si utilizza un pendolo costituito da un filo lungo 1,2 m. Per impedire oscillazioni ellittiche, ad ogni spostamento il filo del pendolo urta un anello di Charron. La direzione di oscillazione può essere letta con estrema precisione tramite una proiezione in ombra del filo su una scala angolare. Già dopo pochi minuti è possibile osservare la rotazione del piano di oscillazione. Per ottenere un tempo di osservazione più lungo, lo smorzamento dell'oscillazione può essere compensato mediante un'eccitazione elettromagnetica regolabile di continuo.

ANALISI

L'angolo di orientamento φ del piano di oscillazione dipende linearmente dal tempo, v. Fig. 2. La pendenza delle rette passanti per i punti di misura è il valore ricercato $\Omega(\varphi)$.

La latitudine geografica in gradi è calcolata dopo la conversione dell'equazione (2) secondo

$$\varphi = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \arcsin\left(\frac{86400 \text{ s}}{360 \text{ grad}} \cdot \Omega(\varphi)\right)$$

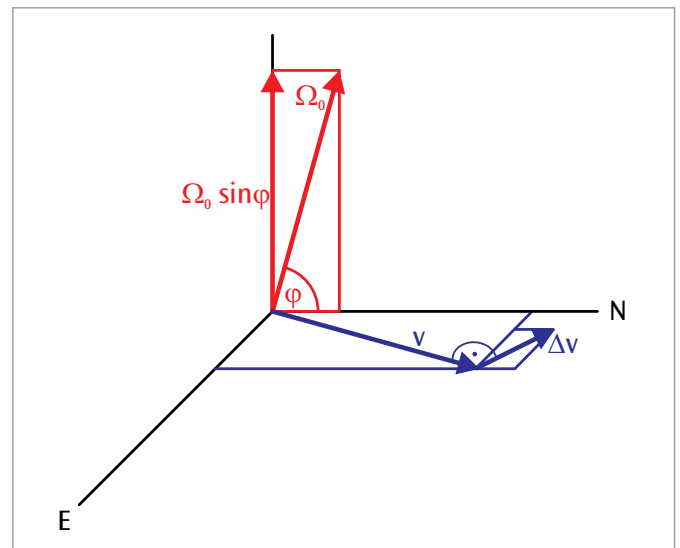


Fig. 1: Rappresentazione nel sistema di coordinate riferito alla Terra del pendolo di Foucault

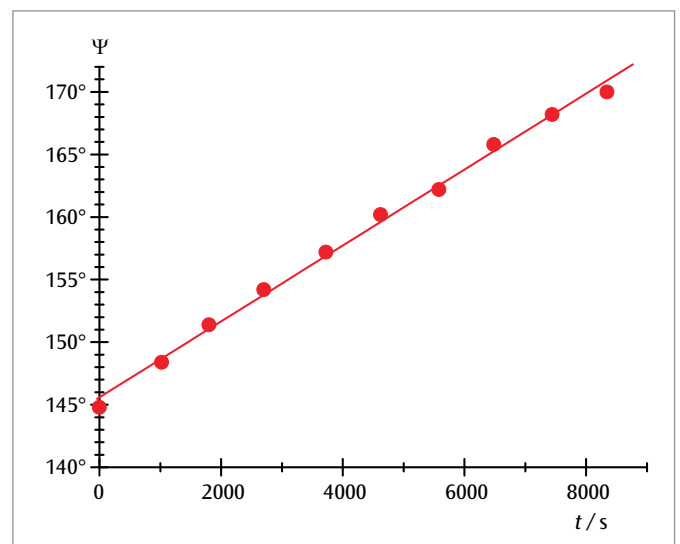


Fig. 2: Curva di misurazione rilevata alla latitudine geografica $\varphi = 50^\circ$

UE1050311 | OSCILLAZIONI ARMONICHE



> FUNZIONI

- Registrazione dell'oscillazione armonica di una molla ad elica in funzione del tempo con un sensore di movimento a ultrasuoni.
- Determinazione del periodo di oscillazione T per diverse combinazioni di indice di rigidità k e peso m .

SCOPO

Misurazione delle oscillazioni di una molla ad elica con un sensore di movimento a ultrasuoni

RIASSUNTO

Le oscillazioni di un pendolo a molla a elica sono un classico esempio di un'oscillazione armonica. Vengono registrate nell'esperimento con un sensore di movimento a ultrasuoni che rileva la distanza dal sensore del peso appeso al pendolo.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Set molle ad elica per verificare la legge di Hooke	1003376
1	Set pesi a fessura 10 x 10 g	1003227
1	Set pesi a fessura 5 x 50 g	1003229
1	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
1	Asta di supporto, 1000 mm	1002936
1	Manicotto con gancio	1002828
1	€Motion*	1021673
1	Metro a nastro tascabile, 2 m	1002603
Ulteriormente richiesto:		
1	Coach 7 Licenza d'uso	

* Alternative: 1 WiLab 1022284 e 1 Rivelatore di movimento 1022288 oppure
1 VinciLab 1021477 e 1 Rivelatore di movimento 1021683

BASI GENERALI

Le oscillazioni hanno luogo quando un sistema spostato dalla posizione di equilibrio viene richiamato verso la posizione di equilibrio per mezzo di una forza. Si parla di oscillazioni armoniche quando la forza che riporta il sistema in posizione di riposo è proporzionale in qualsiasi momento alla deviazione dalla posizione di riposo. Le oscillazioni di una molla ad elica sono in merito un classico esempio. La proporzionalità tra deviazione e forza repulsiva viene descritta tramite la legge di Hooke.

Tra la deviazione x e la forza repulsiva F si applica quindi la relazione

$$(1) \quad F = -k \cdot x \text{ con}$$

k : Indice di rigidità

Per un peso m agganciato alla molla a elica si applica quindi l'equazione di movimento

$$(2) \quad m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + k \cdot x = 0$$

finché si possono trascurare il peso della molla e gli smorzamenti dovuti alle forze di attrito.

Le soluzioni di questa equazione del moto hanno la forma comune

$$(3) \quad x(t) = A \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t + \varphi\right)$$

e l'esperimento di registrazione delle oscillazioni armoniche di una molla ad elica in funzione del tempo con il sensore di movimento a ultrasuoni consente di confermare che i dati si adattano alla funzione sinusoidale.

Il sensore di movimento a ultrasuoni rileva la distanza dal sensore del peso agganciato alla molla. La grandezza misurata corrisponde quindi, ad eccezione di uno spostamento del punto zero compensabile tramite una funzione tara, direttamente ad una grandezza osservata nell'equazione 3, ovvero $x(t)$.

Il periodo di oscillazione T viene definito come la distanza tra due passaggi attraverso lo zero della funzione sinusoidale nella stessa direzione, e si ricava da (3)

$$(4) \quad T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Per la conferma di (4) vengono eseguite misurazioni per le diverse combinazioni di peso m e indice di rigidità k e viene rispettivamente determinato il periodo di oscillazione dalla distanza dei passaggi attraverso lo zero nei dati registrati.

ANALISI

Dall'equazione 4 risulta:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k} \cdot m$$

I dati misurati vengono rappresentati per i diversi indici di rigidità k come parametro in un diagramma T^2 - m . Nei limiti della precisione di misurazione si trovano su rette passanti per l'origine le cui pendenze vengono valutate in un secondo diagramma.

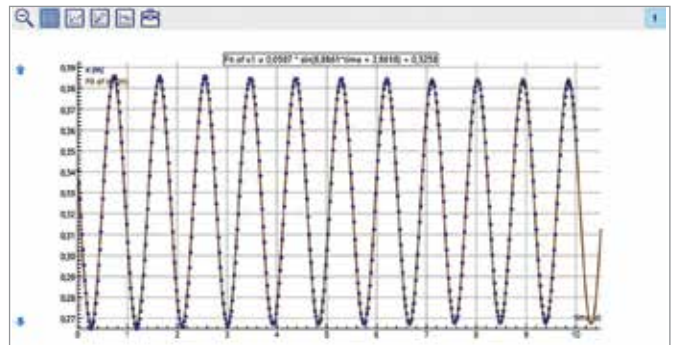


Fig. 1: Dati di oscillazione registrati dopo l'adattamento a di una funzione sinusoidale

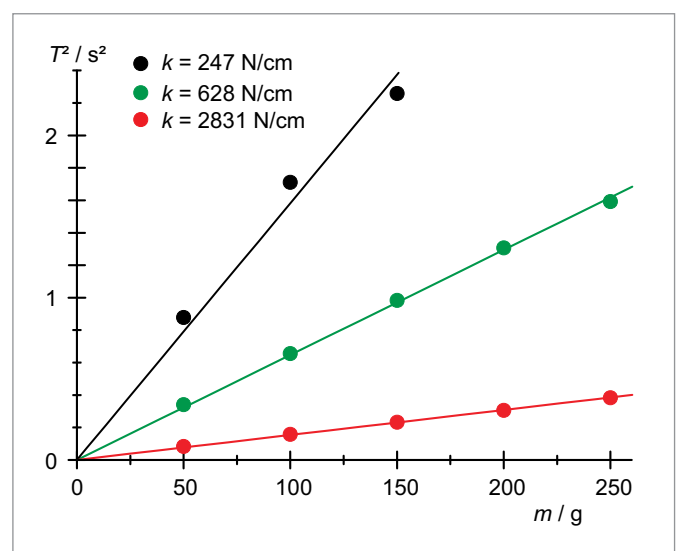


Fig. 2: T^2 come funzione di m

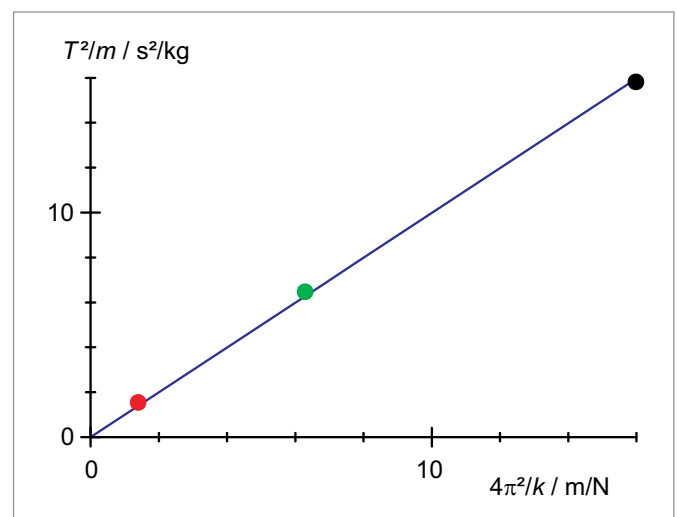
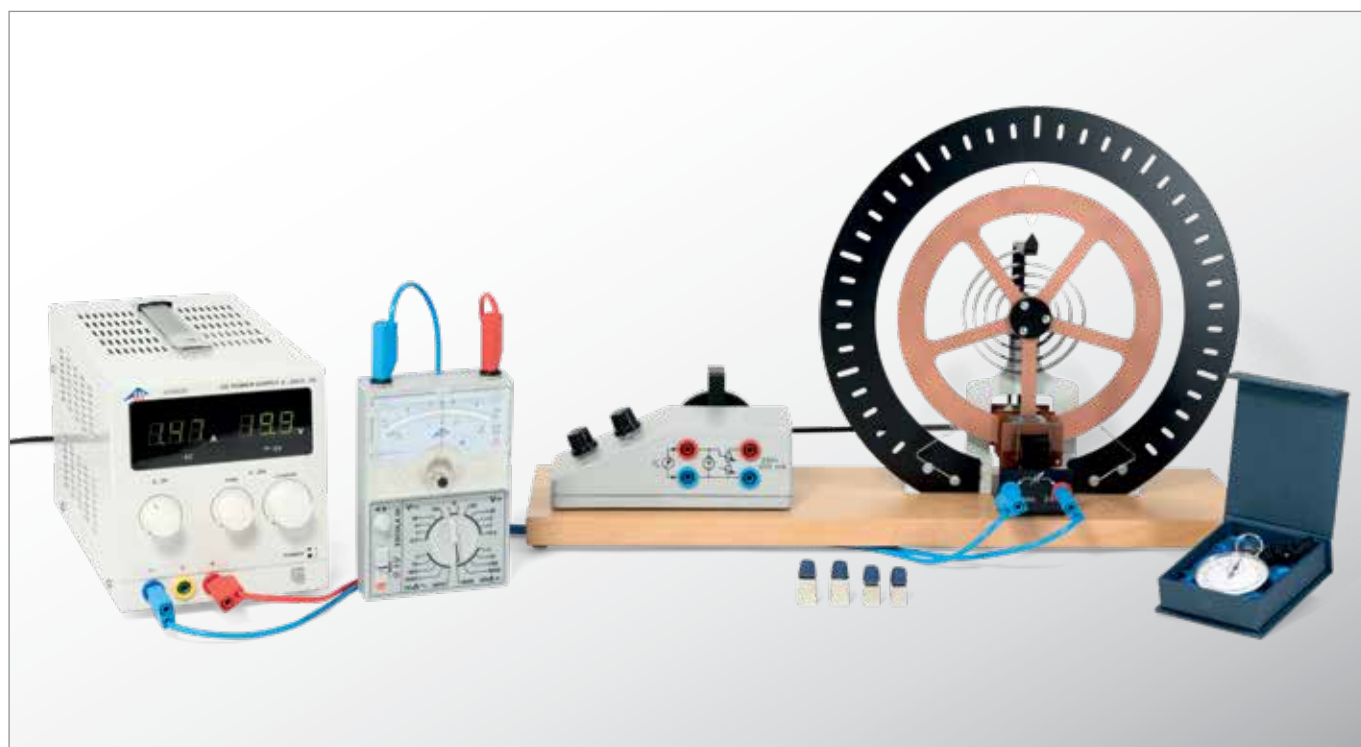


Fig. 3: $\frac{T^2}{m}$ come funzione di $\frac{4\pi^2}{k}$

UE1050500

PENDOLO DI TORSIONE DEL PROF. POHL I



> FUNZIONI

- Misurazione del periodo di oscillazione T per diverse deviazioni e velocità iniziali.
- Determinazione della costante di smorzamento δ del pendolo di torsione smorzato.

SCOPO

Misurazione e analisi di oscillazioni armoniche di torsione libere

RIASSUNTO

Con il pendolo di torsione del Prof. Pohl è possibile studiare le oscillazioni armoniche di torsione libere. Il sistema è realizzato in modo che sul pendolo agiscano soltanto il momento torcente di richiamo di una molla a spirale e il momento torcente di smorzamento di un freno a corrente di Foucault con corrente regolabile. Durante l'esperienza viene dimostrata l'indipendenza del periodo di oscillazione dalla deviazione e dalla velocità iniziali, ed analizzato lo smorzamento dell'ampiezza delle oscillazioni.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Pendolo di torsione di Pohl	1002956
1	Cronometro meccanico, 15 min	1003369
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Con il pendolo di torsione del Prof. Pohl è possibile studiare le oscillazioni armoniche di torsione libere. Il sistema prevede che sul pendolo agiscano soltanto il momento torcente di richiamo di una molla a spirale e il momento torcente di smorzamento di un freno a corrente di Foucault con corrente regolabile.

L'equazione del moto per l'angolo di deviazione φ di un'oscillazione smorzata libera del pendolo di torsione è la seguente:

$$(1) \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2 \cdot \delta \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \omega_0^2 \cdot \varphi = 0$$

con $\delta = \frac{k}{2J}$, $\omega_0^2 = \frac{D}{J}$
 J : Momento d'inerzia
 D : Indice di rigidità
 k : Coefficiente di smorzamento

Fintanto che lo smorzamento non è eccessivo e la condizione $\delta < \omega_0$ è soddisfatta, il risultato dell'equazione del moto è il seguente:

$$(2) \quad \varphi(t) = \varphi_0 \cdot e^{-\delta t} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi)$$

con $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$

A questo proposito, l'ampiezza iniziale φ_0 e l'angolo di sfasamento ψ sono parametri liberi, che dipendono dalla deviazione e della velocità del pendolo di torsione al momento $t = 0$. Il pendolo oscilla quindi con periodo

$$(3) \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Con il tempo, l'ampiezza di oscillazione diminuisce secondo la seguente equazione

$$(4) \quad \hat{\varphi}(t) = \varphi_0 \cdot e^{-\delta t}$$

Nell'esperimento vengono analizzate le oscillazioni per diversi fattori di smorzamento, ottenuti impostando il freno a corrente di Foucault su diverse intensità di corrente. Il periodo di oscillazione viene misurato utilizzando un cronometro. Si osserva quindi che, per un dato valore di smorzamento, il periodo di oscillazione non dipende dalla deviazione e dalla velocità iniziali.

Per determinare lo smorzamento vengono annotate le deviazioni in diminuzione del pendolo verso destra e verso sinistra; per praticità, la velocità iniziale del pendolo è assunta nulla.

ANALISI

Nell'equazione (4) l'ampiezza di oscillazione è definita come grandezza positiva. Intendendo quindi il valore delle deviazioni a destra e sinistra. Se si traccia il logaritmo naturale di queste deviazioni rispetto al tempo, si ottiene una retta con pendenza $-\delta$. In pratica vengono riscontrati scostamenti rispetto al comportamento lineare, in quanto la forza di attrito non è, come presupposto, esattamente proporzionale alla velocità.

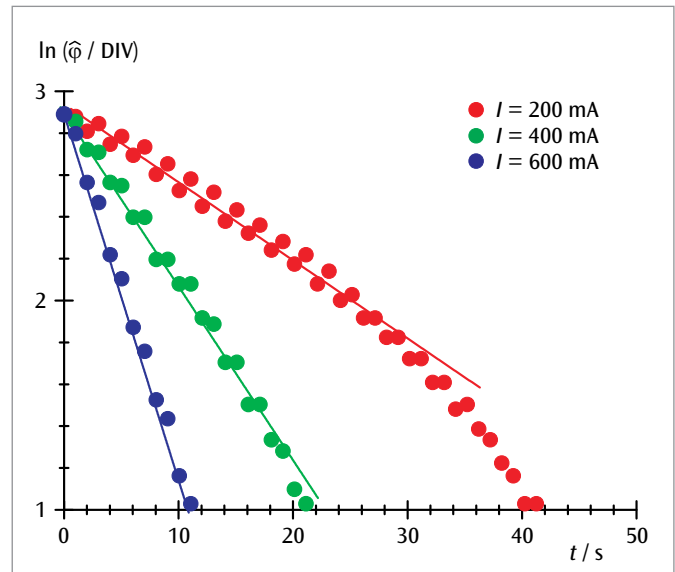
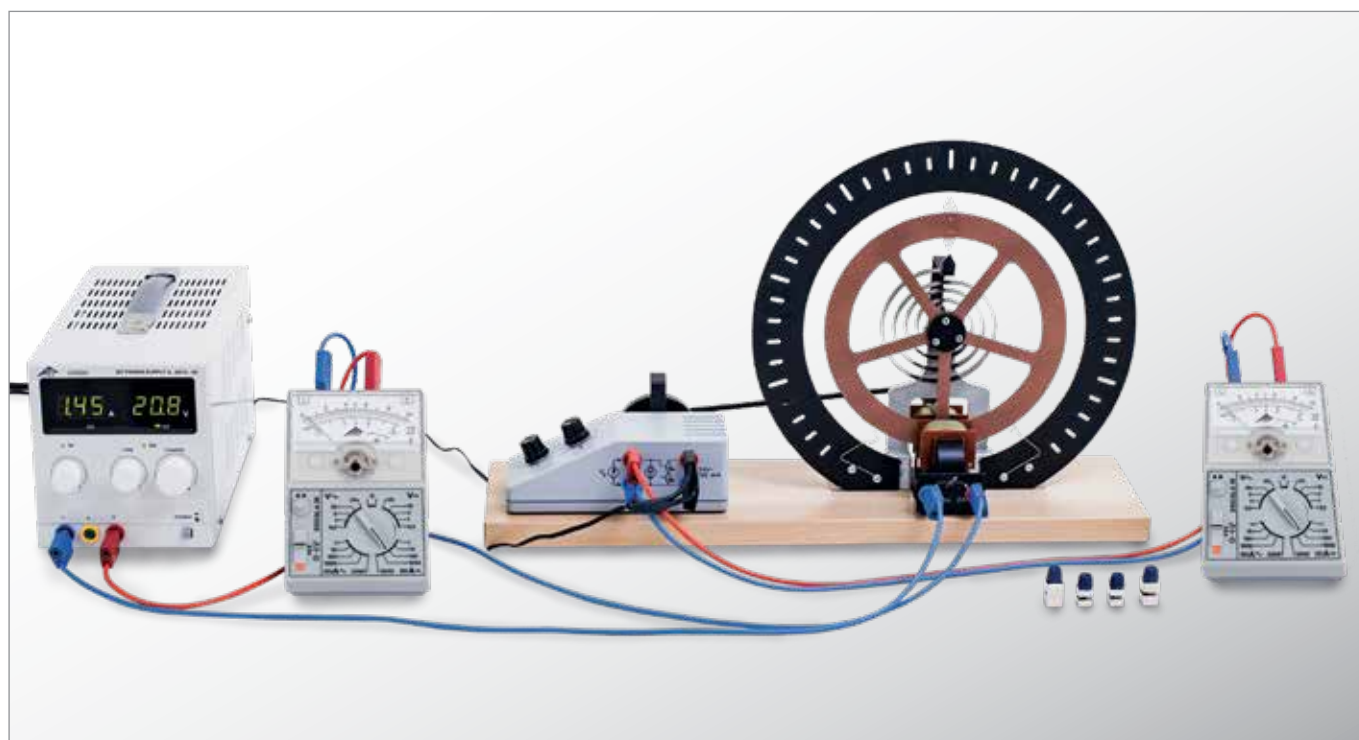


Fig. 1: $\ln(\hat{\varphi})$ come funzione del tempo con valori di smorzamento differenti

UE1050550

PENDOLO DI TORSIONE DEL PROF. POHL II



> FUNZIONI

- Misurazioni dell'ampiezza di oscillazioni forzate in funzione della frequenza di eccitazione per smorzamenti differenti.
- Osservazione dello spostamento di fase tra eccitazione e oscillazione per frequenze di oscillazione molto ridotte e molto elevate.

SCOPO

Misurazione e analisi di oscillazioni forzate

RIASSUNTO

Il pendolo di torsione del Prof. Pohl è adatto anche all'analisi delle oscillazioni forzate. A tale scopo il sistema oscillante è collegato a un'asta di eccitazione che, azionata da un motore a corrente continua con velocità regolabile, separa e comprime le molle a spirale in sequenza periodica. Nell'esperimento viene misurata l'ampiezza in funzione della frequenza di eccitazione per smorzamenti differenti, e osservato lo spostamento di fase tra eccitazione e oscillazione.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Pendolo di torsione di Pohl	1002956
1	Cronometro meccanico, 15 min	1003369
1	Alimentatore a spina 24 V, 700 mA (230 V, 50/60 Hz)	1000681 o
	Alimentatore a spina 24 V, 700 mA (115 V, 50/60 Hz)	1000680
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
2	Multimetro analogico AM50	1003073
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Il pendolo di torsione del Prof. Pohl è adatto anche all'analisi delle oscillazioni forzate. A tale scopo il sistema oscillante è collegato a un'asta di eccitazione che, azionata da un motore a corrente continua con velocità regolabile, separa e comprime le molle a spirale in sequenza periodica.

L'equazione di moto per questo sistema è

$$(1) \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2 \cdot \delta \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \omega_0^2 \cdot \varphi = A \cdot \cos(\omega_E \cdot t)$$

$$\text{con } \delta = \frac{k}{2J}, \quad \omega_0^2 = \frac{D}{J}, \quad A = \frac{M_0}{J}$$

J : Momento d'inerzia

D : Indice di rigidezza

k : Coefficiente di smorzamento

M_0 : Ampiezza del momento torcente esterno

ω_E : Frequenza dell'andamento periodico del momento torcente esterno

La soluzione di questa equazione del moto si compone di una soluzione dell'equazione omogenea e di una soluzione particolare o parte non omogenea. L'equazione omogenea è l'equazione del moto dell'oscillazione smorzata libera, analizzata nell'esperimento UE1050500. Con il tempo la sua soluzione si riduce in modo esponenziale, diventando trascurabile rispetto alla parte non omogenea dopo il cosiddetto tempo di assestamento.

La parte non omogenea

$$(2) \quad \varphi(t) = \varphi_E \cdot \cos(\omega_E \cdot t - \psi_E)$$

dipende invece dal momento torcente esterno e pertanto è presente finché esso viene applicato. La relativa ampiezza

$$(3) \quad \varphi_E = \frac{A_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_E^2)^2 + 4 \cdot \delta^2 \cdot \omega_E^2}}$$

crece quindi in proporzione a quanto la frequenza di eccitazione ω_E si avvicina alla frequenza propria ω_0 del pendolo di torsione. Con $\omega_E = \omega_0$ si parla di risonanza.

Lo spostamento di fase

$$(4) \quad \psi_E = \arctan\left(\frac{2 \cdot \delta \cdot \omega_E}{\omega_0^2 - \omega_E^2}\right)$$

mostra che le deviazioni del pendolo dipendono dall'eccitazione.

Con frequenze molto ridotte è vicino allo zero e cresce in presenza di frequenze maggiori, fino a raggiungere 90° alla frequenza di risonanza.

Con frequenze di eccitazione molto elevate l'eccitazione e l'oscillazione possono arrivare a subire uno spostamento di fase di 180° .

ANALISI

Viene tracciato il grafico dei valori misurati di ampiezza delle oscillazioni smorzate rispetto alla frequenza di eccitazione.

Ne risultano curve di misurazione differenti, che possono essere descritte dall'equazione (4) con il relativo parametro di smorzamento δ .

Si notano lievi scostamenti rispetto ai valori di smorzamento utilizzati per l'esperimento UE1050500. Ciò è riconducibile al fatto che la forza di attrito non è, come presupposto, esattamente proporzionale alla velocità.

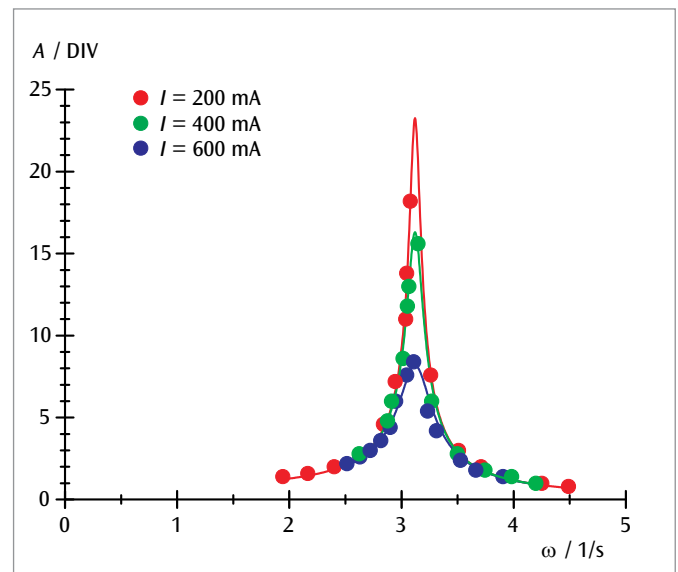


Fig. 1: Curve di risonanza con smorzamenti diversi

UE1050600 | OSCILLAZIONI ACCOPPIATE



SCOPO

Registrazione e analisi delle oscillazioni di due pendoli uguali accoppiati

RIASSUNTO

L'oscillazione di due pendoli uguali accoppiati è caratterizzata dal periodo di oscillazione e dal periodo di fluttuazione. A questo proposito, il periodo di fluttuazione è l'intervallo di tempo tra i due momenti in cui un pendolo oscilla di volta in volta con l'ampiezza minima. Entrambe le grandezze possono essere calcolate sulla base dei due periodi di oscillazione propria per l'oscillazione in fase e in opposizione di fase dei pendoli accoppiati.

> FUNZIONI

- Registrazione dell'oscillazione in fase e determinazione del suo periodo di oscillazione T_+ .
- Registrazione dell'oscillazione in opposizione di fase e determinazione del suo periodo di oscillazione T_- .
- Registrazione di un'oscillazione accoppiata e determinazione del suo periodo di oscillazione T come pure del periodo di fluttuazione T_Δ .
- Confronto dei valori misurati con i valori calcolati dai periodi di oscillazione propria T_+ e T_- .

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
2	Pendolo ad asta con rivelatore d'angolo (230 V, 50/60 Hz)	1000763 o
	Pendolo ad asta con rivelatore d'angolo (115 V, 50/60 Hz)	1000762
1	Molle ad elica 3,0 N/m	1002945
2	Morsetto da tavolo	1002832
2	Asta di supporto, 1000 mm	1002936
1	Asta di supporto, 470 mm	1002934
4	Manicotto universale	1002830
1	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002750
1	WiLab*	1022284
2	Voltage Sensor 500 mV, differenziale	1021681
2	Cavo del sensore	1021514

Ulteriormente richiesto:

1	Coach 7 Licenza d'uso
---	-----------------------

* Alternativa: 1 VinciLab 1021477

BASI GENERALI

Durante l'oscillazione di due pendoli accoppiati, l'energia di oscillazione viene trasferita alternativamente tra l'uno e l'altro. Se entrambi i pendoli sono uguali e se le loro oscillazioni vengono generate in modo che all'inizio un pendolo si trovi in posizione di riposo, mentre l'altro oscilla, il trasferimento di energia avviene addirittura completamente. Ciò significa che un pendolo si arresta completamente, mentre l'altro oscilla con la massima ampiezza.

Il tempo tra due arresti di un pendolo o, più in generale, tra due momenti in cui il pendolo oscilla con l'ampiezza minima viene definito periodo di fluttuazione T_{Δ} .

Le oscillazioni di due pendoli uguali accoppiati può essere descritta matematicamente come sovrapposizione di due oscillazioni proprie. Queste oscillazioni proprie sono osservabili se i due pendoli vengono sollecitati ad eseguire oscillazioni in fase o in opposizione di fase. Nel primo caso, i pendoli oscillano senza influire l'uno sull'altro, mentre nel secondo caso oscillano sotto la massima influenza dell'accoppiamento alla massima frequenza propria. Tutte le altre oscillazioni possono essere rappresentate come sovrapposizioni di queste due oscillazioni proprie.

Le equazioni del moto dei pendoli hanno la forma:

$$(1) \quad \begin{aligned} L \cdot \varphi_1 + g \cdot \varphi_1 + k \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) &= 0 \\ L \cdot \varphi_2 + g \cdot \varphi_2 + k \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) &= 0 \end{aligned}$$

g : Accelerazione di caduta, L : Lunghezza del pendolo, k : Costante di accoppiamento

Scegliendo di introdurre le grandezze ausiliarie $\varphi_- = \varphi_1 - \varphi_2$ e $\varphi_+ = \varphi_1 + \varphi_2$ si ottengono quindi le equazioni del moto:

$$(2) \quad \begin{aligned} L \cdot \varphi_+ + g \cdot \varphi_+ &= 0 \\ L \cdot \varphi_- + (g + 2k) \cdot \varphi_- &= 0 \end{aligned}$$

Le cui soluzioni

$$(3) \quad \begin{aligned} \varphi_+ &= a_+ \cdot \cos(\omega_+ t) + b_+ \cdot \sin(\omega_+ t) \\ \varphi_- &= a_- \cdot \cos(\omega_- t) + b_- \cdot \sin(\omega_- t) \end{aligned}$$

con le frequenze angolari

$$(4) \quad \begin{aligned} \omega_+ &= \sqrt{\frac{g}{L}} \\ \omega_- &= \sqrt{\frac{g + 2k}{L}} \end{aligned}$$

corrispondono alle oscillazioni proprie descritte per l'eccitazione in fase o in opposizione di fase (ossia $\varphi_+ = 0$ per l'oscillazione in opposizione di fase e $\varphi_- = 0$ per l'oscillazione in fase).

Le deviazioni dei pendoli possono essere calcolate sulla base della somma o della differenza delle due grandezze ausiliarie e si ottiene la soluzione

$$(5) \quad \begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{1}{2} \cdot (a_+ \cdot \cos(\omega_+ t) + b_+ \cdot \sin(\omega_+ t) + a_- \cdot \cos(\omega_- t) + b_- \cdot \sin(\omega_- t)) \\ \varphi_2 &= \frac{1}{2} \cdot (a_+ \cdot \cos(\omega_+ t) + b_+ \cdot \sin(\omega_+ t) - a_- \cdot \cos(\omega_- t) - b_- \cdot \sin(\omega_- t)) \end{aligned}$$

A questo proposito, i parametri a_+ , a_- , b_+ e b_- sono inizialmente grandezze a piacere che possono essere calcolate sulla base dello stato di oscillazione dei due pendoli al momento $t = 0$.

Più facile da interpretare è il seguente caso che viene generato quando il pendolo 1 al momento 0 dalla posizione di origine ha una deviazione angolare iniziale ψ_0 , mentre il pendolo 2 è a riposo nella posizione di origine.

$$(6) \quad \begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\psi_0}{\omega_+} \cdot \sin(\omega_+ t) + \frac{\psi_0}{\omega_-} \cdot \sin(\omega_- t) \right) \\ \varphi_2 &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\psi_0}{\omega_+} \cdot \sin(\omega_+ t) - \frac{\psi_0}{\omega_-} \cdot \sin(\omega_- t) \right) \end{aligned}$$

Per gli spostamenti dei due pendoli vale dunque quanto segue:

$$(7) \quad \begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{\psi_0}{2} \cdot (\cos(\omega_+ t) + \cos(\omega_- t)) \\ \varphi_2 &= \frac{\psi_0}{2} \cdot (\cos(\omega_+ t) - \cos(\omega_- t)) \end{aligned}$$

Dopo la conversione matematica si ottiene

$$(8) \quad \begin{aligned} \varphi_1 &= \psi_0 \cdot \cos(\omega_{\Delta} t) \cdot \cos(\omega t) & \text{con (9)} \quad \omega_{\Delta} &= \frac{\omega_- - \omega_+}{2} \\ \varphi_2 &= \psi_0 \cdot \sin(\omega_{\Delta} t) \cdot \cos(\omega t) & \omega &= \frac{\omega_+ + \omega_-}{2} \end{aligned}$$

Questo corrisponde ad un'oscillazione dei due pendoli alla stessa frequenza angolare ω , in cui le ampiezze di oscillazione φ_1 e φ_2 vengono modulate con frequenza angolare ω_{Δ} :

$$(10) \quad \begin{aligned} \varphi_1(t) &= \psi_0 \cdot \cos(\omega_{\Delta} t) \\ \varphi_2(t) &= \psi_0 \cdot \sin(\omega_{\Delta} t) \end{aligned}$$

ANALISI

Da (4) è possibile calcolare i periodi T_+ e T_- dell'oscillazione propria in fase e in opposizione di fase:

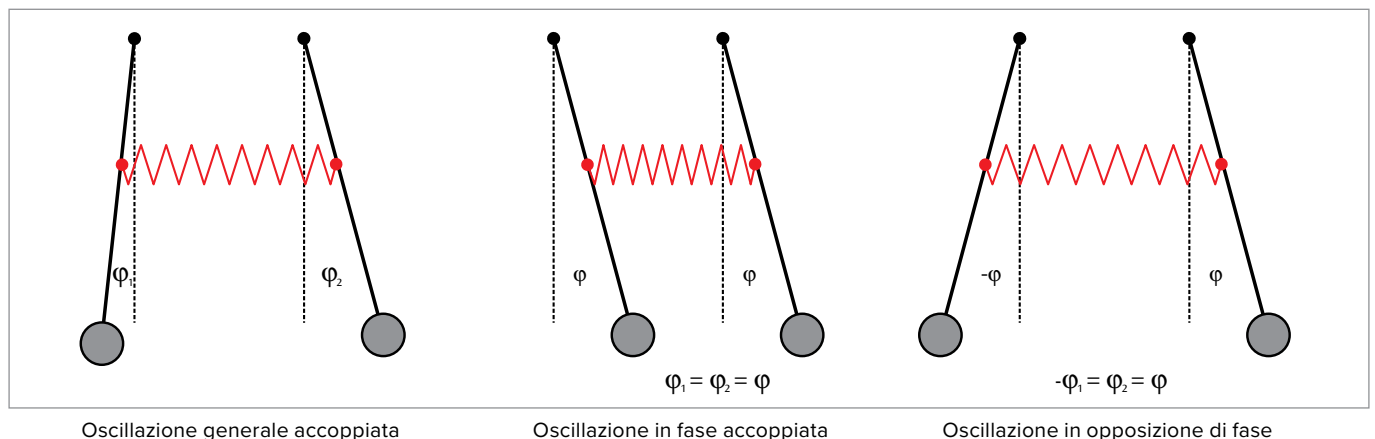
$$T_+ = \frac{2\pi}{\omega_+} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \text{e} \quad T_- = \frac{2\pi}{\omega_-} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g + 2k}}$$

Per il periodo T dell'oscillazione accoppiata vale secondo (9):

$$\frac{2\pi}{T} = \omega = \frac{\pi}{T_+} + \frac{\pi}{T_-} \quad \text{e quindi} \quad T = 2 \cdot \frac{T_+ \cdot T_-}{T_+ + T_-}$$

La modulazione dell'ampiezza descritta in (10) viene normalmente caratterizzata dal periodo di oscillazione T_{Δ} , vale a dire dal tempo tra due arresti dei pendoli:

$$\frac{2\pi}{2T_{\Delta}} = \omega_{\Delta} = \frac{\pi}{T_-} - \frac{\pi}{T_+} \quad \text{e quindi} \quad T_{\Delta} = \frac{T_+ \cdot T_-}{T_+ - T_-}$$



Oscillazione generale accoppiata

Oscillazione in fase accoppiata

Oscillazione in opposizione di fase

UE1050700 | ONDE MECCANICHE



> FUNZIONI

- Generazione di onde stazionarie longitudinali su una molla a elica e di onde stazionarie trasversali su una corda.
- Misurazione delle frequenze proprie f_n in funzione del numero n di nodi.
- Determinazione delle rispettive lunghezze d'onda λ_n e della velocità d'onda c .

SCOPO

Analisi di onde stazionarie su una molla a elica e una corda tese

RIASSUNTO

Le onde meccaniche si presentano in questi esempi su una molla a elica tesa sotto forma di onde longitudinali e su una corda tesa sotto forma di onde trasversali. In entrambi i casi, fissando saldamente un'estremità del mezzo portante, si generano onde stazionarie, poiché l'onda incidente si sovrappone all'onda riflessa sull'estremità fissa con la medesima ampiezza e la medesima lunghezza d'onda. Fissando anche l'altra estremità, le onde possono propagarsi solo se vengono soddisfatte le condizioni di risonanza. Nell'esperimento, la molla a elica e la corda vengono fissate a un'estremità. Alla distanza L , l'altra estremità è collegata con un generatore di vibrazioni, azionato tramite un generatore di funzione per oscillazioni di piccola ampiezza e frequenza regolabile f . Anche questa estremità può essere approssimativamente considerata fissa. Si misurano le frequenze proprie in funzione del numero di nodi delle onde stazionarie. Sulla base di questi dati si calcola la velocità dell'onda.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Accessorio per oscillazioni di molle	1000703
1	Accessorio per onde di una corda	1008540
1	Generatore di vibrazioni	1000701
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Dinamometro di precisione 2 N	1003105
1	Metro a nastro tascabile, 2 m	1002603
1	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75 cm, rosso/blu	1017718

BASI GENERALI

Le onde meccaniche si presentano in questi esempi su una molla a elica e su una corda tese. Nel caso della molla a elica si parla di onde longitudinali, in quanto la deviazione avviene parallelamente alla direzione di propagazione. Le onde della corda sono invece onde trasversali. In entrambi i casi, fissando saldamente un'estremità del mezzo portante, si generano onde stazionarie, poiché l'onda incidente si sovrappone all'onda riflessa sull'estremità

fissa con la medesima ampiezza e la medesima lunghezza d'onda. Fissando anche l'altra estremità, le onde possono propagarsi solo se vengono soddisfatte le condizioni di risonanza.

Sia $\xi(x,t)$ la deviazione longitudinale o trasversale nel punto x lungo il mezzo portante al tempo t . Allora

$$(1) \quad \xi_1(x,t) = \xi_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$$

Sarà un'onda sinusoidale che viaggia sul mezzo portante verso destra. La frequenza f e la lunghezza d'onda λ sono legate dalla relazione

$$(2) \quad c = f \cdot \lambda$$

c: velocità dell'onda.

Se quest'onda proveniente da sinistra viene riflessa su un'estremità fissa a $x = 0$, si genera un'onda che viaggia verso sinistra

$$(3) \quad \xi_2(x,t) = -\xi_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$$

Entrambe le onde si sovrappongono generando l'onda stazionaria

$$(4) \quad \xi(x,t) = 2\xi_0 \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \cdot \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$$

Tali sovrapposizioni valgono in maniera totalmente indipendente dal tipo di onda e dal mezzo portante.

Qualora anche la seconda estremità sia fissata e si trovi a $x = L$, occorre che per tutti i tempi t la condizione di risonanza

$$(5) \quad \xi(L,t) = 0 = \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot L)$$

risulti soddisfatta. Ne consegue quindi per la lunghezza d'onda che

$$(6a) \quad \frac{2\pi}{\lambda_n} \cdot L = (n+1) \cdot \pi, \quad \lambda_n = 2 \cdot \frac{L}{n+1}$$

oppure $L = (n+1) \cdot \frac{\lambda_n}{2}$

e per la frequenza che, in base all'equazione (2),

$$(6b) \quad f_n = (n+1) \cdot \frac{c}{2 \cdot L}$$

In altre parole, la condizione di risonanza (5) richiede che la lunghezza L sia esattamente un multiplo intero della metà della lunghezza d'onda. La frequenza di risonanza deve essere adeguata a questa lunghezza d'onda. n è in questo caso il numero dei nodi di oscillazione. Se nella prima armonica si forma solo un ventre di oscillazione, esso è uguale a zero (v. Fig. 2).

Nell'esperimento, il mezzo portante – costituito da una corda o una molla a elica – è fissato a un'estremità. L'altra estremità è collegata alla distanza L con un generatore di vibrazioni, azionato tramite un generatore di funzione per oscillazioni di piccola ampiezza e frequenza regolabile f . Anche questa estremità può essere approssimativamente considerata fissa.

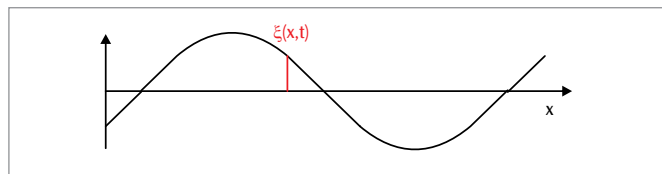


Fig. 1: Rappresentazione per la definizione della deviazione locale $\xi(x,t)$

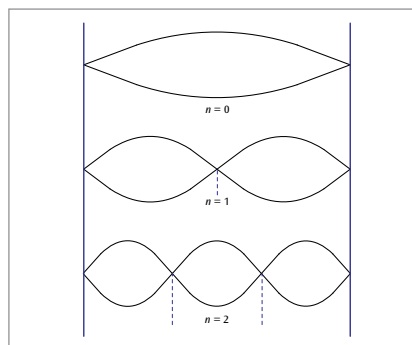


Fig. 2: Onde stazionarie

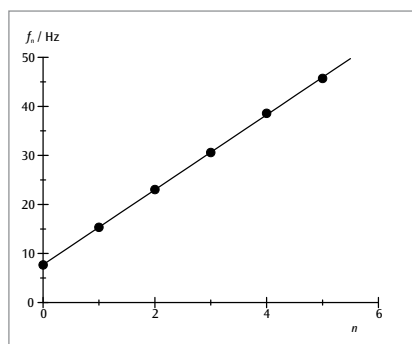


Fig. 3: Frequenza di risonanza in funzione del numero di nodi per le onde della molla a elica

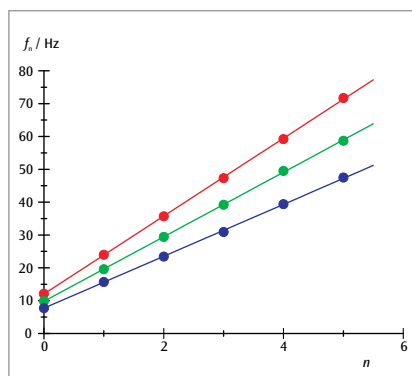


Fig. 4: Frequenza di risonanza in funzione del numero di nodi per le onde della corda

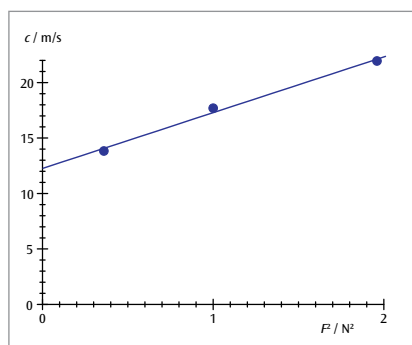


Fig. 5: Velocità c delle onde di una corda in funzione di F^2

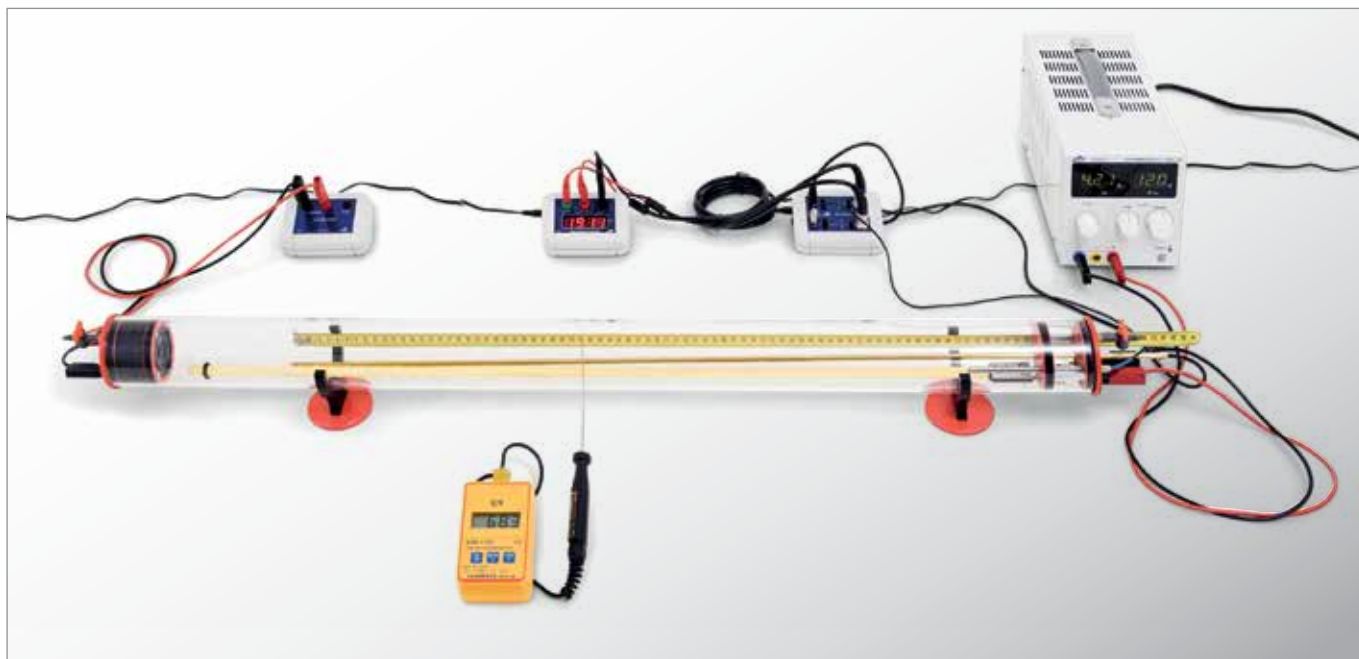
ANALISI

Rapportando la frequenza di risonanza con il numero dei nodi di oscillazione, i punti di misura sono su una retta con pendenza

$$\alpha = \frac{c}{2 \cdot L}$$

Nota la lunghezza d'onda L si ricava la velocità dell'onda c . Essa dipende, a parametri altrimenti identici, dalla tensione F , come dimostra la Fig. 5 per le onde di una corda.

UE1070310 | VELOCITÀ DEL SUONO NELL'ARIA I



> FUNZIONI

- Misurazione del tempo di propagazione t di un impulso sonoro nell'aria a temperatura ambiente in funzione della distanza s tra due sonde microfono.
- Conferma della relazione lineare tra s e t .
- Misurazione del tempo di propagazione t di un impulso sonoro nell'aria in funzione della temperatura T ad una distanza fissa tra due sonde microfono.
- Determinazione della velocità del suono (velocità di gruppo) in funzione della temperatura.
- Confronto con il risultato della deduzione di Laplace.

SCOPO

Misurazione dei tempi di propagazione degli impulsi sonori in un tubo di Kundt

RIASSUNTO

Le onde sonore si diffondono nei gas come onde longitudinali. La velocità di gruppo coincide con la velocità di fase. Nell'esperimento si misura in un tubo di Kundt il tempo di propagazione di un impulso sonoro tra due sonde microfono e si calcola la risultante velocità del suono. Tra la temperatura ambiente e i 50°C si controlla la dipendenza dalla temperatura della velocità del suono. Il risultato della misurazione coincide con il risultato della deduzione di Laplace.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo di Kundt E	1017339
1	Scatola impulsi K	1017341
1	Sonda microfono, lunga	1017342
1	Sonda microfono, corta	4008308
1	Scatola microfono (230 V, 50/60 Hz)	1014520 o
	Scatola microfono (115 V, 50/60 Hz)	1014521
1	Contatore di microsecondi (230 V, 50/60 Hz)	1014520 o
	Contatore di microsecondi (115 V, 50/60 Hz)	1014521
1	Barra calda K	1017340
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Termometro tascabile digitale rapido	1002803
1	Sensore a immersione NiCr-Ni Tipo K, -65°C – 550°C	1002804
2	Coppia di cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002849

Ulteriormente consigliato:

Altri gas tecnici

BASI GENERALI

Le onde sonore sono onde elastiche in un mezzo deformabile. La loro velocità dipende dalle caratteristiche di elasticità del mezzo. In gas semplici si diffondono esclusivamente come onde longitudinali e la velocità di gruppo coincide con la velocità di fase.

Seguendo una deduzione storicamente attribuita a Laplace, le onde sonore nei gas vengono considerate come variazioni di pressione e/o di densità adiabatiche. Per la velocità del suono si ottiene

$$(1) \quad c = \sqrt{\frac{C_p \cdot p}{C_v \cdot \rho}}$$

p : Pressione, ρ : Densità,

C_p, C_v : Capacità termiche del gas

Per un gas ideale a temperatura assoluta T risulta

$$(2) \quad \frac{p}{\rho} = \frac{R \cdot T}{M}$$

$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{Mol} \cdot \text{K}}$: costante universale dei gas
 M : massa molare

Pertanto, la velocità del suono è data da

$$(3) \quad c = \sqrt{\frac{C_p \cdot R \cdot T}{C_v \cdot M}}$$

Per differenze di temperatura non troppo grandi Δ_T rispetto ad una temperatura di riferimento T_0 , la velocità del suono dipende linearmente dalla variazione di temperatura Δ_T :

$$(4) \quad c = \sqrt{\frac{C_p \cdot R \cdot T_0}{C_v \cdot M}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta T}{2 \cdot T_0}\right)$$

Per l'aria secca considerata come gas ideale si trova in letteratura il seguente dato sulla velocità del suono:

$$(5) \quad c(T) = \left(331,3 + 0,6 \cdot \frac{\Delta T}{\text{K}}\right) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$T_0 = 273,15 \text{ K} = 0^\circ\text{C}$

Nell'esperimento si misura in un tubo di Kundt il tempo di propagazione t di un impulso sonoro tra due sonde microfono con distanza s . L'impulso sonoro è generato dal movimento brusco di una membrana dell'altoparlante comandato da un impulso di tensione a salita rapida. La misurazione ad alta risoluzione del tempo di propagazione con un contatore di microsecondi inizia quando l'impulso sonoro raggiunge la prima sonda microfono e si arresta quando si raggiunge la seconda sonda microfono alla distanza s .

Con una barra calda, l'aria viene riscaldata nel tubo di Kundt per le misurazioni del tempo di propagazione in funzione della temperatura fino a 50°C . Durante il raffreddamento, la distribuzione della temperatura è sufficientemente omogenea, pertanto è sufficiente misurare la temperatura in un punto del tubo di Kundt.

Tramite un nipplo per tubi è possibile introdurre anche altri gas tecnici nel tubo di Kundt.

ANALISI

La velocità del suono si calcola dal quoziente del tratto percorso s e del tempo di propagazione t :

$$c = \frac{s}{t}$$

Nella Fig. 2 si osserva il reciproco dell'incremento lineare. La dipendenza dalla temperatura della velocità del suono viene descritta dall'equazione 3 con i parametri

$$M = 28,97 \frac{\text{g}}{\text{Mol}}, \quad \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5}$$

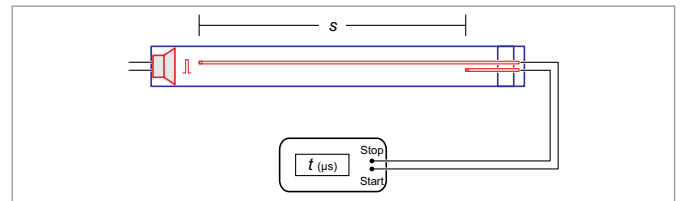


Fig. 1: Rappresentazione schematica della struttura sperimentale

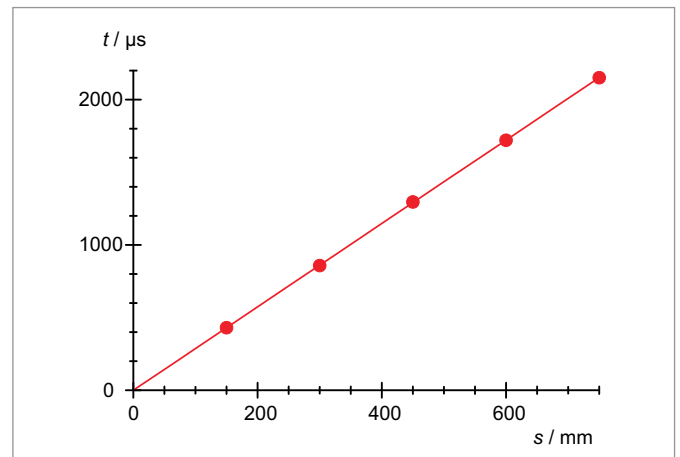


Fig. 2: Tempo di propagazione del suono t nell'aria in funzione del tratto percorso s a temperatura ambiente

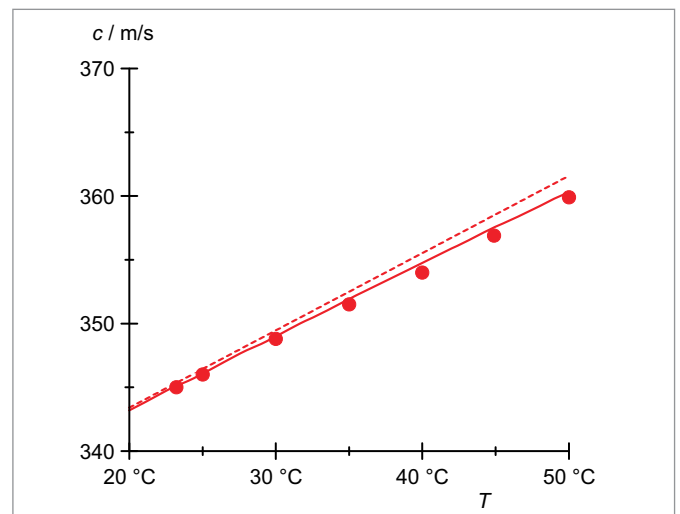
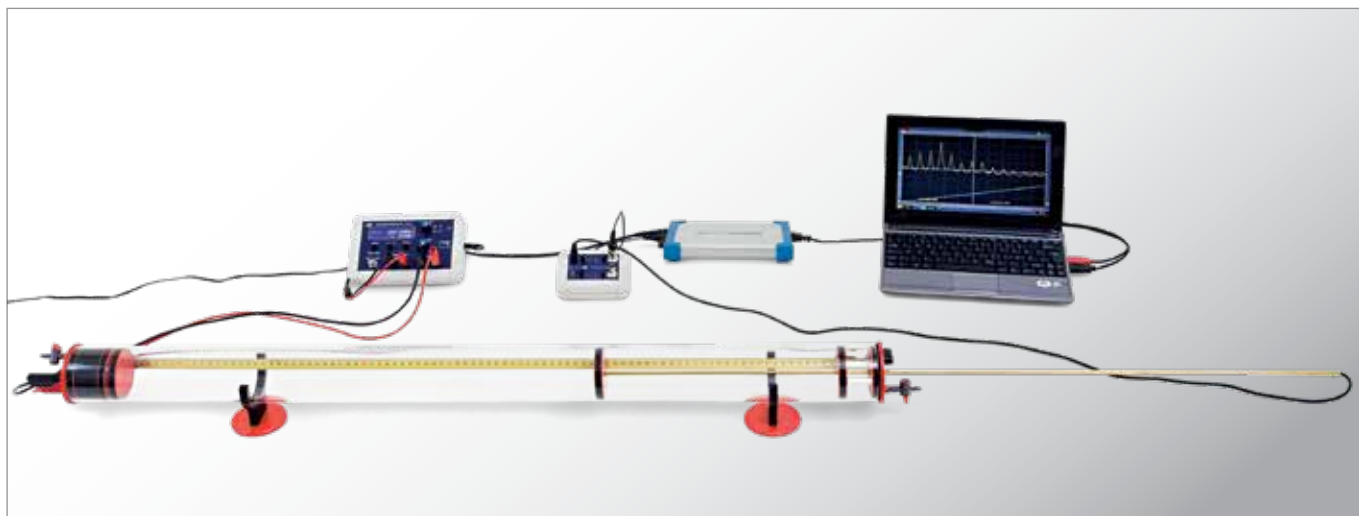


Fig. 3: Velocità del suono c nell'aria in funzione della temperatura T
 Linea tracciata: secondo equazione 3
 Linea tratteggiata: secondo equazione 5

UE1070320 | VELOCITÀ DEL SUONO NELL'ARIA II



> FUNZIONI

- Generazione di onde sonore stazionarie in un tubo di Kundt s presso entrambe le estremità.
- Misurazione della frequenza fondamentale in funzione della lunghezza del tubo di Kundt.
- Misurazione della frequenza fondamentale e delle armoniche con lunghezza fissa.
- Determinazione della velocità dell'onda dalle frequenze di risonanza.

SCOPO

Generazione e misurazione di onde sonore stazionarie in un tubo di Kundt

RIASSUNTO

Le onde sonore si diffondono nei gas come onde longitudinali. La velocità di gruppo coincide con la velocità di fase. Nell'esperimento vengono generate onde stazionarie in un tubo di Kundt chiuso a entrambe le estremità e misurate la frequenza fondamentale e dell'armonica con lunghezza del tubo. La velocità dell'onda viene ricavata dalle frequenze di risonanza e rappresentata graficamente.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo di Kundt E	1017339
1	Sonda microfono, lunga	1017342
1	Scatola microfono (230 V, 50/60 Hz)	1014520 o
	Scatola microfono (115 V, 50/60 Hz)	1014521
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857
1	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Cavo BNC / 4 mm, 0,5 m	4008293
1	Coppia di cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002849
1	Cavo ad alta frequenza	1002746

BASI GENERALI

Il tubo di Kundt consente di generare onde stazionarie producendo con l'ausilio di un altoparlante presso un'estremità del tubo onde sonore aventi frequenza corrispondente a quella di risonanza, e che si riflettono all'altra estremità su una parete. Nota la lunghezza del tubo, dalla frequenza di risonanza e delle armoniche è possibile determinare la velocità d'onda.

Le onde sonore si propagano nell'aria e in altri gas come rapide variazioni di pressione e densità. Il modo più semplice per descriverle è mediante la pressione sonora, sovrapposta alla

pressione atmosferica. Le onde sonore si propagano nell'aria e in altri gas come rapide variazioni di pressione e densità. Il modo più semplice per descriverle è mediante la pressione sonora, sovrapposta alla pressione atmosferica. Per descrivere un'onda sonora, in alternativa alla pressione sonora p , è possibile utilizzare anche la velocità v , cioè la velocità media delle particelle nel luogo x nel mezzo oscillante al momento t . Pressione sonora e velocità sono legate ad es. dall'equazione di moto di Eulero

$$(1) \quad -\frac{\partial p}{\partial x} = \rho_0 \cdot \frac{\partial v}{\partial t}$$

ρ_0 : densità del gas.

All'interno del tubo di Kundt, le onde sonore si propagano lungo il tubo stesso. Esse possono pertanto essere descritte per mezzo di un'equazione d'onda unidimensionale valida sia per la pressione sonora sia per la velocità:

$$(2) \quad \frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2}$$

ovvero
$$\frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial x^2}$$

c : velocità del suono

Nell'esperimento si osservano onde armoniche riflesse all'estremità del tubo di Kundt. Come soluzioni dell'equazione d'onda vanno dunque considerate le sovrapposizioni di onde di andata e di ritorno:

$$(3) \quad p = p_{0>} \cdot e^{2\pi i \left(f t - \frac{x}{\lambda} \right)} + p_{0<} \cdot e^{2\pi i \left(f t + \frac{x}{\lambda} \right)}$$

$p_{0>}, v_{0>}$: ampiezze delle onde di andata,
 $p_{0<}, v_{0<}$: ampiezze delle onde di ritorno
 f : frequenza, λ : lunghezza d'onda,

Dove

$$(4) \quad f \cdot \lambda = c$$

Applicando tali soluzioni nell'equazione (1) si ottiene, osservando separatamente onda di andata e onda di ritorno, la relazione

$$(5) \quad p_{0>} = v_{0>} \cdot Z \quad \text{ovvero} \quad p_{0<} = v_{0<} \cdot Z$$

La grandezza

$$(6) \quad Z = c \cdot \rho_0$$

si chiama impedenza caratteristica e corrisponde all'impedenza d'onda del mezzo. Svolge un ruolo importante nell'osservazione delle riflessioni di un'onda sonora su una parete con impedenza specifica W :

Vale

$$(7) \quad r_v = \frac{v_{0<}}{v_{0>}} = \frac{Z - W}{Z + W} \quad \text{e} \quad r_p = \frac{p_{0<}}{p_{0>}} = \frac{Z + W}{Z - W}$$

Nell'esperimento, W è notevolmente maggiore di Z e pertanto $r_v = 1$ e $r_p = -1$.

Per semplificare, immaginando la parete a $x = 0$, da (3) ne deriva per la parte spaziale dell'onda sonora:

$$(8) \quad p = p_{0>} \cdot \left(e^{-2\pi i \frac{x}{\lambda}} + e^{+2\pi i \frac{x}{\lambda}} \right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

$$= 2 \cdot p_{0>} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

$$v = v_{0>} \cdot \left(e^{-2\pi i \frac{x}{\lambda}} - e^{+2\pi i \frac{x}{\lambda}} \right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

e

$$= -2 \cdot i \cdot v_{0>} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

Solo le componenti reali di questi termini hanno realtà fisica. Esse coincidono con le onde sonore stazionarie, la cui pressione sonora sulla parete (quindi a $x = 0$) mostra un ventre, mentre la velocità del suono

un nodo di oscillazione. Inoltre la velocità anticipa la pressione di uno spostamento di fase pari a 90° .

Le onde sonore vengono generate alla distanza L dalla parete con l'ausilio di un altoparlante che oscilla con frequenza f . Anche in questo caso si formano un ventre di oscillazione per la pressione e un nodo per la velocità del suono. Queste condizioni al contorno sono realizzabili solo se L è un multiplo intero di mezza lunghezza d'onda:

$$(9) \quad L = n \cdot \frac{\lambda_n}{2}$$

Per via di (3), le frequenze devono pertanto corrispondere alla condizione di risonanza

$$(10) \quad f_n = n \cdot \frac{c}{2 \cdot L}$$

Nell'esperimento la frequenza f dell'altoparlante viene continuamente variata, mentre un microfono sonda misura la pressione sonora sulla parete di riflessione. La risonanza si considera raggiunta quando il segnale del microfono indica la massima ampiezza.

ANALISI

In base a (9) fanno parte delle frequenze di risonanza rilevate f_n le lunghezze d'onda

$$\lambda_n = \frac{2 \cdot L}{n}$$

A conferma di (3) e ai fini della determinazione della velocità d'onda, questi valori vengono rappresentati in un diagramma $f \cdot \lambda$.

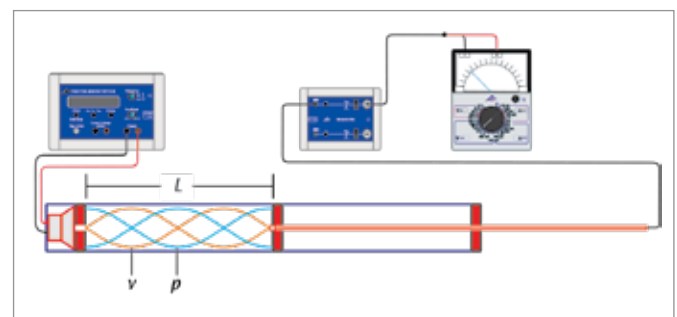


Fig. 1: Rappresentazione schematica della struttura sperimentale

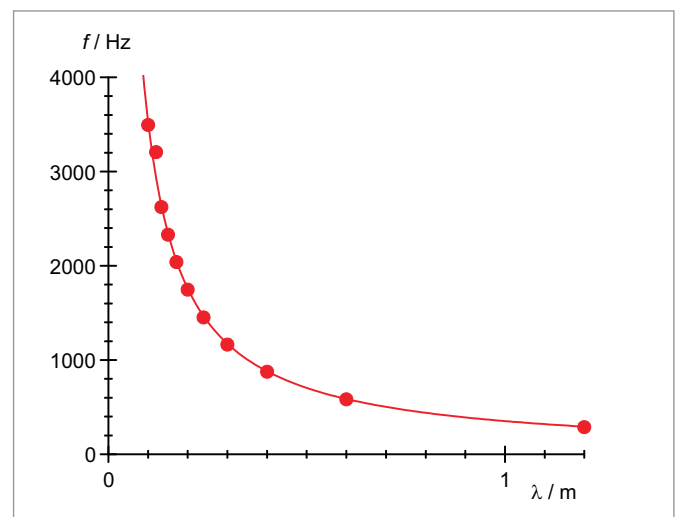


Fig. 2: Diagramma frequenza-lunghezza d'onda

UE1070410 | PROPAGAZIONE DEL SUONO IN ASTE



> FUNZIONI

- Eccitazione a impulso di onde sonore longitudinali in aste a sezione circolare e rilevamento con due sonde microfono.
- Analisi di impulsi sonori in funzione del materiale e della lunghezza delle aste per mezzo di un oscilloscopio.
- Determinazione della velocità longitudinale del suono nei materiali a partire dal periodo degli impulsi sonori.
- Determinazione dei moduli di elasticità dei materiali a partire dalla velocità longitudinale del suono e dalla densità.

SCOPO

Analisi di onde sonore longitudinali in barre a sezione circolare e determinazione della velocità del suono longitudinale

RIASSUNTO

Le onde sonore possono propagarsi in un corpo solido sotto forma di onde longitudinali, trasversali, di espansione o di flessione. Un'onda longitudinale elastica si propaga in un'asta secondo una sequenza periodica di espansione e compressione nella direzione della lunghezza. Se il diametro dell'asta è notevolmente inferiore alla sua lunghezza, la velocità di propagazione dipende solo dal modulo di elasticità e dalla densità del materiale. Essa viene calcolata nell'esperimento a partire dalla durata degli impulsi sonori dopo un'eccitazione a impulso.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. no
1	Kit "Propagazione del suono in aste" (230 V, 50/60 Hz)	1018469 o
	Kit "Propagazione del suono in aste" (115 V, 50/60 Hz)	1018468
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857

BASI GENERALI

Le onde sonore possono propagarsi non solo nei gas o nei liquidi, ma anche nei corpi solidi, dove si presentano sotto forma di onde longitudinali, trasversali, di espansione o di flessione. Un'onda longitudinale elastica si propaga in un'asta secondo una sequenza periodica di espansione e compressione nella direzione della lunghezza. L'espansione viene generata da un periodico spostamento degli atomi dalla rispettiva posizione di riposo. In un'asta il cui diametro sia notevolmente inferiore rispetto alla lunghezza, la contrazione trasversale è trascurabile, vale a dire che per il numero di Poisson vale in buona approssimazione $\mu = 0$.

La relazione tra le variazioni spazio-temporali di tensione σ e spostamento ξ è in questo caso descritta dalle seguenti equazioni:

$$(1) \quad \frac{\partial \sigma}{\partial x} = \rho \cdot \frac{\partial v}{\partial t} \quad \text{e} \quad \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{E} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad \text{con} \quad v = \frac{\partial \xi}{\partial t}$$

ρ : densità del materiale dell'asta,
 E : modulo di elasticità dell'asta

Ne derivano le equazioni d'onda

$$(2) \quad \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} \quad \text{e} \quad \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$$

con la velocità del suono longitudinale

$$(3) \quad c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Nell'esperimento si generano onde sonore longitudinali in aste di materiali e lunghezze differenti mediante eccitazione a impulso su un'estremità dell'asta, si rilevano tali onde per mezzo di sonde microfono poste sull'estremità eccitata e su quella opposta rappresentandole poi su un oscilloscopio. Le estremità dell'asta costituiscono superfici limite ad elevata impedenza acustica, fra cui gli impulsi sonori si muovono avanti e indietro. Dagli oscillogrammi si determinano i periodi degli impulsi sonori.

Nel caso di aste lunghe gli impulsi sonori a riflessione multipla sono nettamente divisi in senso temporale, nel caso di aste corte possono sovrapporsi in "onde stazionarie".

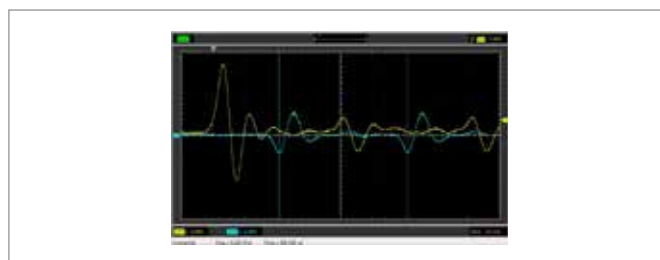


Fig. 1: Propagazione di un impulso sonoro, segnale presso l'estremità eccitata della barra (giallo) (asta di acciaio inossidabile, 400 mm)

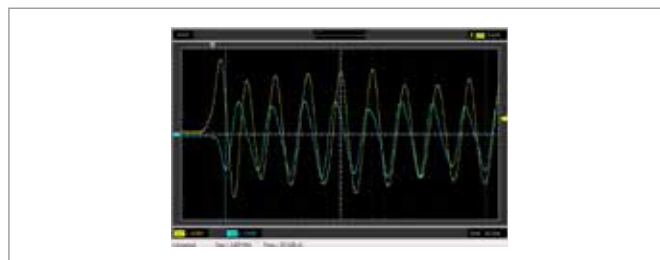


Fig. 2: Onde stazionarie, segnale presso l'estremità eccitata della barra (giallo) (asta di acciaio inossidabile, 100 mm)



Fig. 3: Propagazione dell'impulso sonoro in un'asta in PVC lunga 200 mm (sopra) e un'asta in vetro lunga 200 mm (sotto). Segnale della sonda microfono presso l'estremità dell'asta opposta a quella eccitata.

ANALISI

Dai periodi degli impulsi sonori si determinano le velocità longitudinali del suono come da

$$(4) \quad c_L = \frac{2 \cdot L}{T}, \quad L: \text{lunghezza asta:}$$

poiché l'impulso sonoro passa nel tempo T due volte attraverso l'asta.

Dalle velocità del suono rilevate e dalle densità dei materiali determinate mediante pesata si calcola il modulo di elasticità in base a (3).

Tab. 1: Velocità longitudinali dal suono c_L , spessori ρ e moduli di elasticità E misurati per diversi materiali.

Materiale	c_L (m / s)	ρ (g / cm ³)	E (m / s)
Vetro	5370	2,53	73
Alluminio	5110	2,79	73
Legno (faggio)	5040	0,74	19
Acciaio inossidabile	4930	7,82	190
Rame	3610	8,84	115
Ottone	3550	8,42	106
Vetro acrilico	2170	1,23	6
PVC	1680	1,50	4

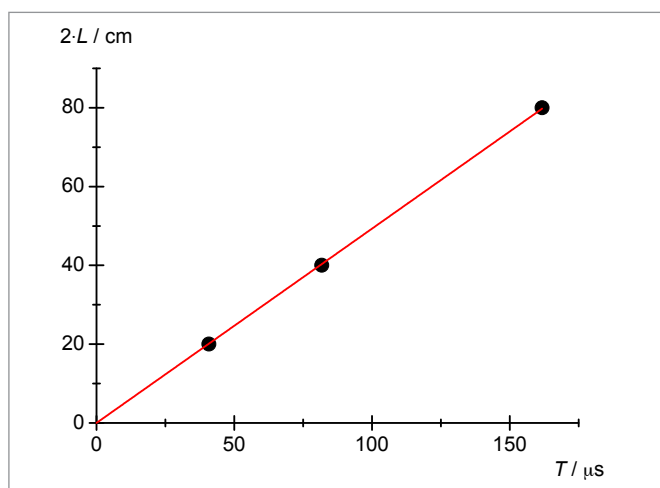
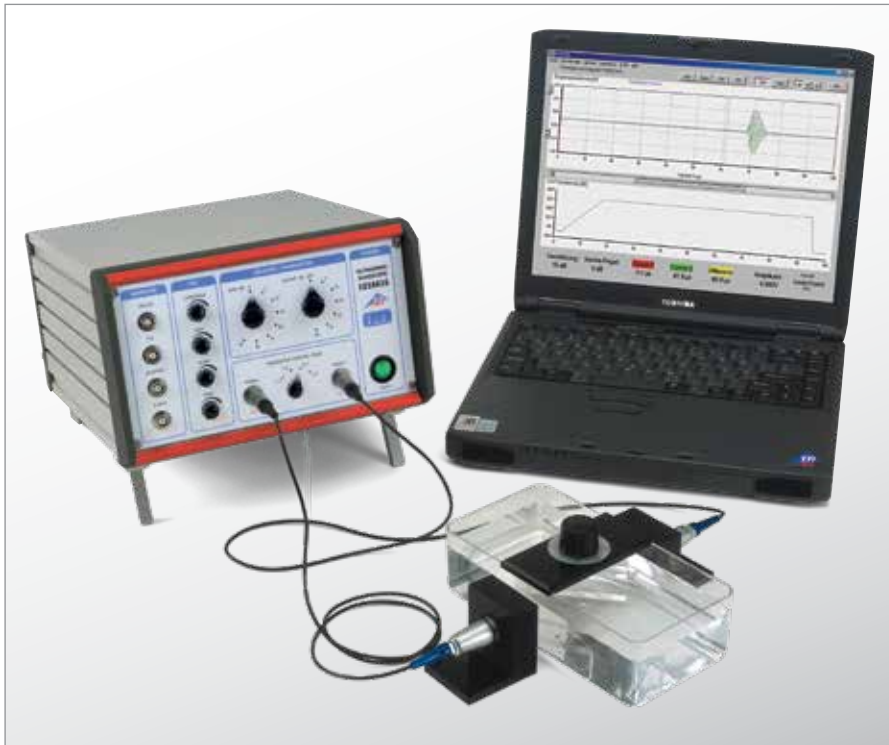


Fig. 4: Percorso del segnale $2 \cdot L$ in funzione dei periodi T per le aste in acciaio inossidabile

UE1070530 | PROPAGAZIONE DEL SUONO IN CORPI SOLIDI



SCOPO

Determinazione della velocità del suono per onde longitudinali e trasversali in corpi solidi

RIASSUNTO

Il suono si propaga nei corpi solidi sotto forma di onde longitudinali e trasversali. Le velocità del suono delle due onde sono molto diverse, in quanto la velocità del suono longitudinale è determinata dal modulo di elasticità del corpo solido, mentre la velocità del suono trasversale dipende dal modulo di taglio. Misurando le due velocità del suono, si possono determinare le costanti elastiche del corpo solido.

> FUNZIONI

- Determinazione della velocità del suono per onde longitudinali in poliacrilico dai tempi di propagazione di un segnale a ultrasuoni da 1 MHz.
- Misurazione della trasmissione di onde sonore longitudinali e trasversali nel corpo solido mediante una piastra pianparallela, disposta inclinata.
- Determinazione delle velocità del suono per onde longitudinali e trasversali dagli angoli limite di riflessione totale.
- Determinazione del modulo di elasticità E , del modulo di taglio G e del numero di Poisson μ del corpo solido dalle due velocità del suono.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Ecoscopio ad ultrasuoni GS200	1018616
2	Sonda ad ultrasuoni 1 MHz, GS200	1018617
1	Kit "Ultrasuoni in corpi solidi"	1002584
1	Piastra in alluminio su supporto campione con scala angolare	1002585
1	Kit 3 cilindri	1002588
1	Gel accoppiante per ultrasuoni	1008575

BASI GENERALI

Il suono si propaga nei gas e nei liquidi esclusivamente sotto forma di onde longitudinali. In questo caso la pressione oscilla intorno a un valore di equilibrio e crea aree alternativamente compresse ed espanse. Il suono attraversa i corpi solidi anche sotto forma di onde trasversali, in cui si verificano sollecitazioni di taglio. Queste si possono propagare in un corpo solido perché sono presenti le forze di taglio elastiche occorrenti alla trasmissione.

Le onde longitudinali e le onde trasversali hanno velocità diverse. Queste dipendono dalla densità ρ e dalle costanti elastiche del corpo solido. A questo proposito la velocità del suono dell'onda longitudinale è

$$(1) \quad c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

E : Modulo di elasticità, μ : Numero di Poisson

maggiore di quella dell'onda trasversale

$$(2) \quad c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

G : Modulo di taglio

Il modulo di elasticità E e il modulo di taglio G di un corpo solido sono correlati tra loro mediante il numero di Poisson μ :

$$(3) \quad \frac{E}{G} = 2 \cdot (1 + \mu)$$

Se sono note le due velocità del suono c_L e c_T è quindi possibile calcolare tutte le tre grandezze elastiche.

Nell'esperimento inizialmente si misurano i tempi di propagazione t per il passaggio di un segnale a ultrasuoni da 1 MHz attraverso tre cilindri di poliacrilico con lunghezza s differente e si traccia un diagramma $s-t$ (vedi fig. 1). Dalla pendenza delle rette passanti per i punti di misura risulta la velocità del suono longitudinale del poliacrilico.

In seguito nel percorso dei raggi viene collocato un catino riempito d'acqua e misurato il tempo di attraversamento. Introducendo ulteriormente una piastra sottile pianparallela di poliacrilico o di alluminio nel percorso dei raggi quest'ultimo tempo viene ulteriormente ridotto, in quanto il suono si propaga più rapidamente nel materiale della piastra che nell'acqua. Più precisamente, ora si misurano dietro il catino d'acqua due segnali a ultrasuoni separati, che possono essere ricondotti alla differenza del tempo di propagazione per la velocità del suono longitudinale e trasversale nel corpo solido (vedi fig. 2).

Se la piastra è inclinata di un angolo α rispetto al raggio incidente, secondo la legge di Snellius quest'ultimo viene rifratto in due raggi parziali con gli angoli β_L e β_T (vedi fig. 3)

$$(4) \quad \frac{c}{\sin \alpha} = \frac{c_L}{\sin \beta_L} = \frac{c_T}{\sin \beta_T}$$

c : Velocità del suono nell'acqua

Dal momento che le due velocità del suono c_L e c_T del corpo solido sono superiori alla velocità del suono c dell'acqua, compare infine – separatamente per onde longitudinali e trasversali – il fenomeno della riflessione totale, nel quale i segnali trasmessi scompaiono completamente. Dai due angoli limite α_L per le onde longitudinali e α_T per le onde trasversali si possono calcolare le relative velocità del suono:

$$(5) \quad c_L = \frac{c}{\sin \alpha_L} \quad \text{e} \quad c_T = \frac{c}{\sin \alpha_T}$$

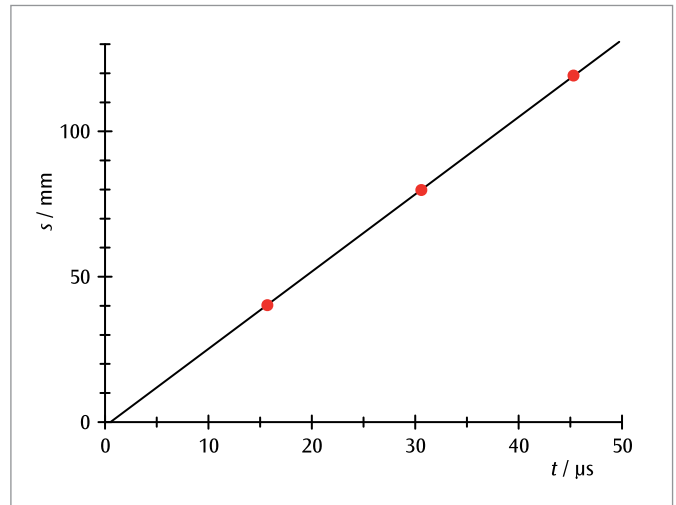


Fig. 1: Diagramma $s-t$ del segnale a ultrasuoni nel poliacrilico

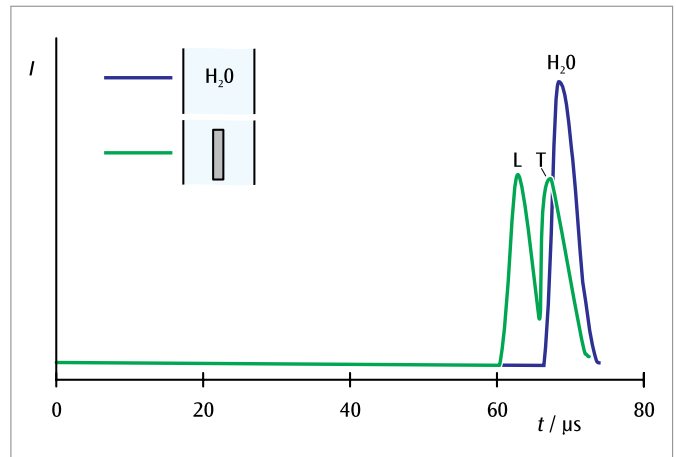


Fig. 2: Segnale a ultrasuoni dopo il passaggio attraverso il catino d'acqua (blu: senza piastra pianparallela, verde: con piastra pianparallela)

ANALISI

- a) I punti di misura ottenuti nella prima parte dalle misurazioni del tempo di propagazione nel diagramma $s-t$ non sono su una retta passante per l'origine, in quanto viene misurato insieme in modo sistematico anche il tempo di propagazione del segnale attraverso lo strato di adattamento e di protezione del trasduttore a ultrasuoni.
- b) Dalle equazioni da 1 a 3 risulta l'equazione condizionale per il numero di Poisson μ

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{c_L}{c_T} \right)^2 - 1}{\left(\frac{c_L}{c_T} \right)^2 - 1}$$

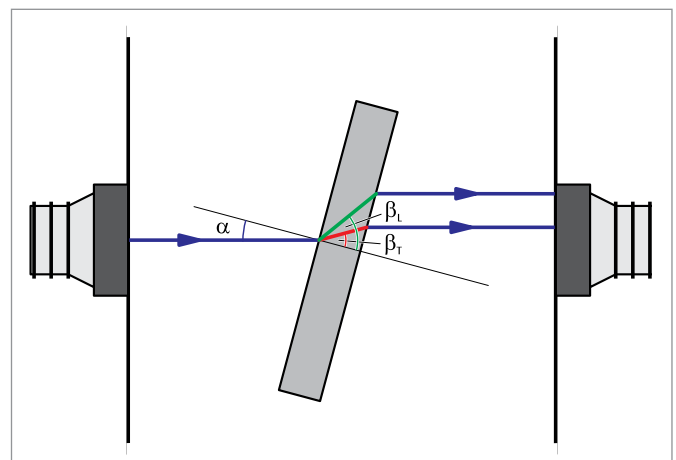
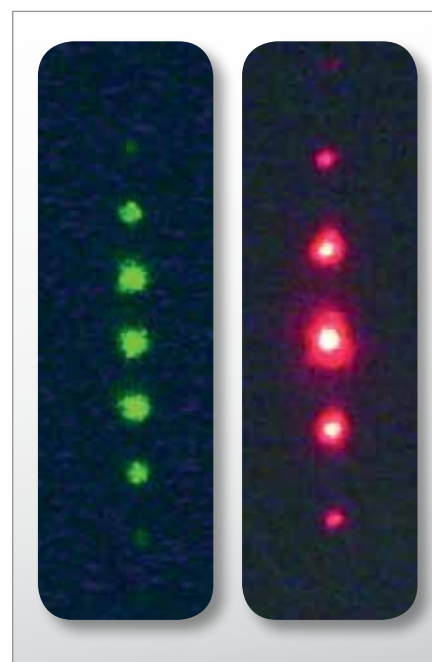


Fig. 3: Disposizione di misurazione per la determinazione della velocità del suono longitudinale e trasversale di un corpo solido dagli angoli limite della riflessione totale

UE1070550 | EFFETTO DEBYE-SEARS



> FUNZIONI

- Osservazione della figura di diffrazione in presenza di una frequenza degli ultrasuoni fissa per due diverse lunghezze di onda luminosa.
- Osservazione della figura di diffrazione per diverse frequenze di ultrasuoni tra 1 e 12 MHz.
- Determinazione delle rispettive lunghezze d'onda e della velocità del suono.

SCOPO

Determinazione della velocità delle onde ultrasonore nei liquidi

RIASSUNTO

Le variazioni periodiche di densità di un'onda ultrasonora stazionaria all'interno di un liquido vengono utilizzate come reticolo ottico per la diffrazione di un raggio luminoso parallelo monocromatico che si propaga perpendicolarmente all'onda ultrasonora. Sulla base della figura di diffrazione, con la lunghezza dell'onda luminosa nota è possibile determinare la lunghezza dell'onda sonora nel liquido e utilizzarla per il calcolo della velocità del suono.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Generatore ultrasuoni cw con sonda	1002576
1	Recipiente campione completo	1002578
1	Diodo laser per l'effetto Debye-Sears, rosso	1002577
1	Diodo laser per l'effetto Debye-Sears, verde	1002579
1	Metro a nastro tascabile, 2 m	1002603
1	Gel accoppiante per ultrasuoni	1008575

BASI GENERALI

La diffrazione della luce nelle onde ultrasonore nei liquidi fu intuiteda Brillouin nel 1922 e confermata in modo sperimentale da Debye e Sears nonché da Lucas e Biquard nel 1932. Si basa sulla variazione periodica dell'indice di rifrazione nei liquidi che viene provocata da un'onda ultrasonora. Su un'onda luminosa che penetra in un liquido in senso perpendicolare, questa disposizione agisce come reticolo di fase che si sposta alla velocità del suono. La sua costante reticolare corrisponde alla lunghezza d'onda delle onde ultrasonore e pertanto dipende dalla frequenza e dalla velocità del suono del mezzo irradiato. All'osservazione su uno schermo molto lontano il moto del reticolo di fase è trascurabile.

Nell'esperimento, un trasduttore orientato verticalmente accoppia onde ultrasonore con frequenze comprese tra 1 e 12 MHz nel liquido di prova. Un fascio luminoso monocromatico parallelo attraversa il liquido in direzione orizzontale e viene diffratto in corrispondenza del reticolo di fase. La figura di diffrazione contiene numerosi massimi di diffrazione disposti a distanza regolare.

Per l'angolo α_k del massimo di diffrazione del k -esimo ordine vale

$$(1) \quad \tan \alpha_k = k \cdot \frac{\lambda_L}{\lambda_S}$$

λ_L : Lunghezza dell'onda luminosa

λ_S : Lunghezza dell'onda sonora

Pertanto la lunghezza dell'onda sonora λ_S può essere determinata dalla distanza tra i massimi di diffrazione. Inoltre, in base a

$$(2) \quad c = f \cdot \lambda_S$$

è possibile calcolare la velocità del suono c nel liquido, dal momento che anche la frequenza f dell'onda sonora è nota.

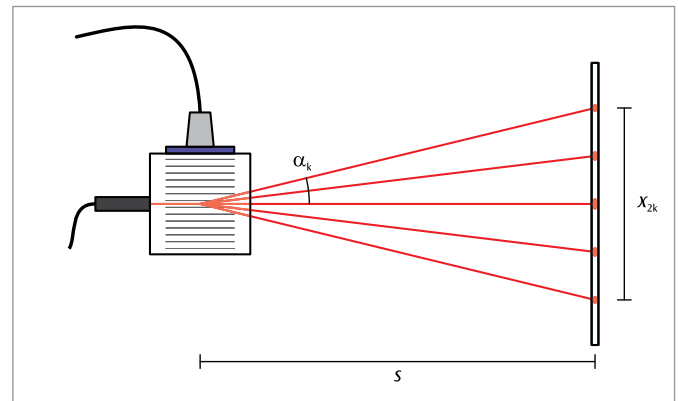


Fig. 1: Rappresentazione schematica della diffrazione della luce in un reticolo di fase prodotto da onde sonore in un liquido (effetto Debye-Sears)

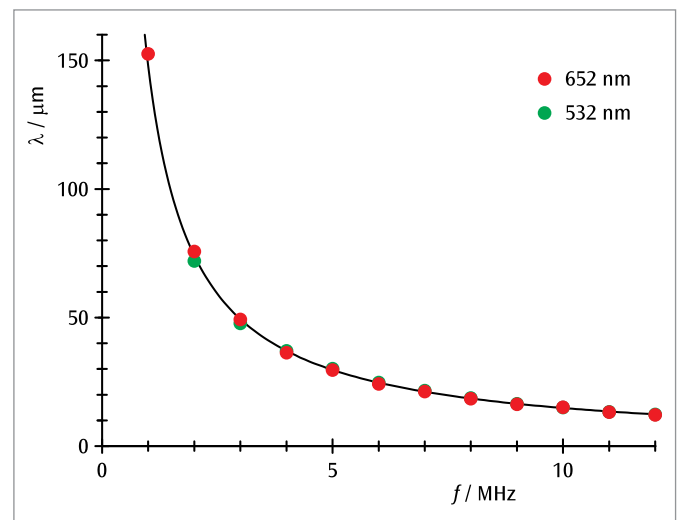


Fig. 2: Lunghezza dell'onda sonora λ_S nell'acqua in funzione della frequenza f

ANALISI

Viene misurata la distanza s tra il trasduttore a ultrasuoni e l'immagine di diffrazione, nonché la distanza x_{2k} tra i massimi di diffrazione $-k$ e $+k$. Entrambi i valori sono considerati nel calcolo dell'angolo α_k per il massimo di diffrazione del k -esimo ordine.

$$\tan \alpha_k = \frac{x_{2k}}{2 \cdot s}$$

L'equazione condizionale per la lunghezza dell'onda sonora λ_S è quindi

$$\lambda_S = \frac{2 \cdot k \cdot s}{x_{2k}} \cdot \lambda_L$$

UE1080350 | VISCOSIMETRO A SFERA CADENTE



> FUNZIONI

- Misurazione dei tempi di caduta di una sfera in una soluzione acquosa di glicerina in funzione della temperatura.
- Determinazione della viscosità dinamica e confronto con i dati di letteratura.
- Confronto della dipendenza dalla temperatura della viscosità dinamica con la relazione di Arrhenius-Andrade e determinazione dell'energia di attivazione.

SCOPO

Determinazione della viscosità dinamica di una soluzione acquosa di glicerina

RIASSUNTO

La viscosità dinamica è il fattore di proporzionalità che lega il gradiente di velocità allo sforzo di taglio applicato a un elemento fluido e rappresenta la resistenza allo scorrimento del fluido stesso. Per misurarla si può utilizzare un viscosimetro a sfera cadente, noto come viscosimetro di Höppler. Abbinato a un termostato a circolazione, esso consente anche di effettuare misurazioni in funzione della temperatura. Nell'esperimento, tali misurazioni avvengono in una soluzione acquosa di glicerina. La dipendenza dalla temperatura della viscosità viene descritta per mezzo della relazione di Arrhenius-Andrade.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Viscosimetro a sfera	1012827
1	Cronometro digitale	1002811
1	Termostato a circolazione/immersione (230 V; 50/60 Hz)	1008654 o
	Termostato a circolazione/immersione (115 V; 50/60 Hz)	1008653
2	Tubo di silicone 6 mm	1002622
1	Glicerina, 85%, 250 ml	1007027
Ulteriormente consigliato:		
1	Set di 10 becher, forma bassa	1002872
2	Cilindro graduato, 100 ml	1002870
	Acqua distillata, 5 l	

BASI GENERALI

La viscosità di un fluido è riconducibile al legame reciproco fra le sue particelle. Più il legame è forte, più la mobilità delle particelle risulta ridotta. Affinché si manifesti un gradiente di velocità in un profilo di flusso, occorre pertanto la presenza di uno sforzo di taglio. Il fattore di proporzionalità fra il gradiente di velocità e lo sforzo di taglio rappresenta la resistenza allo scorrimento di un fluido ed è chiamato viscosità dinamica. I fluidi la cui viscosità dinamica non dipende dallo sforzo di taglio sono detti newtoniani.

La viscosità dinamica η della maggior parte dei fluidi diminuisce con l'aumentare della temperatura. Tale diminuzione è spesso spiegabile con la relazione di Arrhenius-Andrade.

$$(1) \quad \eta = \eta_0 \cdot \exp\left(\frac{E_A}{R \cdot T}\right)$$

E_A : energia di attivazione delle particelle del fluido
 T : temperatura assoluta

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} : \text{costante universale dei gas}$$

Per misurare la viscosità dinamica si esamina di frequente il comportamento di una sfera che, sotto l'influsso della gravitazione, affonda nel fluido. La caduta della sfera è frenata dalla forza di attrito espressa dalla legge di Stokes

$$(2) \quad F_1 = \eta \cdot 6\pi \cdot r \cdot v$$

r : raggio della sfera.

La sfera affonda pertanto con una velocità costante v . L'influsso della forza di gravità è attenuato dalla spinta verso l'alto della sfera nel fluido:

$$(3) \quad F_2 = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot g$$

ρ_0 : densità della sfera
 ρ : densità del fluido esaminato
 g : accelerazione di caduta.

Dall'equilibrio tra le forze F_1 e F_2 risulta pertanto:

$$(4) \quad \eta = \frac{2}{9} \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot \frac{t}{s}$$

s : tratto di misura,
 t : tempo di caduta per il tratto di misura individuato.

In realtà, l'equazione (2) descrive la forza di attrito sulla sfera solo nei casi in cui il diametro del tubo di misura riempito con il fluido di prova sia sostanzialmente maggiore rispetto al diametro della sfera. Ciò richiederebbe tuttavia una grande quantità di fluido di prova. Nella pratica, per misurare la viscosità si usa quindi un viscosimetro a sfera cadente, noto come viscosimetro di Höppler, con un tubo di misura inclinato rispetto alla verticale in cui la sfera rotola e scivola lungo la parete del tubo. L'equazione per la determinazione della viscosità dinamica è in questo caso

$$(5) \quad \eta = t \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot K$$

Il fattore di calibrazione K di ciascuna sfera fornita è indicato singolarmente dal produttore. Per evitare eventuali errori sistematici è possibile girare il tubo di misura e misurare il tempo di caduta anche nella fase di ritorno.

Nell'esperimento è stata presa in esame glicerina comunemente reperibile in commercio, per l'esattezza si tratta di una soluzione acquosa con una percentuale di glicerina pari all'85% circa. L'utilizzo in forma diluita deriva dal fatto che la glicerina pura presenta un grado di viscosità troppo elevato per molte applicazioni. La viscosità viene misurata in funzione della temperatura. A tale scopo, il viscosimetro a sfera cadente è collegato a un termostato a circolazione. Diluendo in maniera mirata la soluzione di glicerina con acqua distillata è

altresì possibile esaminare la dipendenza dalla concentrazione della viscosità.

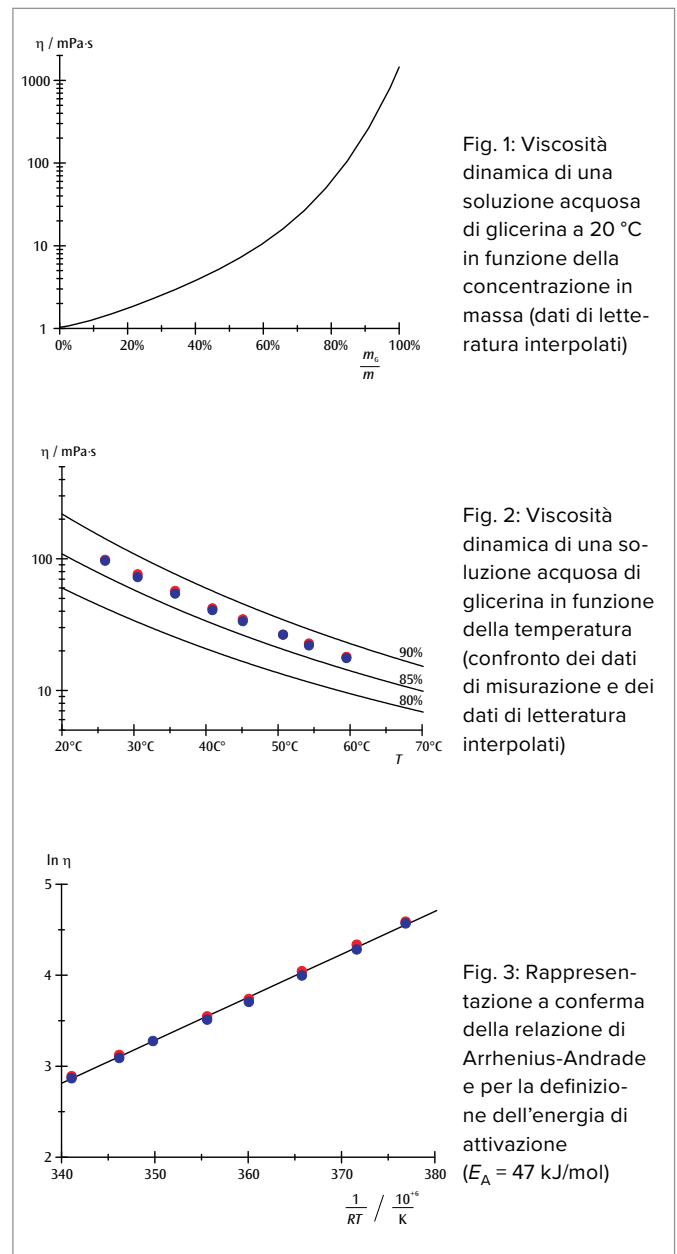
ANALISI

Un confronto della viscosità misurata con i dati di letteratura conferma i dati di calibrazione del produttore.

L'equazione (1) può essere riscritta nella forma

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + E_A \cdot \frac{1}{R \cdot T}$$

Si rappresenta quindi graficamente $y = \ln \eta$ rapportato a $x = \frac{1}{R \cdot T}$ e si determina l'energia di attivazione E_A in base alla pendenza delle rette risultanti.



UE1080400 | TENSIONE SUPERFICIALE



SCOPO

Misurazione della tensione superficiale secondo il metodo del distacco

RIASSUNTO

Per la determinazione della tensione superficiale di un liquido, un tagliente viene immerso orizzontalmente nel liquido e lentamente sollevato verso l'alto, fuori dal liquido, misurando la forza di trazione. La lamina di liquido che si forma sul tagliente si distacca non appena viene superata una forza caratteristica. La tensione superficiale può essere calcolata sulla base di questa forza e della lunghezza del tagliente.

> FUNZIONI

- Produzione di una lamina di liquido tra un tagliente ad anello e la superficie del liquido mediante lento sollevamento del tagliente fuori dal liquido.
- Misurazione della forza di trazione appena prima del distacco della lamina di liquido.
- Determinazione della tensione superficiale sulla base della forza di trazione misurata.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Anello per tensione superficiale	1000797
1	Dinamometro di precisione 0,1 N	1003102
1	Set di 10 becher, forma bassa	1002872
1	Laborboy II	1002941
1	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
1	Asta di supporto, 750 mm	1002935
1	Manicotto con gancio	1002828
1	Calibro a corsoio, 150 mm	1002601

BASI GENERALI

La tensione superficiale di un liquido è una proprietà della superficie limite tra il liquido e l'aria limitrofa. Risulta dal fatto che su ogni molecola di liquido in superficie le forze della molecola a essa adiacente possono agire solo da un lato, mentre su una molecola all'interno del liquido agiscono forze da tutti i lati (vedi fig. 1). Sulla molecola in superficie viene pertanto esercitata nel complesso una forza verticale rispetto alla superficie verso l'interno del liquido. Per portare altre molecole in superficie al fine di ingrandire la superficie, è necessario fornire di energia.

Il quoziente

$$(1) \quad \sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A}$$

tra la variazione di energia ΔE necessaria a temperatura costante e la variazione ΔA della superficie è definito tensione superficiale o densità dell'energia superficiale.

Per illustrare questa definizione è possibile per esempio osservare un tagliente ad anello inizialmente immerso completamente nel liquido. Sollevando successivamente lentamente il tagliente per farlo fuoriuscire dal liquido, in corrispondenza del suo bordo inferiore si solleva una lamina di liquido (vedi fig. 2). La superficie sul lato esterno e interno del tagliente varia nel complesso di

$$(2) \quad \Delta A = 4 \cdot \pi \cdot R \cdot \Delta x$$

R : Raggio dell'anello

quando il tagliente viene sollevato di un ulteriore tratto Δx . A tale scopo deve essere applicata una forza

$$(3) \quad F_0 = \frac{\Delta E}{\Delta x}$$

Se nel sollevamento viene superata la forza F_0 , la lamina di liquido si distacca.

Nell'esperimento, un anello metallico con il bordo inferiore tagliente viene sospeso orizzontalmente a un dinamometro di precisione. L'anello metallico viene dapprima immerso completamente nel liquido analizzato, per es. acqua, e successivamente sollevato lentamente verso l'alto fuori dal liquido. La lamina di liquido si distacca quando la forza di trazione F supera il valore limite F_0 .

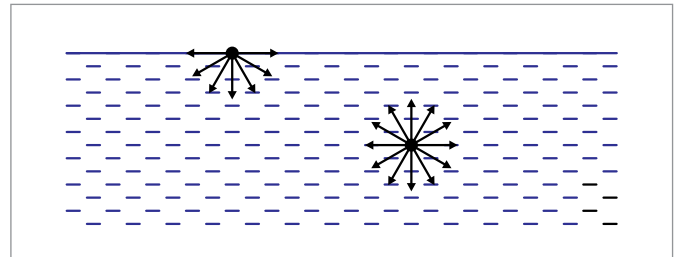


Fig. 1: Forze di interazione che agiscono su una molecola di liquido in superficie e su una molecola all'interno del liquido da parte delle rispettive molecole adiacenti

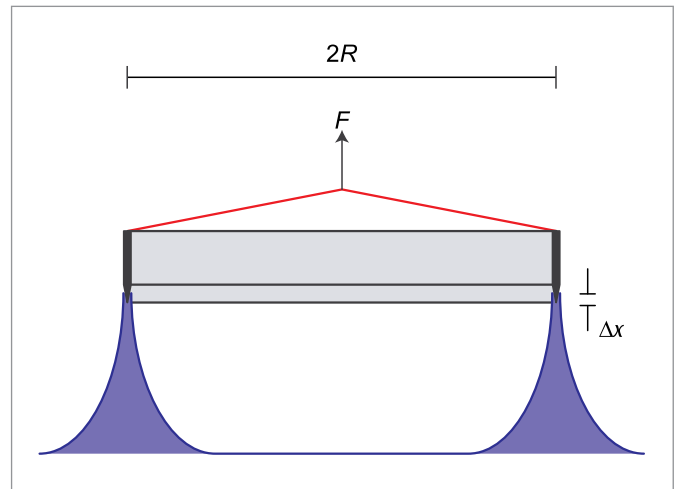


Fig. 2: Rappresentazione schematica

ANALISI

Da (1), (2) e (3) deriva

$$F_0 = \frac{\Delta E}{\Delta x} = 4 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma$$

L'equazione condizionale è quindi

$$\sigma = \frac{F_0}{4 \cdot \pi \cdot R}$$

UE1090200 | FLESSIONE DI BARRE PIATTE



SCOPO

Misurazione della deformazione di barre piatte supportate su due lati e determinazione del modulo di elasticità

RIASSUNTO

La resistenza alla deformazione per flessione di una barra piatta operata da una forza esterna si può calcolare in maniera analitica purché la deformazione sia notevolmente inferiore rispetto alla lunghezza della barra stessa. Essa è proporzionale al modulo di elasticità E del materiale da cui è composta la barra. Nell'esperienza si determina, attraverso la deformazione a forza nota, il modulo di elasticità di acciaio e alluminio.

> FUNZIONI

- Misurazione del profilo di deformazione con carico centrico ed eccentrico.
- Misurazione della deformazione in funzione della forza.
- Misurazione della deformazione in funzione di lunghezza, larghezza, spessore e materiale e determinazione del modulo di elasticità.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Sistema di misurazione modulo di elasticità	1018527
1	Kit di ampliamento modulo di elasticità	1018528
1	Metro a nastro tascabile, 2 m	1002603
1	Micrometro con staffa	1002600

BASI GENERALI

La resistenza alla deformazione per flessione di una barra piatta operata da una forza esterna si può calcolare in maniera analitica purché la deformazione sia notevolmente inferiore rispetto alla lunghezza della barra stessa. Essa è proporzionale al modulo di elasticità E del materiale da cui è composta la barra. Il modulo di elasticità si determina pertanto dalla deformazione della barra a forza nota.

Per il calcolo, la barra viene suddivisa in segmenti paralleli che, durante la flessione, sul lato interno si comprimono e su quello esterno si estendono. I segmenti neutrali non subiscono né estensione né compressione, mentre l'estensione e la compressione relativa ϵ dei restanti segmenti e la tensione correlata σ dipendono dalla distanza z dai segmenti neutrali:

$$(1) \quad \epsilon(z) = \frac{s + \Delta s(z)}{s} = \frac{z}{\rho(x)} \quad \text{e} \quad \sigma(z) = E \cdot \epsilon(z)$$

$\rho(x)$: raggio di curvatura locale della flessione
La curvatura è pertanto generata dal momento flettente locale

$$(2) \quad M(x) = \int_A \sigma(z) \cdot z \cdot dA = \frac{1}{\rho(x)} \cdot E \cdot I$$

con $I = \int_A z^2 \cdot dA$: momento d'inerzia

In alternativa al raggio di curvatura $\rho(x)$, nell'esperienza si misura il profilo di deformazione $w(x)$ rispetto alla posizione di riposo, calcolabile come segue. Finché le variazioni $dw(x) / dx$ della deformazione sono sufficientemente ridotte, vale la correlazione:

$$(3) \quad \frac{d^2 w}{dx^2}(x) = \frac{1}{\rho(x)} = \frac{M(x)}{E \cdot I}$$

da cui per doppia integrazione si ricava il profilo di deformazione. Un esempio tipico è l'osservazione di una barra avente lunghezza L supportata presso entrambe le estremità su cui è applicata una forza F verso il basso, agente sul punto a . In condizioni di equilibrio, la somma di tutte le forze agenti su di essa è pari a zero:

$$(4) \quad F_1 + F_2 - F = 0$$

Lo stesso vale per la somma di tutti i momenti agenti su un punto x qualsiasi della barra:

$$(5) \quad M(x) - F_1 \cdot x - F_2 \cdot (L - x) + F \cdot (a - x) = 0$$

Alle estremità della barra non si registra alcuna curvatura né deformazione, si ha quindi $M(0) = M(L) = 0$ e $w(0) = w(L) = 0$. $M(x)$ è pertanto completamente determinato.

$$(6) \quad M(\zeta) = \begin{cases} F \cdot L \cdot (1 - \alpha) \cdot \zeta; & 0 \leq \zeta \leq \alpha \\ F \cdot L \cdot \alpha \cdot (1 - \zeta); & \alpha < \zeta \leq 1 \end{cases}$$

con $\zeta = \frac{x}{L}$ e $\alpha = \frac{a}{L}$

E per doppia integrazione si ottiene il profilo di deformazione

$$(7) \quad w(\zeta) = \frac{F \cdot L^3}{E \cdot I} \cdot \left[(1 - \alpha) \cdot \frac{\zeta^3}{6} - \left(\frac{\alpha^3}{6} - \frac{\alpha^2}{2} - \frac{\alpha}{3} \right) \cdot \zeta \right]$$

$$\frac{F \cdot L^3}{E \cdot I} \cdot \left[\frac{\alpha^3}{6} - \left(\frac{\alpha^3}{6} + \frac{\alpha}{3} \right) \zeta + \frac{\alpha}{2} \cdot \zeta^2 - \frac{\alpha}{6} \zeta^3 \right]$$

L'andamento viene verificato nell'esperimento con carico centrico ($\alpha = 0,5$) ed eccentrico ($\alpha < 0,5$).

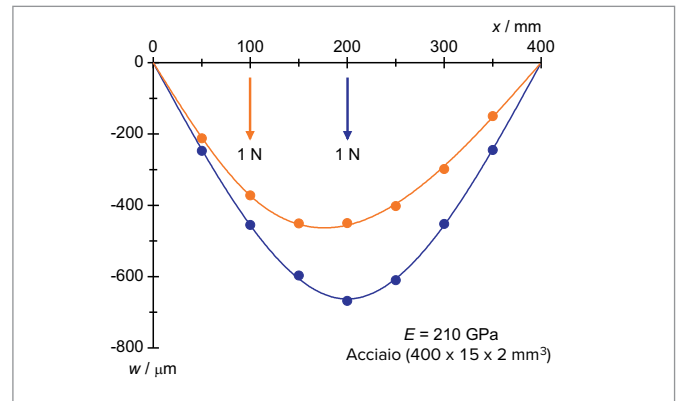


Fig. 2: Profilo di deformazione misurato e calcolato con carico centrico ed eccentrico

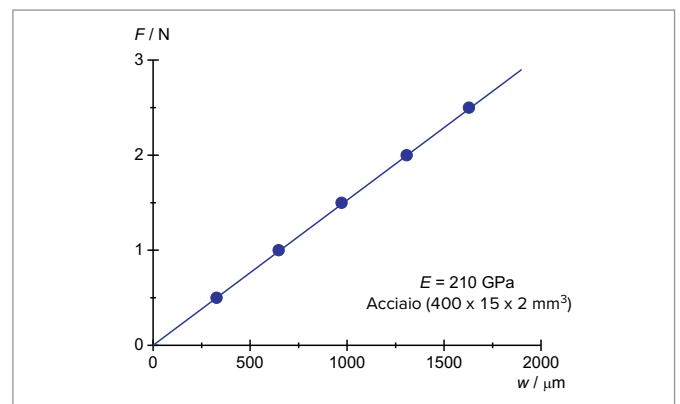


Fig. 3: Conferma della legge di Hooke

ANALISI

Con carico centrico si ha $w(x = \frac{L}{2}, a = \frac{L}{2}) = -\frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$

Per un rettangolo avente larghezza b e altezza d si calcola $I = \int_A z^2 \cdot dA = \int_{-d/2}^{d/2} z^2 \cdot b \cdot dz = \frac{d^3}{12} \cdot b$

Si ha quindi $w(x = \frac{L}{2}, a = \frac{L}{2}) = -\frac{1}{4} \cdot \frac{F}{E} \cdot \frac{L^3}{d^3} \cdot \frac{1}{b}$

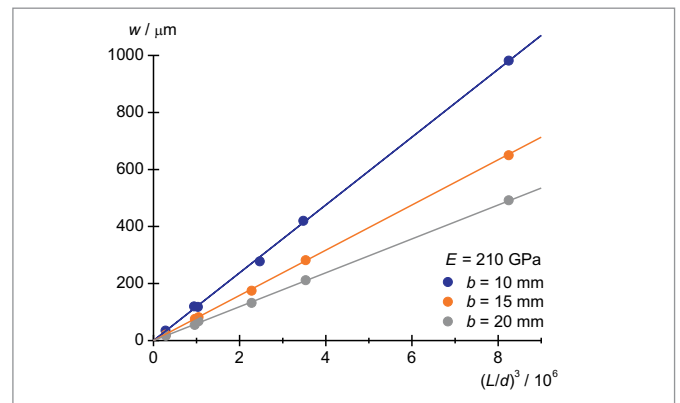


Fig. 4: Dipendenza della deformazione da $(L/d)^3$

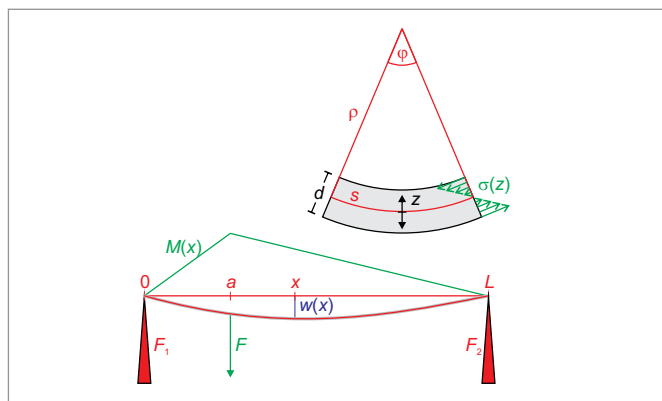


Fig. 1: Schizzo del profilo di deformazione

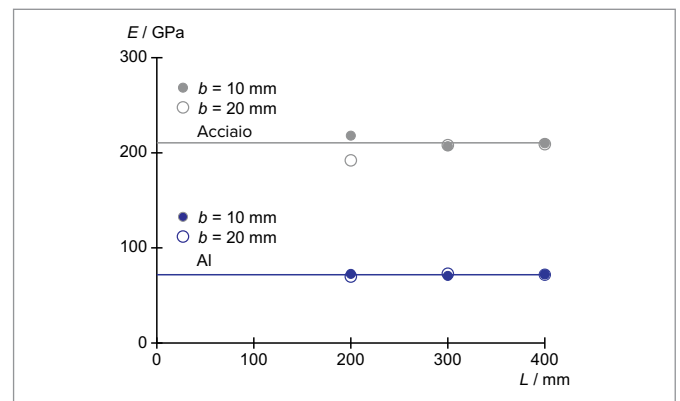


Fig. 5: Modulo di elasticità di acciaio e alluminio

UE1090300 | TORSIONE DI BARRE CILINDRICHE



SCOPO

Determinazione della costante di torsione angolare e del modulo di taglio

RIASSUNTO

Per deformare un corpo solido occorre una forza esterna. Ad essa si oppone la cosiddetta resistenza alla deformazione, che varia a seconda del materiale e della geometria del solido stesso nonché dalla direzione della forza esterna applicata. La deformazione è reversibile e proporzionale alla forza applicata purché questa non sia eccessiva. Un esempio spesso esaminato è la torsione di una barra tonda omogenea fissata ad un solo estremo. La rispettiva resistenza alla deformazione viene calcolata in maniera analitica e determinata mediante la realizzazione di un sistema oscillante formato da barra e disco del pendolo misurando il periodo di oscillazione.

> FUNZIONI

- Determinazione della costante di torsione di barre cilindriche in funzione della lunghezza.
- Determinazione della costante di torsione di barre cilindriche in funzione del diametro.
- Determinazione della costante di torsione di barre cilindriche di materiale diverso e determinazione del modulo di taglio.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Torsimetro	1018550
1	Kit di ampliamento per torsimetro	1018787
1	Fotocellula	1000563
1	Contatore digitale (230 V, 50/60 Hz)	1001033 o
	Contatore digitale (115 V, 50/60 Hz)	1001032

BASI GENERALI

Per deformare un corpo solido occorre una forza esterna. Ad essa si oppone la cosiddetta resistenza alla deformazione, che varia a seconda del materiale e della geometria del solido stesso nonché dalla direzione della forza esterna applicata. La deformazione è elastica, quindi reversibile e proporzionale alla forza applicata, purché questa non sia eccessiva.

Un esempio spesso esaminato è la torsione di una barra tonda omogenea fissata ad un solo estremo, poiché è possibile calcolarne la resistenza alla deformazione in maniera analitica. A tale scopo, si considerano segmenti infinitesimi radiali e cilindrici di lunghezza L . Finché la barra non si piega, una torsione all'estremità libera di un piccolo angolo ψ causa uno spostamento angolare dei segmenti di raggio r pari a

$$(1) \quad \alpha_r = \frac{r}{L} \cdot \psi$$

(v. Fig. 1). Lo sforzo di taglio è allora pari a

$$(2) \quad \tau_r = \frac{dF_{r,\varphi}}{dA_{r,\varphi}} = G \cdot \alpha_r$$

G: modulo di taglio della barra

La componente della forza $dF_{r,\varphi}$ tangenziale alla superficie infinitesima

$$(3) \quad \Delta A_{r,\varphi} = r \cdot d\varphi \cdot dr$$

è pari a

$$(4) \quad dF_{r,\varphi} = G \cdot \frac{r^2}{L} \cdot \psi \cdot d\varphi \cdot dr$$

e si calcola di conseguenza facilmente la forza dF_r necessaria alla torsione del cilindro cavo infinitesimo di raggio r di un angolo ψ e il relativo momento torcente dM_r :

$$(5) \quad dM_r = r \cdot dF_r = G \cdot 2\pi \cdot \frac{r^3}{L} \cdot \psi \cdot dr$$

Per la torsione dell'intero cilindro con raggio r_0 vale di conseguenza

$$(6) \quad M = \int_0^{r_0} dM_r = D \cdot \psi \quad \text{con} \quad D = G \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r_0^4}{L}$$

La proporzionalità tra momento torcente M e angolo di torsione ψ è soddisfatta, ovvero la costante di torsione D è costante fino a quando il momento torcente M risulta eccessivo. In caso di valori troppo elevati, la deformazione diviene plastica e irreversibile.

Per determinare la costante di torsione, nell'esperimento si unisce all'estremità libera dalla barra un disco a pendolo che oscilla per deviazioni non troppo ampie con un periodo pari a

$$(7) \quad T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}}$$

J : momento d'inerzia del disco

intorno all'asse di torsione. Noto il momento d'inerzia, dal periodo di oscillazione si calcola la costante di torsione. Più esattamente, si suddivide il momento d'inerzia in momento d'inerzia J_0 del disco del pendolo e momento d'inerzia di due masse supplementari m disposte nel raggio R intorno all'asse di torsione:

$$(8) \quad J = J_0 + 2 \cdot m \cdot R^2$$

e si misura il periodo di oscillazione T per il disco con massa supplementare e periodo di oscillazione T_0 per il disco senza masse supplementari.

ANALISI

Per la costante di torsione si calcola partendo da (7) e da (8) l'equazione condizionale

$$D = 4\pi^2 \cdot \frac{2 \cdot m \cdot R^2}{T^2 - T_0^2}$$

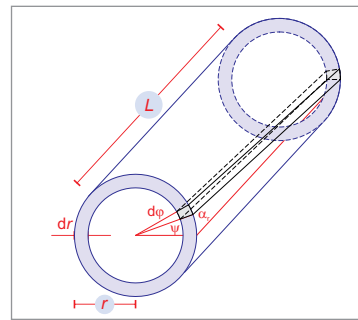


Fig. 1: Rappresentazione schematica del calcolo del momento torcente dM_r necessario alla torsione di un cilindro cavo avente lunghezza L , raggio r e spessore parete dr .

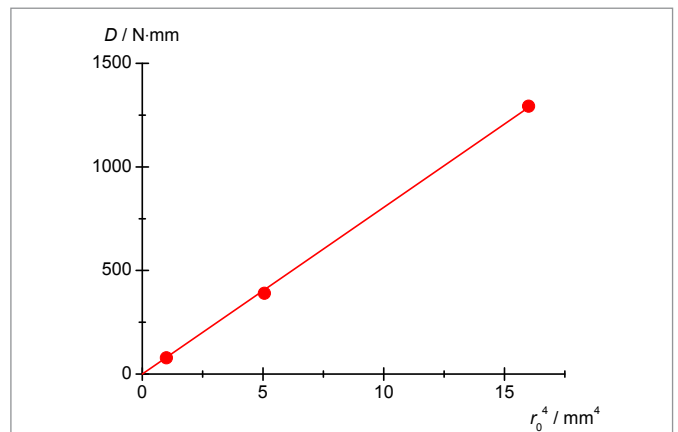


Fig. 2: Costante di torsione di aste di alluminio aventi lunghezza 500 mm in funzione di r_0^4

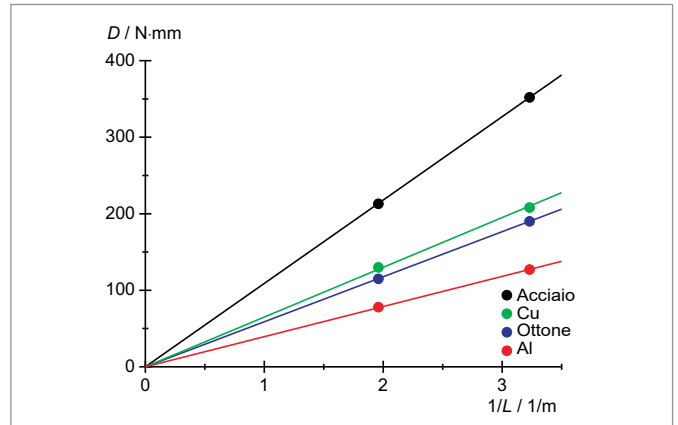


Fig. 3: Costante di collegamento angolare di barre circolari in funzione di $1/L$

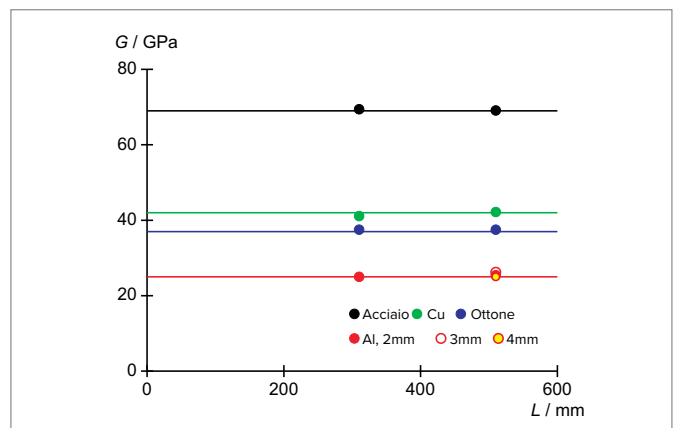


Fig. 4: Modulo di taglio G delle aste in funzione del lodulo G delle aste in funzione di L

UE2010130 | DILATAZIONE TERMICA DEI SOLIDI



► FUNZIONI

- Misurazione della dilatazione lineare termica di un tubo realizzato in ottone, acciaio e vetro.
- Determinazione dei coefficienti di dilatazione termica lineare di questi materiali e confronto con i valori di letteratura.

SCOPO

Determinazione del coefficiente di dilatazione termica dell'ottone, dell'acciaio e del vetro

RIASSUNTO

Se riscaldati, tutti i corpi solidi si dilatano in misura maggiore o minore. Nell'esperimento si fa scorrere acqua calda lungo tubi sottili realizzati in ottone, acciaio e vetro. La misurazione della dilatazione lineare avviene utilizzando un comparatore a quadrante. In base alla variazione della lunghezza si determinano i coefficienti di dilatazione lineare dei tre materiali.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio per la dilatazione lineare D	1002977
1	Termostato a circolazione/immersione (230 V; 50/60 Hz)	1008654 o
	Termostato a circolazione/immersione (115 V; 50/60 Hz)	1008653
1	Comparatore a quadrante con adattatore	1012862
2	Tubo di silicone 6 mm	1002622

NOTA

Se è sufficiente analizzare la differenza di lunghezza tra temperatura ambiente e temperatura del vapore, si può usare un generatore di vapore al posto del termostato a circolazione (vedere Fig. 3).

BASI GENERALI

In un solido ogni atomo oscilla intorno alla propria posizione di equilibrio. L'oscillazione non è armonica, poiché l'energia potenziale, dal punto di equilibrio, cresce molto rapidamente se gli atomi si avvicinano e più lentamente se si allontanano. In presenza di temperature più elevate e quindi di un'energia di oscillazione maggiore, gli atomi riescono ad allontanarsi sempre di più l'uno dall'altro, ma non ad avvicinarsi di più; conseguentemente la loro distanza media cresce. Questo effetto si intensifica con l'aumentare della temperatura, pertanto al salire della temperatura il solido si dilata in misura sempre maggiore. In questo contesto è consuetudine osservare variazioni di lunghezza relative dalle quali si calcolano le variazioni di volume.

Il coefficiente di dilatazione lineare è definito come

$$(1) \quad \alpha = \frac{1}{L(\vartheta)} \cdot \frac{dL}{d\vartheta}$$

L : Lunghezza

ϑ : Temperatura in °C

Dipende in maniera notevole dal materiale e, di norma, poco dalla temperatura. Ne consegue che

$$(2) \quad \begin{aligned} L(\vartheta) &= L_0 \cdot \exp(\alpha \cdot \vartheta) \\ L_0 &= L(0 \text{ °C}) \end{aligned}$$

si può approssimare, per temperature non eccessivamente elevate, con

$$(3) \quad L(\vartheta) = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$$

Nell'esperimento vengono eseguite misurazioni su tubi sottili di acciaio, ottone e vetro, che vengono riscaldati facendo scorrere acqua calda al loro interno. Un termostato a circolazione mantiene la temperatura dell'acqua costante. Poiché i tubi sono fissati solo su un lato all'apparecchio per la dilatazione lineare, applicando un comparatore a quadrante sull'altra estremità è possibile leggere la variazione di lunghezza rispetto alla temperatura di riferimento costituita dalla temperatura ambiente.

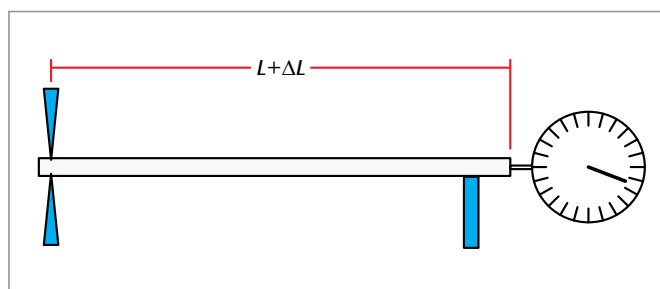


Fig. 1: Rappresentazione schematica della disposizione per la misurazione

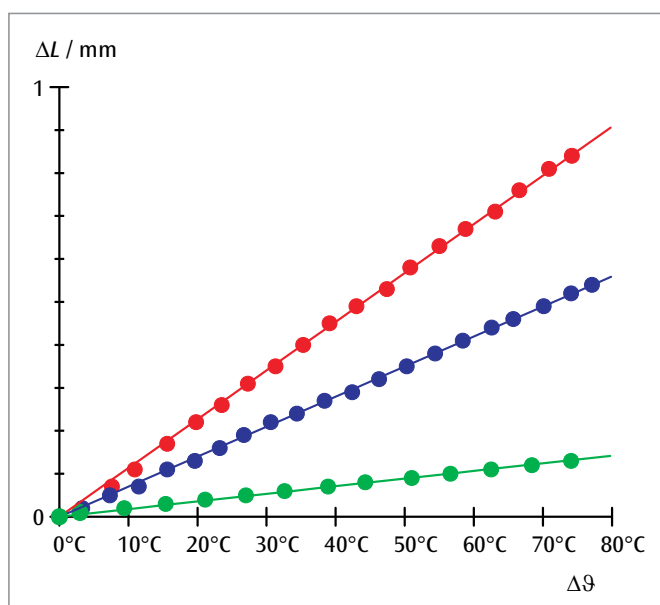


Fig. 2: Variazione di lunghezza per ottone (rosso), acciaio (blu) e vetro (verde) in funzione della differenza di temperatura

ANALISI

Nel range di temperatura analizzato vale $\alpha \cdot \vartheta \ll 1$. Pertanto l'equazione (3) deve essere modificata

$$\Delta L = L(\vartheta_1) \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta \quad \text{in} \quad \Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1, \quad L(\vartheta_1) = 600 \text{ mm}$$

I coefficienti di dilatazione lineare cercati possono essere determinati dalla pendenza delle rette di passanti per l'origine in Fig. 1.

Se invece si prendono in considerazione anche temperature elevate, l'equazione approssimata (3) non è più applicabile. Quindi α non si dimostra costante, bensì dipendente dalla temperatura. Ciò si può notare – a un'osservazione più attenta – anche nel range di temperatura analizzato. Poiché le variazioni di lunghezza vengono misurate con una risoluzione di 0,01 mm, ad un'attenta analisi dei dati risulta che, in particolare per l'ottone, i valori di misurazione non seguono un andamento lineare e il coefficiente di dilatazione cresce debolmente con l'aumentare della temperatura.



Fig. 3: Struttura con generatore di vapore

UE2010301 | ANOMALIA DELL'ACQUA



> FUNZIONI

- Misurazione della dilatazione termica dell'acqua nell'intervallo di temperature compreso tra 0°C e 15°C.
- Dimostrazione dell'anomalia termica.
- Determinazione della temperatura del massimo di densità.

SCOPO

Determinazione della temperatura del massimo di densità dell'acqua

RIASSUNTO

Il volume dell'acqua inizialmente diminuisce ad un aumento della temperatura tra 0°C e ca. 4°C e aumenta solo a temperature superiori. La densità dell'acqua ha pertanto un massimo misurabile in questo intervallo.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio per l'anomalia dell'acqua	1002889
1	Vasca di plastica	4000036
1	Agitatore magnetico	1002808
1	Termometro digitale, 1 canale	1002793
1	Sensore a immersione NiCr-Ni Tipo K, -65°C – 550°C	1002804
Ulteriormente consigliato:		
1	Tubo di silicone 6 mm	1002622
1	Asta di supporto, 470 mm	1002934
1	Morsetto di supporto con manicotto	1002829
1	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
1	Imbuto	

BASI GENERALI

L'acqua presenta una particolarità rispetto alla gran parte degli altri materiali. Fino ad una temperatura di ca. 4°C si ritira con aumentando la temperatura, e aumenta di volume solo a temperature superiori. Poiché la densità corrisponde al reciproco del volume di una quantità di materiale, l'acqua ha quindi un massimo di densità a ca. 4°C.

Nell'esperimento, la dilatazione dell'acqua viene misurata in un recipiente con tubo montante. A questo scopo, si misura l'altezza h a seconda della temperatura dell'acqua ϑ . Se si trascura il fatto che anche il recipiente di vetro si dilata con il riscaldamento, il volume totale dell'acqua nel recipiente e nel tubo montante è dato da:

$$(1) \quad V(\vartheta) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)$$

d : Diametro interno del tubo montante, V_0 : Volume del recipiente

Prendendo in considerazione la dilatazione del recipiente, (1) diventa

$$(2) \quad V(\vartheta) = V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)$$

$\alpha = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$: Coefficiente di dilatazione lineare del vetro

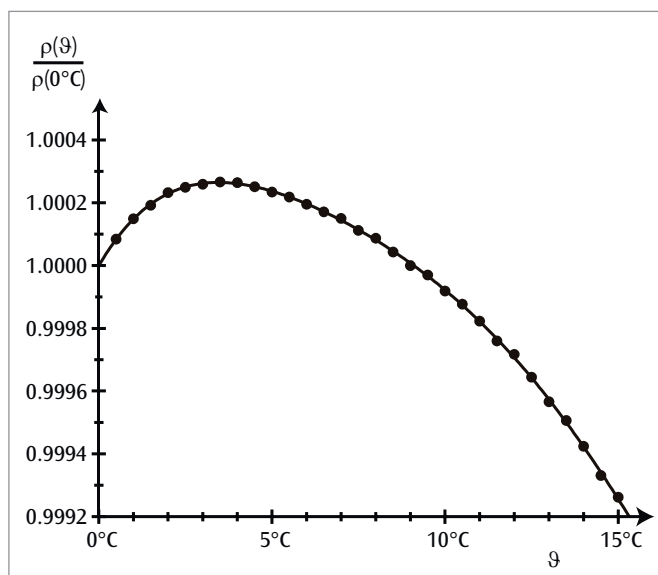


Fig. 1: Densità relativa dell'acqua a seconda della temperatura

ANALISI

Per la densità ρ dell'acqua vale pertanto sulla base di (1) e (2)

$$\frac{\rho(\vartheta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)}$$

Secondo i dati della tabella, il massimo di questo rapporto è $\vartheta = 3,9^\circ\text{C}$.

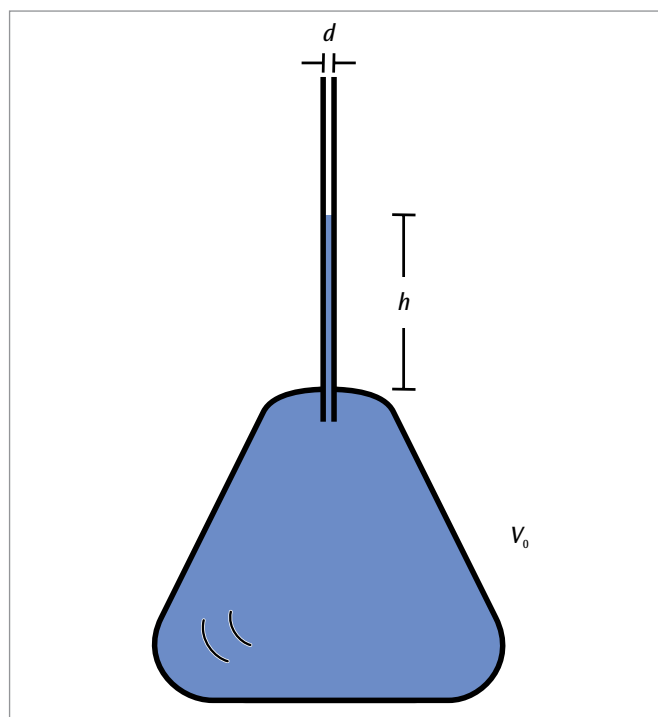


Fig. 2: Recipiente con tubo montante

UE2020100 | CONDUCEBILITÀ TERMICA



> FUNZIONI

- Misurazione dell'andamento della temperatura lungo un'asta metallica, un'estremità della quale viene riscaldata e l'altra raffreddata, in stato stazionario e non stazionario.
- Misurazione del flusso di calore nello stato stazionario.
- Determinazione della conducibilità termica del materiale dell'asta.

SCOPO

Misurazione della conducibilità in aste metalliche

RIASSUNTO

Nella conduzione termica il calore viene trasferito da una zona più calda a una più fredda per effetto dell'interazione reciproca di molecole o atomi contigui, senza che vi sia spostamento di materia. In un'asta metallica cilindrica, le cui estremità sono mantenute a temperature differenti, si genera dopo un determinato periodo di tempo un gradiente di temperatura lungo l'asta, per cui la temperatura partendo dall'estremità più calda diminuisce uniformemente avvicinandosi a quella dell'estremità più fredda, generando un flusso di calore costante. Il passaggio dallo stato non stazionario a quello stazionario viene osservato mediante serie di misurazioni ripetute, rilevando per ciascuna la temperatura nei punti di misurazione. Le aste metalliche vengono riscaldate elettricamente, in modo tale da poter determinare il flusso di calore nello stato stazionario in base alla potenza elettrica.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Kit conducibilità termica	1017329
1	Asta conduttiva termica Al	1017331
1	Asta conduttiva termica Cu	1017330
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Termometro tascabile digitale rapido	1002803
1	Sensore a immersione NiCr-Ni Tipo K, -65°C – 550°C	1002804
1	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718
1	Set di 10 becher, forma bassa	1002872

BASI GENERALI

Il calore può essere trasferito da una zona più calda a una più fredda mediante conduzione, irraggiamento e convezione. Nella conduzione termica tale trasferimento di energia avviene da una zona più calda a una più fredda per effetto dell'interazione reciproca di molecole o atomi contigui, senza che vi sia spostamento di materia. Se, ad esempio, si riscalda un'asta metallica gli atomi nell'estremità più calda oscillano più intensamente, ovvero con un'energia più elevata che nell'estremità fredda. L'energia viene trasferita agli atomi contigui per effetto degli urti, innescando l'effetto di conduzione lungo l'asta. In particolare, i metalli sono buoni conduttori termici, perché a questo effetto si aggiungono le collisioni tra elettroni liberi e atomi.

In un'asta con sezione trasversale A , le cui estremità sono mantenute a temperature differenti, si genera dopo un determinato periodo di tempo un gradiente di temperatura lungo l'asta, per cui la temperatura partendo dall'estremità più calda diminuisce uniformemente avvicinandosi a quella dell'estremità più fredda. Contemporaneamente nel tempo dT una quantità di calore dQ scorre nella sezione trasversale dell'asta, generando un flusso di calore costante P_Q :

$$(1) \quad P_Q = \frac{dQ}{dt} = \lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

P_Q : Flusso di calore (misurato in Watt)
 A : Sezione trasversale dell'asta
 λ : Conducibilità termica del materiale dell'asta
 T : Temperatura, x : Coordinate di spazio lungo l'asta

Prima di raggiungere il gradiente di temperatura costante, nell'asta si produce una distribuzione della temperatura nel tempo $T(x,t)$, che si avvicina gradualmente allo stato stazionario. Vale la seguente equazione differenziale

$$(2) \quad \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x,t) - c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0$$

c : Calore specifico e ρ : Densità del materiale dell'asta

Nello stato stazionario vale conformemente all'equazione (1)

$$(3) \quad \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0 \quad \text{e} \quad \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}(x,t) = \text{const.} = \frac{P_Q}{A}$$

Nell'esperimento un'estremità dell'asta viene riscaldata elettricamente. Una sorgente di calore alimentata elettronicamente fornisce all'asta conduttiva termica un flusso di calore, che può essere calcolato in base alla potenza elettrica

$$(4) \quad P_{el} = U \cdot I$$

mediante la misurazione della tensione di riscaldamento U e della corrente di riscaldamento I . La regolazione elettronica della corrente fa in modo che l'estremità dell'asta raggiunga in un tempo estremamente rapido la temperatura di 90 °C, che viene poi mantenuta costante. Attraverso apposite lamelle di raffreddamento il calore viene ceduto all'altra estremità dell'asta raffreddata con acqua ghiacciata o con semplice acqua a temperatura ambiente. La potenza termica ceduta può essere determinata utilizzando un calorimetro.

Un manicotto isolante riduce la perdita di calore dell'asta conduttiva termica nell'ambiente e migliora la linearità del profilo di temperatura nello stato stazionario. Utilizzando un termometro elettronico istantaneo vengono misurate le temperature in determinati punti di misurazione lungo l'asta. Vengono utilizzate un'asta di alluminio e una di rame.

ANALISI

Il flusso di calore P_Q corrisponde alla potenza elettrica P_{el} meno una dispersione minima P_i : $P_Q = P_{el} - P_i$

$$\text{Pertanto si ha: } \lambda = \frac{P_{el} - P_i}{A} \cdot \frac{L}{T(0) - T(L)}$$

(L : La distanza tra i punti di misurazione della temperatura selezionati)

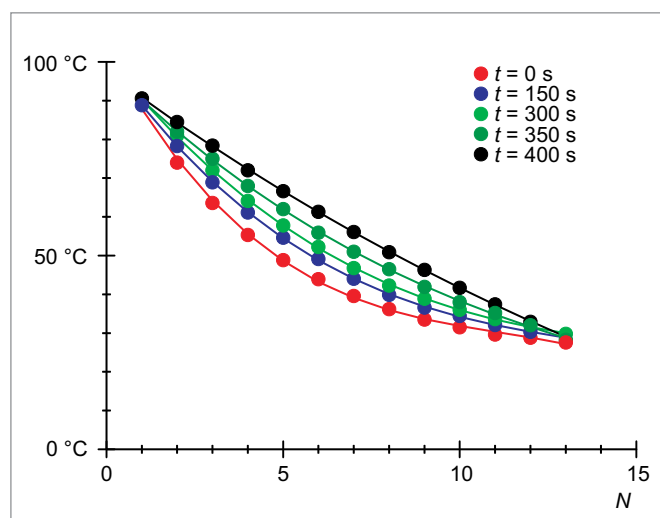


Fig. 1: Temperature lungo l'asta di alluminio in cinque serie di misur a una distanza temporale di 150 s

UE2020200 | CUBO DI LESLIE



> FUNZIONI

- Dimostrazione della radiazione termica di un cubo di Leslie con una termopila di Moll
- Misurazione relativa dell'intensità irradiata per quattro diverse superfici in funzione della temperatura.
- Conferma della dipendenza T^4 dell'intensità irradiata.

SCOPO

Misurazione della radiazione termica di un cubo di Leslie

RIASSUNTO

La radiazione emessa da un corpo dipende dalla temperatura del corpo e dalle sue caratteristiche superficiali. La legge di Kirchhoff afferma più precisamente che per tutti i corpi ad una data temperatura il rapporto di emissività rispetto alla capacità di assorbimento è uguale, e che corrisponde all'emissività E_{SB} del corpo nero a questa temperatura. Nell'esperimento, un cubo di Leslie viene riscaldato a temperature fino a 100°C inserendo acqua all'interno e misurando l'intensità irradiata in una misurazione relativa con una termopila di Moll.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Cubo di Leslie	1000835
1	Supporto girevole per cubo di Leslie	1017875
1	Termopila di Moll	1000824
1	Amplificatore di misura U (230 V, 50/60 Hz)	1020742 o
	Amplificatore di misura U (115 V, 50/60 Hz)	1020744
1	Multimetro digitale P 3340	1002785
1	Termometro tascabile digitale rapido	1002803
1	Sensore a immersione NiCr-Ni Tipo K, -65°C – 550°C	1002804
2	Coppia di cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002849
2	Piede a barilotto, 500 g	1001046
1	Metro a nastro tascabile, 2 m	1002603

BASI GENERALI

Lo scambio di calore di un corpo con l'ambiente avviene anche tramite emissione e assorbimento della radiazione termica. La radiazione dipende dalla temperatura del corpo e dalle sue caratteristiche superficiali come dimostrato da un cubo di Leslie.

L'intensità irradiata viene descritta dall'emissività E del corpo. La capacità di assorbimento A è il rapporto dell'intensità di radiazione assorbita rispetto a quella incidente. La capacità di assorbimento è particolarmente alta quando lo è anche l'emissività. La legge di Kirchhoff afferma più precisamente che per tutti i corpi ad una data temperatura il rapporto di emissività rispetto alla capacità di assorbimento è uguale e che corrisponde all'emissività E_{SB} del corpo nero a questa temperatura:

$$(1) \quad \frac{E(T)}{A} = E_{SB}(T) = \sigma \cdot T^4$$

σ : costante di Stefan-Boltzmann
 T : temperatura in Kelvin

La dipendenza dalla temperatura della capacità di assorbimento può essere di norma trascurata. Pertanto, l'emissività del corpo è pari a

$$(2) \quad E(T) = A \cdot \sigma \cdot T^4.$$

Se il corpo ha la stessa temperatura T_0 dell'ambiente, esso emette radiazioni con emissività

$$(3) \quad E(T_0) = A \cdot \sigma \cdot T_0^4$$

e con la stessa intensità con cui la assorbe dall'ambiente. Se la sua temperatura è superiore, l'intensità di radiazione assorbita dall'ambiente non varia, finché la temperatura ambiente resta costante. Pertanto, l'emissione di energia del corpo misurabile con un rilevatore di radiazione per unità di superficie e di tempo è pari a

$$(4) \quad \Delta E(T) = A \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_0^4).$$

Nell'esperimento, un cubo di Leslie dotato di superfici rispettivamente bianca, nera, opaca e lucida viene riscaldato a temperature fino a 100°C introducendovi acqua; viene poi misurata l'intensità irradiata in una misurazione relativa con la termopila di Moll. I valori misurati per le quattro superfici diverse vengono seguiti durante l'intero processo di raffreddamento fino al raggiungimento della temperatura ambiente.

ANALISI

Rappresentando mediante i valori misurati la grandezza $x = T^4 - T_0^4$ si ottengono quattro rette passanti per l'origine, le cui pendenze corrispondono alla diversa capacità di assorbimento delle superfici.

Nel range di temperature analizzato, fino a 100°C, non vi è grande differenza tra la superficie nera e quella bianca, nonché tra la superficie opaca e quella lucida, nonostante la differenza per l'occhio umano sia notevole. Evidentemente, le superfici nel range di lunghezza d'onda a infrarossi non si differenziano di molto.

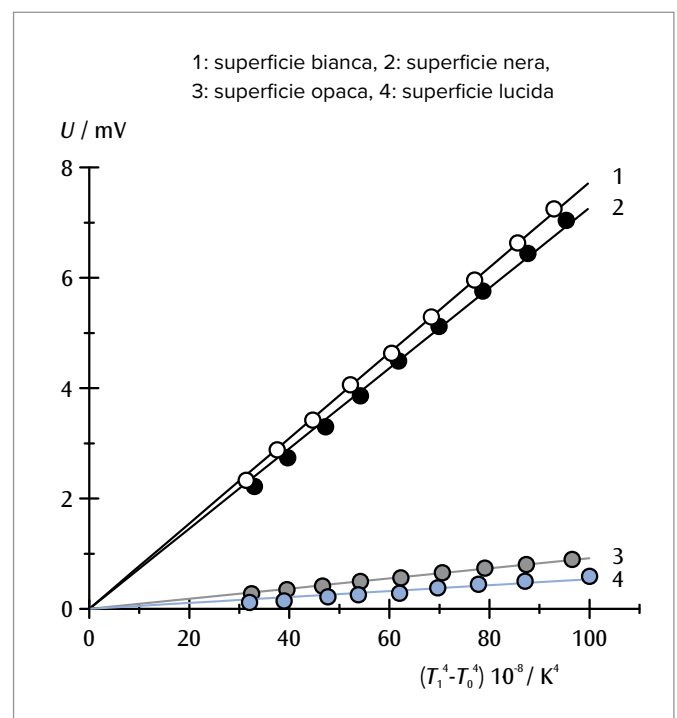


Fig. 1 Intensità irradiata del cubo di Leslie in funzione di $x = T^4 - T_0^4$

UE2030300 | AUMENTO DELL'ENERGIA INTERNA ATTRAVERSO IL LAVORO MECCANICO



SCOPO

Verifica del primo principio della termodinamica

> FUNZIONI

- Misurazione della temperatura del corpo in alluminio in funzione del numero di rotazioni sotto alla corda di attrito.
- Verifica della proporzionalità tra la variazione di temperatura e l'attrito e conferma del primo principio.
- Determinazione della capacità termica specifica dell'alluminio.

RIASSUNTO

Si analizza l'aumento dell'energia interna di un corpo in alluminio provocata dall'attrito. L'aumento può essere rilevata dall' aumento di temperatura del corpo a essa proporzionale, in quanto non si verifica alcuna variazione dello stato di aggregazione né alcuna reazione chimica. Per evitare il più possibile uno scambio di calore tra il corpo in alluminio e l'ambiente, la serie di misurazioni viene avviata a una temperatura leggermente inferiore alla temperatura ambiente e terminata in corrispondenza di una temperatura superiore nella stessa misura a quella ambiente.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio per l'equivalente termico	1002658
1	Multimetro digitale P1035	1002781
1	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718

BASI GENERALI

In base al primo principio della termodinamica, la variazione ΔE dell'energia interna di un sistema è uguale alla somma del lavoro eseguito ΔW e del calore trasferito ΔQ . Può essere rilevata dalla variazione di temperatura del sistema ΔT a essa proporzionale, nel caso in cui non si verifichi alcuna variazione dello stato di aggregazione né alcuna reazione chimica.

Nell'esperimento si analizza l'aumento dell'energia interna di un corpo in alluminio provocata da lavoro meccanico. A tale scopo, il corpo cilindrico viene fatto ruotare attorno al proprio asse con una manovella e riscaldato dall'attrito di una corda che scorre sulla sua superficie esterna. La forza di attrito F corrisponde al peso esercitato da un peso sospeso all'estremità della corda di attrito che viene mantenuto in equilibrio dalla forza di attrito. In n rotazioni del corpo viene quindi eseguito il seguente lavoro di attrito

$$(1) \quad \Delta W_n = F \cdot \pi \cdot d \cdot n$$

d : Diametro del corpo

Mediante l'attrito, la temperatura del corpo aumenta dal valore iniziale T_0 al valore finale T_n . Contemporaneamente l'energia interna aumenta del valore

$$(2) \quad \Delta E_n = m \cdot c_{Al} \cdot (T_n - T_0)$$

m : Massa del corpo
 c_{Al} : Capacità termica specifica dell'alluminio

Al fine di evitare il più possibile uno scambio termico con l'ambiente, prima dell'inizio della misurazione il corpo viene raffreddato a una temperatura T_0 solo leggermente inferiore alla temperatura ambiente. La misurazione, inoltre, viene terminata non appena si raggiunge una temperatura finale T_n , superiore alla temperatura ambiente nella stessa misura.

In tal modo si garantisce che la variazione dell'energia interna corrisponda al lavoro eseguito. Ossia vale

$$(3) \quad \Delta E_n = \Delta W_n$$

ANALISI

Dalle equazioni 2 e 3 è possibile derivare la relazione

$$T_n = T_0 + \frac{1}{m \cdot c_{Al}} \cdot \Delta W_n$$

È quindi evidente che le temperature misurate T_n possono essere rappresentate in funzione del lavoro eseguito ΔW_n (vedi fig. 1).

I valori misurati in prossimità della temperatura ambiente si trovano su una retta dal cui incremento è possibile determinare la capacità termica dell'alluminio.

Al di sotto della temperatura ambiente le temperature misurate aumentano più rapidamente di questo incremento della retta, perché l'alluminio assorbe calore dall'ambiente. Al di sopra della temperatura ambiente viene invece ceduto calore all'ambiente.

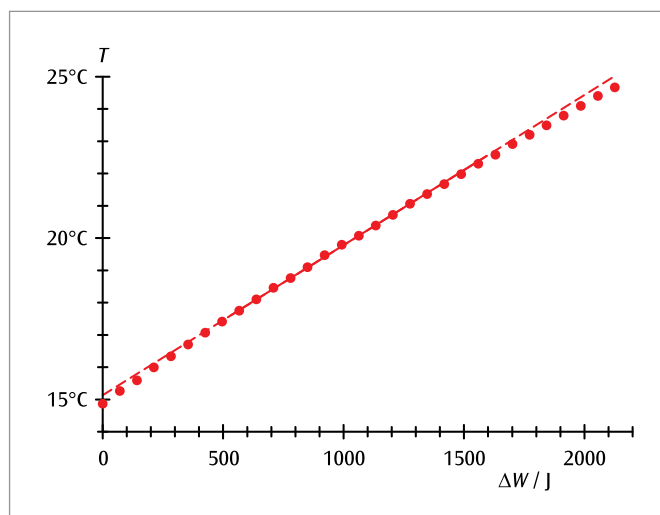


Fig. 1: Temperatura del corpo in alluminio in funzione del lavoro di attrito eseguito

UE2030400

ENERGIA INTERNA E LAVORO ELETTRICO



> FUNZIONI

- Misurazione della temperatura di un calorimetro in alluminio e in rame in funzione del lavoro elettrico eseguito.
- Verifica della proporzionalità tra la variazione di temperatura e il lavoro elettrico e conferma del 1° principio.
- Determinazione della capacità termica di rame e alluminio.

SCOPO

Aumento dell'energia interna attraverso il lavoro elettrico

RIASSUNTO

Si esamina l'aumento dell'energia interna di un calorimetro in rame e di uno in alluminio tramite il lavoro elettrico. Se lo stato di aggregazione non varia e non ha luogo alcuna reazione chimica, è possibile rilevare la variazione dell'energia interna dall'aumento della temperatura del sistema, che è proporzionale ad essa. Per evitare uno scambio di calore del calorimetro con l'ambiente si avvia la serie di misurazioni al di sotto della temperatura ambiente e la si termina ad una temperatura leggermente al di sopra della temperatura ambiente.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Calorimetro in rame	1002659
1	Calorimetro in alluminio	1017897
1	Sensore di temperatura	1017898
1	Coppia di cavi adattatori con spine di sicurezza da 4 mm/jack da 2 mm	1017899
1	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718
1	Multimetro digitale P1035	1002781
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311

BASI GENERALI

Anche un lavoro elettrico, anziché un lavoro meccanico, può aumentare l'energia interna di un sistema. Anche in questo caso la temperatura del sistema aumenta linearmente rispetto al lavoro eseguito, se lo stato di aggregazione non varia e non si innescano reazioni chimiche.

Nell'esperimento si esamina l'aumento dell'energia interna di un calorimetro in rame e di uno in alluminio tramite il lavoro elettrico. Quest'ultimo è proporzionale alla tensione U applicata rispetto alla corrente di attraversamento I e al tempo di misura t :

$$(1) \quad \Delta W_E(t) = U \cdot I \cdot t$$

Mediante il lavoro elettrico, la temperatura del calorimetro aumenta dal valore iniziale T_0 al valore finale T_n . Contemporaneamente l'energia interna aumenta quindi del valore

$$(2) \quad \Delta E(t) = m \cdot c \cdot (T(t) - T_0)$$

m : peso del calorimetro

c : capacità termica specifica del materiale

Al fine di evitare il più possibile uno scambio termico con l'ambiente, prima dell'inizio della misurazione il calorimetro viene raffreddato a una temperatura T_0 solo leggermente inferiore alla temperatura ambiente. La misurazione viene terminata non appena si raggiunge una temperatura finale T_n , superiore alla temperatura ambiente nella stessa misura.

Sotto queste condizioni, la variazione dell'energia interna corrisponde al lavoro eseguito e vale:

$$(3) \quad \Delta E(t) = \Delta W_E(t)$$

ANALISI

Per la misurazione della temperatura T si utilizza un sensore di temperatura NTC misurandone la resistenza, che è sensibile alla temperatura. Vale

$$T = \frac{217}{R^{0.13}} - 151$$

Le temperature così misurate vengono rappresentate in funzione del lavoro elettrico. Dalla pendenza lineare è possibile determinare le capacità termiche dei calorimetri e, se la massa è nota possono essere calcolate le capacità termiche specifiche.

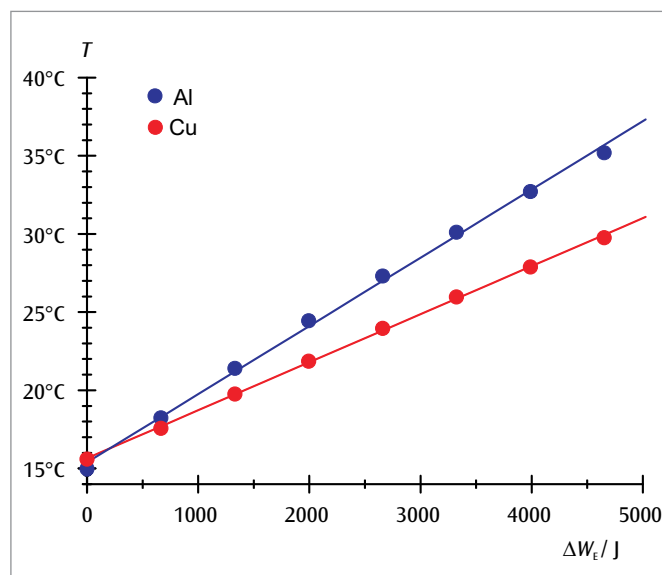


Fig. 1: Temperatura dei calorimetri in funzione del lavoro elettrico

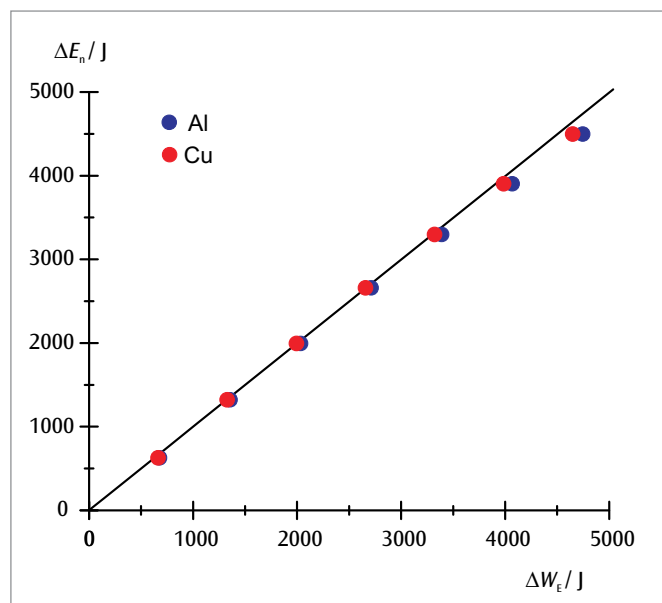


Fig. 2: Variazione dell'energia interna in funzione del lavoro elettrico eseguito

UE2040100 | LEGGE DI BOYLE-MARIOTTE



> FUNZIONI

- Misurazione punto per punto della pressione p dell'aria racchiusa a temperatura ambiente in funzione della posizione s del pistone.
- Rappresentazione dei valori misurati per tre diverse quantità di aria in un diagramma pV .
- Conferma della legge di Boyle-Mariotte.

SCOPO

Misurazione in aria a temperatura ambiente

RIASSUNTO

La validità della legge di Boyle-Mariotte per i gas ideali viene dimostrata a temperatura ambiente in aria. A tale scopo, il volume in un contenitore cilindrico viene modificato mediante lo spostamento di un pistone e contemporaneamente viene misurata la pressione dell'aria in esso racchiusa.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio di Boyle-Mariotte	1017366

BASI GENERALI

Il volume di una quantità di gas dipende dalla pressione a cui si trova il gas e dalla sua temperatura. A temperatura costante, spesso il prodotto del volume e della pressione è costante. Questa legge scoperta da **Robert Boyle** ed **Edme Mariotte** vale per qualsiasi gas allo stato ideale, vale a dire quando la temperatura del gas si trova molto al di sopra della cosiddetta temperatura critica.

La legge scoperta da Boyle e Mariotte

$$(1) \quad p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

è un caso speciale della legge generale dei gas valida per tutti i gas ideali, che descrive la relazione tra la pressione p , il volume V la temperatura T riferita al punto zero assoluto e il numero di moli n di un gas:

$$(2) \quad p \cdot V = \text{cost.}$$

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} : \text{Costante dei gas universale}$$

Dall'equazione (2) di validità generale è possibile derivare il caso speciale (1) supponendo che la temperatura T e il numero di moli contenute n non cambino.

Nell'esperimento si dimostra la validità della legge di Boyle-Mariotte a temperatura ambiente utilizzando l'aria come gas ideale. A tale scopo, il volume V all'interno di un contenitore cilindrico viene variato con lo spostamento di un pistone e contemporaneamente viene misurata la pressione p dell'aria in esso racchiusa. Il numero di moli contenuto n dipende dal volume iniziale V_0 nel quale, prima dell'inizio dell'esperimento, l'aria è penetrata dall'ambiente con la valvola aperta.

ANALISI

Poiché la sezione trasversale A del pistone è costante, il volume V dell'aria racchiusa è facilmente calcolabile dalla corsa di spostamento s del pistone. Per un'analisi accurata dei dati deve essere considerato anche l'inevitabile volume morto V_1 dell'aria nel manometro.

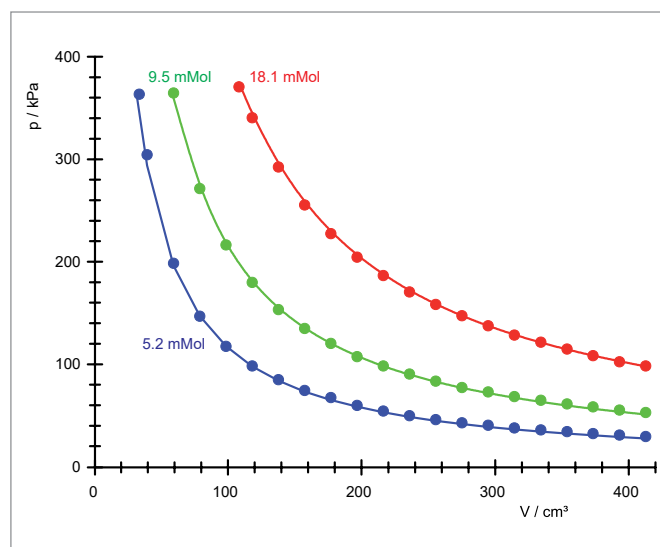


Fig. 1: Diagramma pressione-volume dell'aria a temperatura ambiente con tre diverse quantità di aria

UE2040120

LEGGE DI AMONTANS – VOLTA – GAY LUSSAC



> FUNZIONI

- Misurazione punto per punto della pressione p dell'aria racchiusa in funzione della temperatura T .
- Rappresentazione dei valori misurati in un diagramma $p-T$.
- Conferma della legge di Amontons.

SCOPO

Conferma del rapporto lineare fra la pressione e la temperatura di un gas ideale

RIASSUNTO

La validità della legge di Amontons (nota in Italia come seconda legge di Volta – Gay Lussac) per i gas ideali viene dimostrata sull'aria. Per tale dimostrazione si procede a riscaldare l'aria, che si trova in un volume chiuso all'interno di una sfera di metallo cava, mediante un bagno in acqua calda e al contempo vengono misurate la temperatura e la pressione.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Sfera di gas di Jolly	1012870
1	Agitatore magnetico con riscaldamento (230 V, 50/60 Hz)	1002807 o
	Agitatore magnetico con riscaldamento (115 V, 50/60 Hz)	1002806
1	Termometro tascabile digitale rapido	1002803
1	Sensore a immersione NiCr-Ni Tipo K, -65°C – 550°C	1002804
1	Set di 10 becher, forma bassa	1002872
1	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
1	Asta di supporto, 250 mm	1002933
1	Doppio manicotto	1002827
1	Morsetto universale	1002833

BASI GENERALI

Il volume di una quantità di gas dipende dalla pressione a cui si trova il gas e dalla sua temperatura. A volume e quantità di gas costanti, anche il quoziente tra pressione e temperatura è costante. Questa legge scoperta da *Guillaume Amontons* vale per i gas allo stato ideale, ovvero quando la temperatura del gas si trova molto al di sopra della cosiddetta temperatura critica.

La legge di Amontons

$$(1) \quad \frac{p}{T} = \text{cost.}$$

È un caso speciale della legge generale dei gas, valida per tutti i gas ideali, che descrive la relazione tra la pressione p , il volume V , la temperatura T riferita al punto zero assoluto e la quantità di sostanza n di un gas:

$$(2) \quad p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}: \text{costante dei gas universale}$$

Dall'equazione (2) di validità generale è possibile derivare il caso speciale (1) supponendo che il volume V e la quantità di sostanza n del sistema non varino.

Nell'esperimento si dimostra la validità della legge di Amontons utilizzando l'aria come gas ideale. A tale scopo, l'aria racchiusa nel volume fisso di una sfera di metallo cava viene riscaldata tramite un bagno in acqua calda. Contemporaneamente vengono misurate la temperatura ϑ in °C mediante un termometro digitale e la pressione p mediante un manometro collegato alla sfera cava.

ANALISI

Il rapporto lineare fra la pressione e la temperatura viene confermato dall'andamento di una linea retta

$$(3) \quad p = a \cdot \vartheta + b$$

fra i punti di misurazione. Mediante estrapolazione del valore della pressione p fino al valore 0 è possibile determinare lo zero assoluto:

$$(4) \quad \vartheta_0 = -\frac{b}{a} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

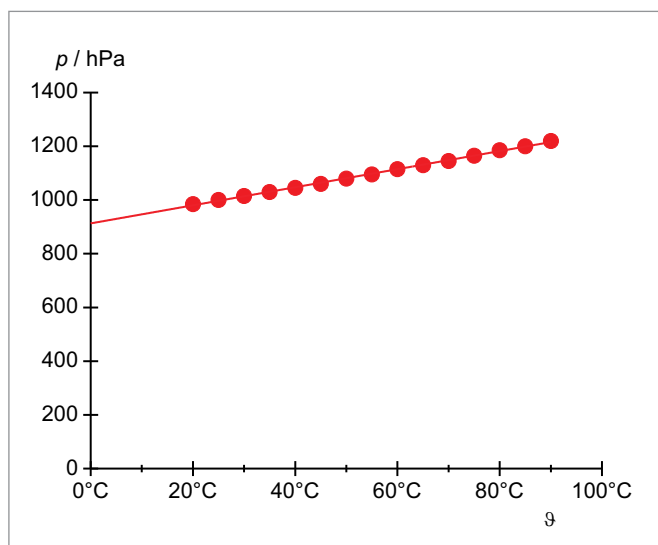


Fig. 1: Diagramma pressione-temperatura dell'aria a volume e quantità di sostanza costanti

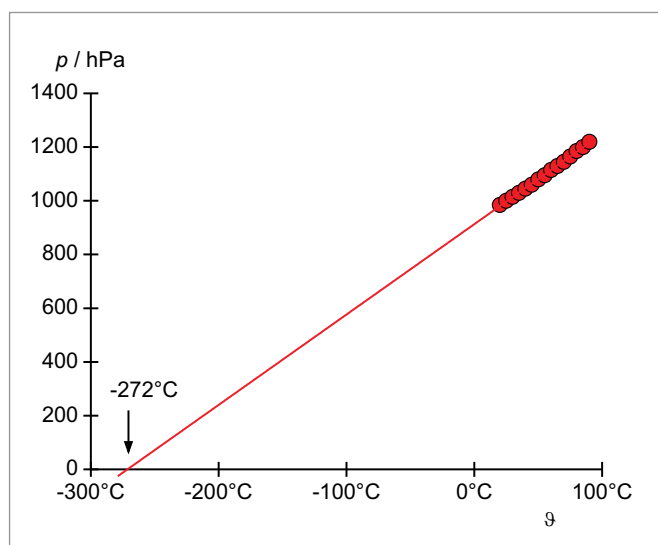


Fig. 2: Estrapolazione della pressione fino al valore $p = 0$

UE2040200 | L'ESPONENTE ADIABATICO DELL'ARIA



SCOPO

Determinazione dell'esponente adiabatico C_p/C_v dell'aria secondo Rüchardt

RIASSUNTO

Nell'esperimento, un cilindro di alluminio in un tubo di vetro di precisione, posto verticalmente su una bottiglia di vetro, esegue oscillazioni armoniche sul cuscino d'aria creato dal volume d'aria definito. Dal periodo di oscillazione del cilindro di alluminio è possibile calcolare l'esponente adiabatico.

> FUNZIONE

- Misurazione della durata di oscillazione del cilindro di alluminio.
- Determinazione della pressione di equilibrio nel volume d'aria racchiuso
- Determinazione dell'esponente adiabatico dell'aria e confronto con il valore di letteratura.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Bottiglia di Mariotte	1002894
1	Tubo per oscillazioni	1002895
1	Cronometro meccanico, 15 min	1003369
1	Pompa manuale per vuoto	1012856
Ulteriormente consigliato:		
1	Calibro a corsoio, 150 mm	1002601
1	Bilancia elettronica 220 g	1022627
1	Barometro	

BASI GENERALI

In una disposizione classica secondo Rüchardt, l'esponente adiabatico dell'aria si determina dalle oscillazioni verticali di un cilindro che poggia, all'interno di un tubo con sezione costante, su un volume d'aria, spingendolo verso l'alto. Una deviazione del cilindro dalla posizione di riposo crea una sovrappressione o una depressione nel volume dell'aria che riporta l'ampolla nella posizione di riposo. La forza repulsiva è proporzionale alla deviazione dalla posizione di riposo; il cilindro oscilla quindi armonicamente.

Poiché non ha luogo alcuno scambio termico con l'ambiente, le oscillazioni determinano un cambiamento di stato adiabatico nel volume di gas. Tra la pressione p e il volume V dell'aria racchiusa sussiste la relazione

$$(1) \quad p \cdot V^\gamma = \text{cost.}$$

L'esponente adiabatico γ è il rapporto delle capacità termiche specifiche a pressione costante C_p e a volume costante C_v :

$$(2) \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Da (1) risulta per le variazioni di pressione e volume Δp e ΔV

$$(3) \quad \Delta p + \gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot \Delta V = 0.$$

Inserendo la sezione trasversale interna A del tubo, è possibile calcolare dalla variazione di pressione la forza repulsiva ΔF e dalla variazione di volume la deviazione Δs del cilindro dalla posizione di riposo. Pertanto risulta

$$(4) \quad \Delta F = -\gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot A^2 \cdot \Delta s = 0.$$

e quindi come equazione del moto per il cilindro oscillante

$$(5) \quad m \cdot \frac{d^2 \Delta s}{dt^2} + \gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot A^2 \cdot \Delta s = 0$$

m : Peso del cilindro

Le soluzioni di questa classica equazione del moto di un oscillatore armonico sono oscillazioni con periodo

$$(6) \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{V}{p} \cdot \frac{m}{A^2}}$$

da cui si calcola il coefficiente adiabatico, conoscendo le restanti grandezze.

Nell'esperimento si posiziona un tubo di vetro di precisione con una sezione piccola A verticalmente nel tappo di gomma perforato di una bottiglia di vetro con un volume grande V e si fa scivolare nel tubo di vetro un idoneo cilindro di alluminio di peso noto m . Il cilindro di alluminio esegue oscillazioni armoniche sul cuscino d'aria creato dal volume d'aria racchiuso. Dal periodo di oscillazione del cilindro di alluminio è possibile calcolare l'esponente adiabatico.

ANALISI

Per la determinazione dell'esponente adiabatico segue da (6):

$$\gamma = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot \frac{m}{A^2} \cdot \frac{V}{p}$$

Il volume di equilibrio V corrisponde al volume della bottiglia di vetro in quanto il volume del tubo di vetro di precisione può essere trascurato.

La pressione di equilibrio p risulta dalla pressione dell'aria esterna p_0 e dalla pressione che il cilindro di alluminio a riposo esercita sull'aria racchiusa:

$$p = p_0 + \frac{m \cdot g}{A}, \quad g: \text{accelerazione di caduta}$$

Come risultato si attende il valore $\gamma = \frac{7}{5} = 1,4$, in quanto l'aria è composta fondamentalmente da molecole a due atomi con 5 gradi di libertà per l'assorbimento di energia termica.

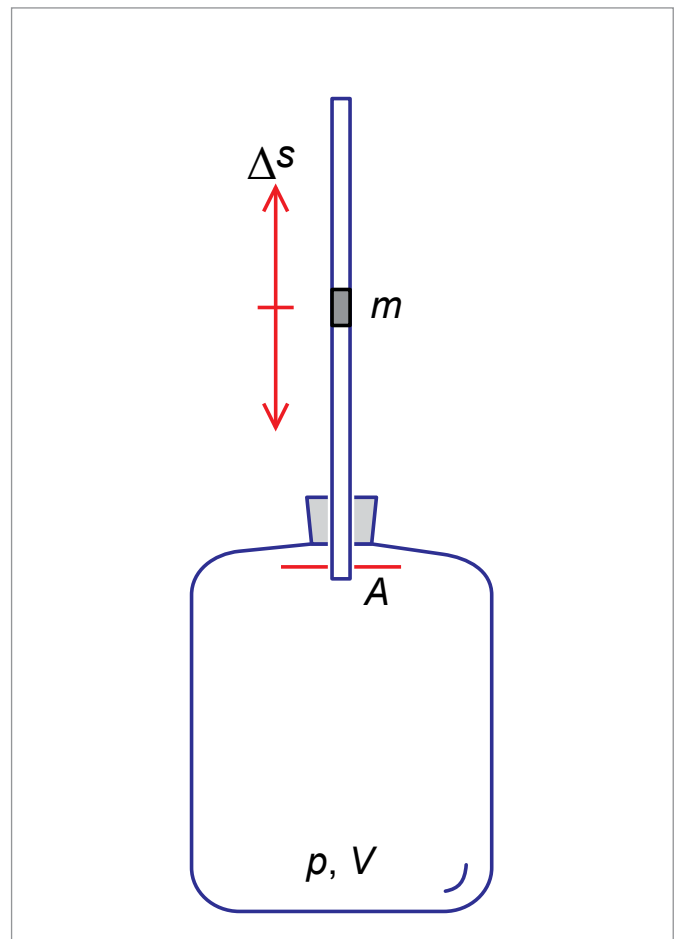


Fig. 1: Schema della preparazione sperimentale

UE2040300 | GAS REALE E PUNTO CRITICO



> FUNZIONI

- Osservazione dello stato liquido e gassoso dell'esafluoruro di zolfo.
- Registrazione delle isoterme nel diagramma p - V e nel diagramma p - V - p .
- Osservazione delle deviazioni dei gas reali dallo stato di gas ideale.
- Rappresentazione del punto critico.
- Registrazione delle curve di pressione del vapore saturo.

SCOPO

Analisi quantitativa di un gas reale e rappresentazione del punto critico

RIASSUNTO

In una cella di misura con volume morto minimo viene analizzato esafluoruro di zolfo (SF_6) come gas reale. L'esafluoruro di zolfo è particolarmente indicato in quanto la sua temperatura critica ($T_c = 319$ K) e la sua pressione critica ($p_c = 37,6$ bar) sono comparativamente basse. Inoltre, è atossico e può essere utilizzato senza problemi durante le lezioni e i corsi di training.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio per il punto critico	1002670
1	Termostato a circolazione/immersione (230 V;50/60 Hz)	1008654 o
	Termostato a circolazione/immersione (115 V; 50/60 Hz)"	1008653
1	Termometro tascabile digitale rapido	1002803
1	Sensore a immersione NiCr-Ni Tipo K, -65°C – 550°C	1002804
2	Tubo di silicone 6 mm	1002622

Ulteriormente necessario:

Esafluoruro di zolfo (SF_6)

NOTA

Secondo i principi di "buona pratica di laboratorio", l'allacciamento del gas mediante una tubazione rigida è consigliato soprattutto in caso di utilizzo regolare dell'apparecchio per il punto critico o dell'allacciamento del gas. Per l'allacciamento di una corrispondente bombola di gas può essere utilizzato il raccordo filettato per tubi 1/8" (SW 11) fornito.

BASI GENERALI

Il punto critico di un gas reale è caratterizzato dalla temperatura critica T_c , dalla pressione critica p_c e dalla densità critica ρ_c . Al di sotto della temperatura critica la sostanza è gassosa se presente in volume elevato, liquida se in piccolo volume. A valori intermedi è presente una miscela di liquido e gas, la cui componente gassosa, al cambiamento di stato isotermico, aumenta con l'aumentare del volume, mentre la pressione della miscela rimane costante. Poiché il liquido e il vapore hanno diversa densità, essi sono separati nel campo gravitazionale. Con l'aumento della temperatura, la densità del liquido diminuisce e quella del gas aumenta, finché entrambe le densità non raggiungono il valore della densità critica. Al di sopra della temperatura critica non si verifica più alcuna liquefazione. Tuttavia, al cambiamento di stato isotermico, il gas segue la legge di Boyle-Mariotte solo quando si trova decisamente al di sopra della temperatura critica.

L'esafluoruro di zolfo (SF_6) è particolarmente indicato per le analisi delle proprietà dei gas reali in quanto la sua temperatura critica ($T_c = 319\text{ K}$) e la sua pressione critica ($p_c = 37,6\text{ bar}$) sono comparativamente basse. Inoltre, è atossico e può essere utilizzato senza problemi durante le lezioni e i corsi di training.

L'apparecchio per esaminare il punto critico è costituito da una cella di misura trasparente particolarmente ermetica e resistente alla pressione.

Il volume nella cella di misurazione viene variato ruotando un volantino a regolazione fine, grazie al quale la variazione di volume può essere letta con una precisione pari a 1/1000 del volume massimo. La pressione viene creata da un sistema idraulico con olio di ricino di qualità idonea per applicazioni medicali. La cella di misura e il sistema idraulico sono separati da una guarnizione conica in gomma che si arrotola in caso di variazione del volume. Grazie a questa costruzione, la differenza di pressione tra la cella di misura e la camera dell'olio è praticamente irrilevante. Un manometro misura pertanto la pressione dell'olio invece della pressione del gas senza richiedere un volume morto nella spazio gassoso. La cella di misura è avvolta da una camera d'acqua trasparente. Durante la prova, tramite un dispositivo a termostato (bagno d'acqua) viene impostata una temperatura costante in modo molto preciso e la temperatura può essere letta e controllata da un termometro digitale.

L'osservazione delle transizioni dalla fase gassosa a quella liquida e viceversa consente quindi di esaminare, grazie al volume morto minimo, sia la formazione della prima goccia di liquido che la scomparsa dell'ultima bolla di gas.

ANALISI

La pressione viene misurata punto per punto a temperatura costante in funzione del volume e il risultato è rappresentato in diagramma pV (diagramma di Clapeyron) o in un diagramma $pV-p$ (diagramma di Amegat). Lo scostamento dallo stato di gas ideale è qui evidente.

La rappresentazione grafica consente di determinare facilmente i parametri del punto critico e rende accessibile una verifica sperimentale.

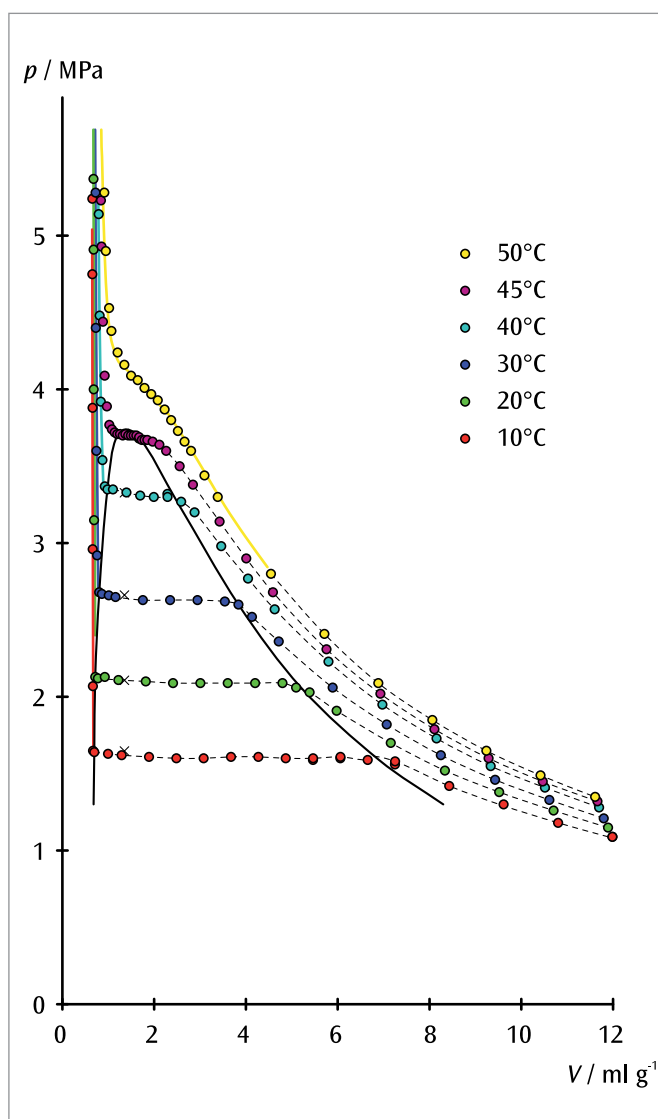
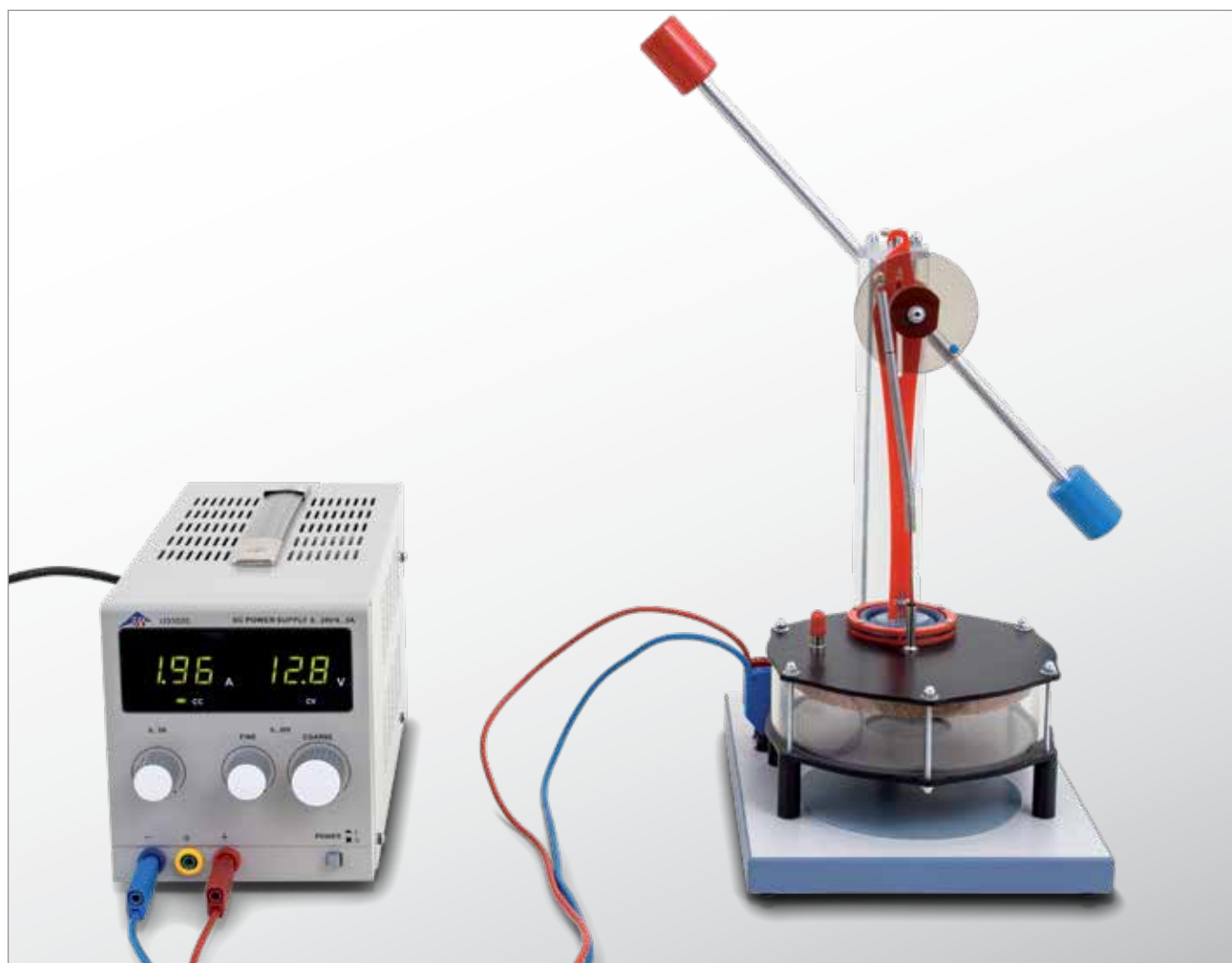


Fig. 1: Diagramma p - V dell'esafluoruro di zolfo

UE2060100 | MOTORE STIRLING D



> FUNZIONI

- Messa in funzione del motore ad aria calda come motore termico.
- Dimostrazione della trasformazione dell'energia termica in energia meccanica.
- Misurazione del regime minimo a seconda della potenza calorifica.

SCOPO

Osservazione di un modello funzionale di motore ad aria calda come motore termico

RIASSUNTO

Il motore ad aria calda è un classico esempio di motore termico. In un ciclo termodinamico, da un serbatoio ad alta temperatura viene alimentata energia termica che viene parzialmente trasformata in energia meccanica utilizzabile. Il resto dell'energia termica viene poi ceduto ad un serbatoio a bassa temperatura.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat n°
1	Motore Stirling D	1000817
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718
1	Cronometro meccanico, 15 min	1003369

BASI GENERALI

Il ciclo termodinamico del motore ad aria calda (*R. Stirling, 1816*) può essere suddiviso, a fini di semplificazione, nei processi di apporto del calore, espansione, cessione del calore e compressione. Questi processi sono illustrati schematicamente nella Fig. 1-4 per il modello funzionale analizzato.

Se il motore ad aria calda viene azionato senza carico meccanico, il motore gira ad un regime minimo che è limitato dall'attrito interno e che dipende dalla potenza calorifica apportata. Il regime diminuisce non appena la potenza meccanica viene eliminata. Questo può essere facilmente dimostrato esercitando una forza di attrito sull'albero a gomiti.

ANALISI

Apporto del calore:

Per l'apporto di calore, il pistone di compressione si sposta avanti e sposta l'aria verso il basso nell'area riscaldata del cilindro grande. In questa fase, il pistone di lavoro si trova nella posizione più bassa, in quanto il pistone di compressione precede il pistone di lavoro di 90°.

Espansione:

L'aria riscaldata si espande e sposta il pistone di lavoro verso l'alto. A questo proposito, il lavoro meccanico viene ceduto all'asta centrifuga tramite l'albero a gomiti.

Cessione del calore:

Mentre il pistone di lavoro si trova nel punto morto superiore, il pistone di compressione arretra e sposta l'aria nell'area superiore del grande cilindro per la cessione del calore all'ambiente.

Compressione:

L'aria raffreddata viene compressa dal pistone di lavoro che si sposta verso il basso. Il lavoro meccanico necessario a questo proposito viene svolto dall'asta centrifuga.

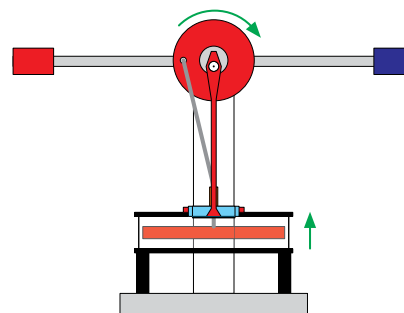


Fig. 1: Apporto del calore

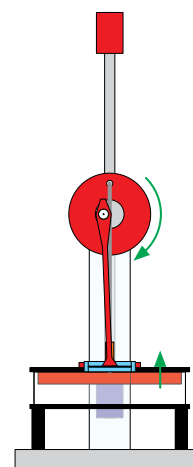


Fig. 2: Espansione

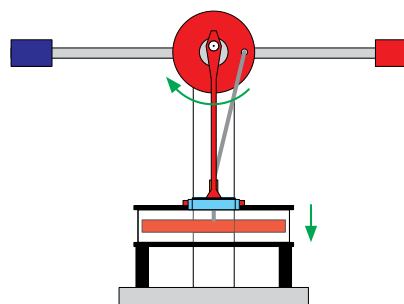


Fig. 3: Cessione del calore

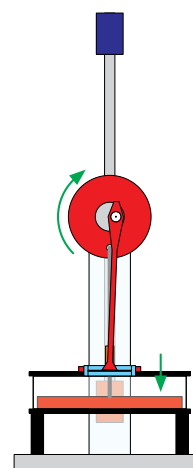
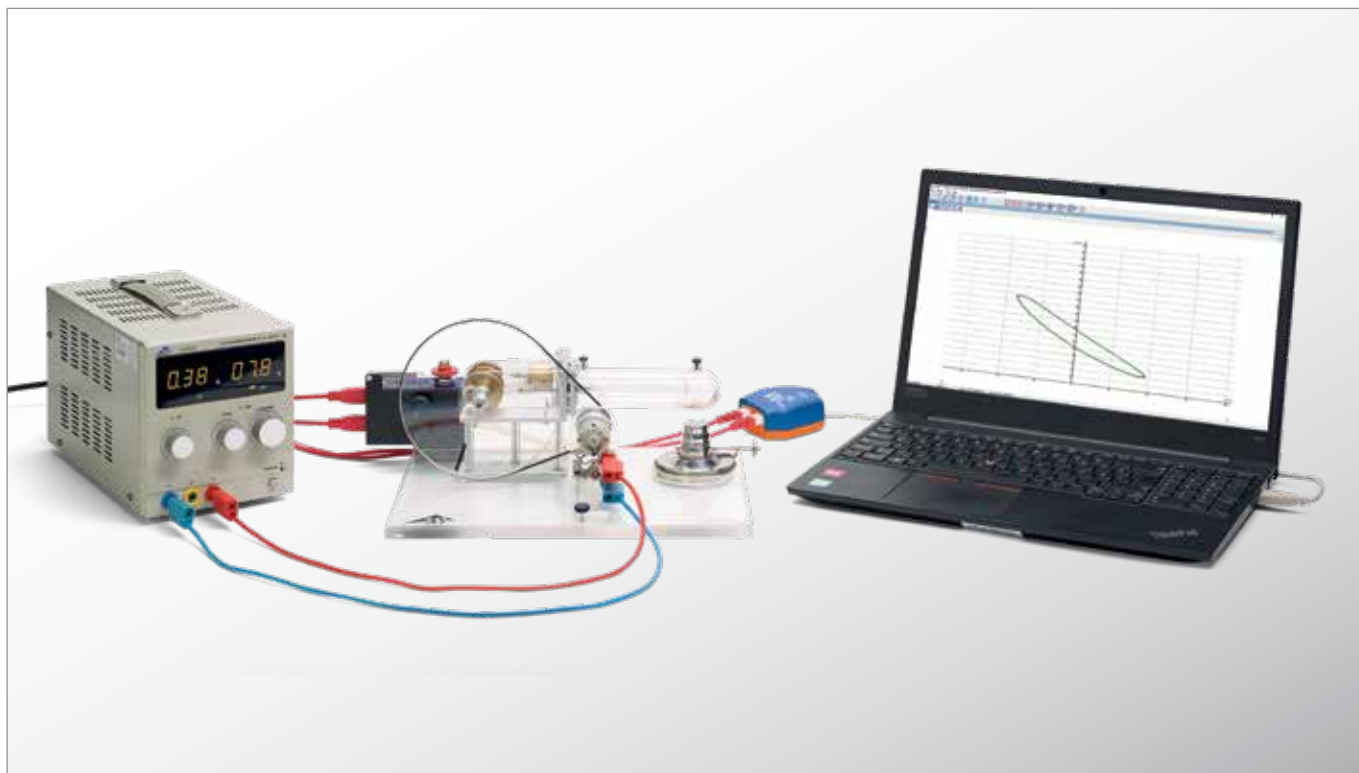


Fig. 4: Compressione

UE2060250 | MOTORE STIRLING G



> FUNZIONI

- Registrazione del diagramma p - V .
- Determinazione della potenza meccanica di un ciclo completo e calcolo del lavoro meccanico.

SCOPO

Registrazione del diagramma p - V

RIASSUNTO

I cicli termodinamici possono essere rappresentati con una curva chiusa in un diagramma p - V . L'area racchiusa dalla curva corrisponde al lavoro meccanico svolto dal sistema sull'ambiente. In alternativa è possibile anche determinare la potenza meccanica di un ciclo completo e calcolarne il lavoro meccanico tramite l'integrazione temporale. Ciò viene in questo esperimento basato su un motore Stirling.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Motore Stirling G	1002594
1	Portasensori per motore Stirling G	1008500
1	Rilevatore di corsa FW	1021534
1	Sensore di pressione relativa FW ± 1000 hPa	1021533
2	Cavo del sensore	1021514
1	WiLab*	1022284
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718

Ulteriormente necessario:

1	Coach 7 Licenza
---	-----------------

* Alternativa: 1 VinciLab 1021477

BASI GENERALI

I cicli termodinamici possono essere rappresentati con una curva chiusa in un diagramma p - V . L'area racchiusa dalla curva corrisponde al lavoro meccanico W svolto dal sistema sull'ambiente. In alternativa è possibile anche determinare la potenza meccanica P di un ciclo completo e calcolarne il lavoro meccanico tramite l'integrazione temporale.

Vale quindi

$$(1) \quad W = \oint_V p dV$$

oppure

$$(2) \quad W = \int_{t_1}^{t_2} P dt \quad \text{con} \quad P(t) = p \frac{dV}{dt}$$

Nell'esperimento viene utilizzata la seconda variante per determinare il lavoro meccanico che un motore Stirling in vetro ottimizzato per scopi didattici svolge per giro. Per rilevare la pressione p nel cilindro di lavoro è stato collegato un sensore di pressione relativa che rileva la differenza di pressione rispetto all'ambiente. Il volume V viene calcolato dal tratto percorso s del pistone di lavoro e dalla corrispondente sezione trasversale A . Il pistone di lavoro è collegato a tale scopo ad un rilevatore di corsa.

ANALISI

Per verificare il ciclo, i valori misurati vengono rappresentati in un diagramma p - V ; per determinare la potenza meccanica anche in un secondo diagramma come funzione del tempo. Nel secondo diagramma, i cicli del processo sono facili da identificare. Ciò è importante per la scelta dei limiti di integrazione per il calcolo del lavoro meccanico per ciclo, vedere (2).



Fig. 1: Diagramma p - V del motore Stirling G

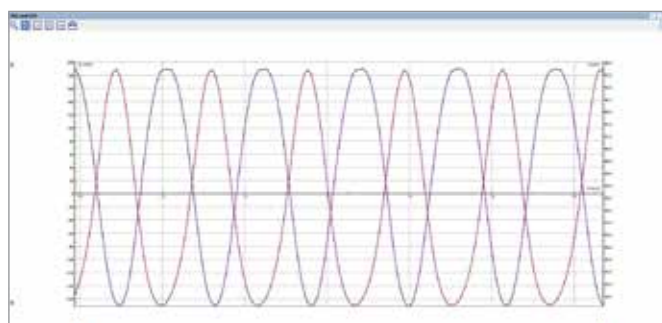


Fig. 2: Diagramma $V(t)$ e $p(t)$ del motore Stirling G

UE2060300 | POMPA DI CALORE



SCOPO

Registrazione e analisi del diagramma pressione-entalpia di una pompa di calore a compressione

> FUNZIONI

- Dimostrazione del funzionamento di una pompa di calore elettrica a compressione.
- Analisi quantitativa del corrispondente ciclo.
- Registrazione e analisi del diagramma pressione-entalpia.

RIASSUNTO

Una pompa di calore elettrica a compressione è costituita da un compressore con motore di azionamento, un condensatore, una valvola di espansione e un evaporatore. Il suo funzionamento si basa su un ciclo con transizione di fase che fa passare il mezzo di lavoro nella pompa e che, idealmente, può essere suddiviso nelle seguenti quattro fasi: compressione, condensazione, espansione con strozzamento ed evaporazione. L'efficienza teorica del ciclo idealizzato si calcola dalle entalpie specifiche rilevate nel diagramma di Mollier h_1 , h_2 e h_3 . Se sono state determinate le entalpie h_2 e h_3 del ciclo idealizzato, nonché la quantità di acqua condotta ΔQ_2 al serbatoio di acqua calda per intervallo di tempo Δt , è possibile valutare la corrente di massa del mezzo di lavoro.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Pompa di calore D (230 V, 50/60 Hz)	1000820 o
	Pompa di calore D (115 V, 50/60 Hz)	1000819
4	Sensore di temperatura NTC a morsetto	1021797
1	VinciLab	1021477
Ulteriormente necessario:		
1	Coach 7 Licenza	

BASI GENERALI

Una pompa di calore elettrica a compressione è costituita da un compressore con motore di azionamento, un condensatore, una valvola di espansione e un evaporatore. Il suo funzionamento si basa su un ciclo con transizione di fase che fa passare il mezzo di lavoro nella pompa e che, idealmente, può essere suddiviso nelle seguenti quattro fasi: compressione, condensazione, espansione con strozzamento ed evaporazione.

Per la compressione, il mezzo di lavoro gassoso viene aspirato dal compressore, compresso senza variazione di entropia ($s_1 = s_2$) da p_1 a p_2 e surriscaldato, vedere Fig. 1 e Fig. 2. La tempe-

ratura sale pertanto da T_1 a T_2 . Per unità di massa si compie il lavoro meccanico di compressione $\Delta w = h_2 - h_1$.

Nel condensatore, il mezzo di lavoro si raffredda e condensa. Il calore liberato (somma di quello dovuto alla variazione di temperatura e del calore di condensazione) è pari per unità di massa a $\Delta q_2 = h_2 - h_3$.

Riscalda il serbatoio circostante.

Il mezzo condensato giunge alla valvola di espansione dove, mediante strozzamento (cioè senza lavoro meccanico), si ritrova in un ambiente con pressione inferiore e si espande. Anche la temperatura diminuisce poiché è necessario compiere un certo lavoro contro le forze molecolari di attrazione presenti nel mezzo (effetto Joule-Thomson). L'entalpia resta costante ($h_4 = h_3$).

Nell'evaporatore, con l'assorbimento di calore, il mezzo di lavoro evapora completamente. Ciò causa il raffreddamento del serbatoio circostante. Per unità di massa, il calore assorbito è pari a $\Delta q_1 = h_1 - h_4$. Per rappresentare il ciclo di una pompa di calore a compressione si utilizza spesso il diagramma di Mollier del mezzo di lavoro. Vi è riportata la pressione p raffrontata all'entalpia specifica h del mezzo di lavoro (l'entalpia è una misura che esprime il contenuto termico del mezzo, in genere aumenta all'aumentare della pressione e della percentuale di gas).

Sono indicate le isoterme ($T = \text{cost.}$) e le isoentropiche ($S = \text{cost.}$), così come la percentuale relativa di massa della fase liquida del mezzo di lavoro. A sinistra della cosiddetta linea di ebollizione, il mezzo di lavoro è completamente condensato. A destra della cosiddetta linea di condensazione, il mezzo di lavoro è presente sotto forma di vapore surriscaldato e, fra le due linee, in forma di miscela liquido-gas. Le due linee si toccano nel punto critico.

Per la rappresentazione nel diagramma di Mollier, il ciclo idealizzato sopra descritto può essere determinato misurando le pressioni p_1 e p_2 dietro e davanti la valvola di espansione e la temperatura T_1 davanti al compressore e T_3 davanti alla valvola di espansione.

Nell'esperimento, i componenti sono montati su una pedana e collegati mediante un tubo di rame a formare un sistema chiuso. La disposizione razionale consente una lettura immediata del ciclo termodinamico della pompa di calore. L'evaporatore e il condensatore sono tubi di rame a spirale immersi in due diversi contenitori riempiti con acqua che fungono da serbatoi per la determinazione del calore assorbito o rilasciato. Due grandi manometri indicano i rapporti di pressione del refrigerante nei due scambiatori di calore. Due termometri analogici consentono la misurazione della temperatura nei due contenitori. Per la misurazione delle temperature nei tubi di rame davanti al compressore e alla valvola di espansione vengono impiegati sensori di temperatura con morsetto di misurazione adeguato.

L'efficienza teorica del ciclo idealizzato si calcola dalle entalpie rilevate nel diagramma di Mollier h_1 , h_2 e h_3 :

$$(1) \quad \eta_{th} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Una volta determinate le entalpie h_2 e h_3 del ciclo idealizzato, nonché la quantità di acqua condotta ΔQ_2 al serbatoio di acqua calda per intervallo di tempo Δt , è possibile valutare la corrente di massa del mezzo di lavoro.

$$(2) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

ANALISI

T_1 e p_1 determinano il punto 1 nel diagramma di Mollier. Il punto d'intersezione delle isoentropiche con l'orizzontale $p_2 = \text{cost.}$ determina il Punto 2. Il punto d'intersezione dell'orizzontale con la linea di ebollizione determina il Punto 3 e la perpendicolare sull'orizzontale $p_4 = \text{cost.}$ il Punto 4.

La misurazione supplementare della temperatura T_3 fornisce una panoramica allargata dei processi in corso nella pompa di calore: T_3 non coincide con la temperatura rilevata sulla scala termica del manometro corrispondente. Tale scala termica è basata sulla curva della pressione di vapore del mezzo di lavoro. Dalla misurazione emerge dunque che il mezzo di lavoro davanti alla valvola di espansione non è una miscela di liquido e gas, bensì è completamente liquido.

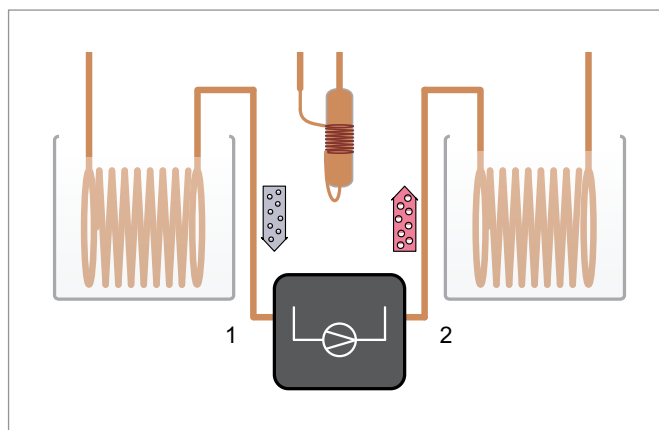


Fig. 1: Rappresentazione schematica della pompa di calore con compressore (1, 2), condensatore (2, 3), valvola di espansione (3, 4) ed evaporatore (4, 1)

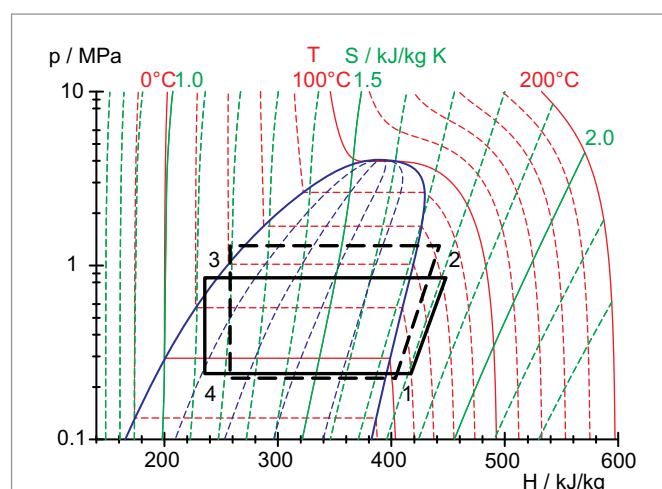


Fig. 2: Rappresentazione del ciclo idealizzato della pompa di calore nel diagramma di Mollier

UE3010700 | CAMPO ELETTRICO NEL CONDENSATORE A PIASTRE



> FUNZIONI

- Misurazione del campo elettrico in un condensatore a piastre in funzione della distanza tra le piastre.
- Misurazione del campo elettrico in un condensatore a piastre in funzione della tensione applicata.

SCOPO

Misurazione del campo elettrico in un condensatore a piastre con il misuratore di campo elettrico

RIASSUNTO

Con il misuratore di campo elettrico è possibile misurare direttamente il campo elettrico in un condensatore a piastre. A tale scopo, una ruota ad alette rotante interrompe il flusso elettrico su una piastra elettrostatica facente parte di un condensatore a piastre. Gli impulsi di tensione così generati vengono amplificati e raddrizzati in una tensione di uscita proporzionale al campo elettrico E che agisce sulla piastra elettrostatica.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Misuratore di campo elettrico (230 V, 50/60 Hz)	1021405 o
	Misuratore di campo elettrico (230 V, 50/60 Hz)	1021406
1	Alimentatore CC 450 V (230 V, 50/60 Hz)	1008535 o
	Alimentatore CC 450 V (115 V, 50/60 Hz)	1008534
1	Multimetro digitale E	1018832
1	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Con il misuratore di campo elettrico è possibile misurare direttamente i campi elettrici: Davanti a una piastra elettrostatica con quattro settori a stella ruota una ruota ad alette della medesima forma che interrompe costantemente il flusso elettrico e quindi provoca periodicamente cariche elettrostatiche che si scaricano attraverso una resistenza ad alto valore ohmico. Gli impulsi di tensione così generati vengono amplificati e raddrizzati in una tensione di uscita proporzionale al campo elettrico E che agisce sulla piastra elettrostatica.

Nell'esperimento viene misurata l'intensità di campo elettrico

$$(1) \quad E = \frac{U}{d}$$

in un condensatore a piastre con il misuratore di campo elettrico. A tale scopo vengono modificate, da un lato, la tensione applicata U , e dall'altro la distanza tra le piastre d .

ANALISI

Nell'applicazione dell'equazione occorre tenere conto che la piastra elettrostatica è spostata di ca. 1 mm verso il basso rispetto alla piastra inferiore del condensatore. L'equazione 1 deve pertanto essere sostituita dall'equazione

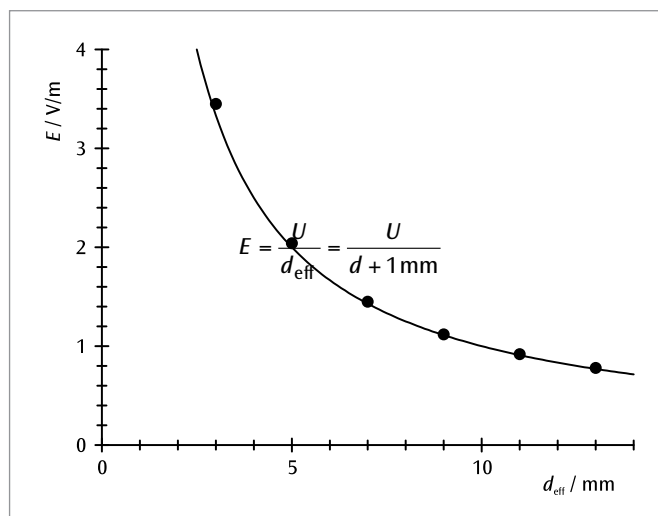


Fig. 1: Campo elettrico nel condensatore a piastre in funzione della distanza effettiva tra le piastre

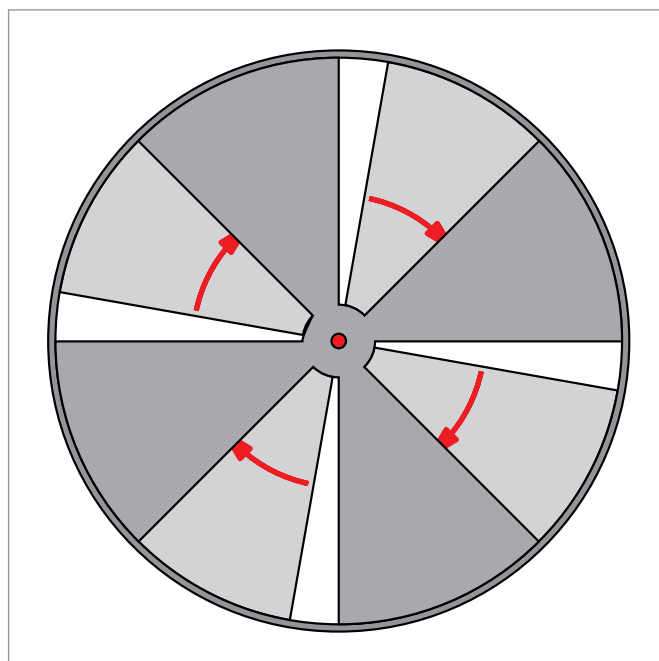


Fig. 2: Ruota ad alette rotante di misuratore di campo elettrico

UE3010800

TENSIONE SUL CONDENSATORE A PIASTRE



> FUNZIONI

- Misurazione statica della tensione su un condensatore a piastre in funzione della distanza tra le piastre.
- Conferma della proporzionalità tra la tensione e la distanza tra le piastre in caso di brevi distanze tra le piastre.

SCOPO

Misurazione statica della tensione in funzione della distanza tra le piastre

RIASSUNTO

Per aumentare la distanza tra le piastre cariche e separate da qualsiasi tipo di alimentazione di un condensatore a piastre occorre eseguire un lavoro meccanico. Questo può essere facilmente dimostrato come un aumento della tensione tra le piastre effettuando la misurazione con un voltmetro statico.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Misuratore di campo elettrico (230 V, 50/60 Hz)	1021405 o
	Misuratore di campo elettrico (230 V, 50/60 Hz)	1021406
1	Condensatore a piastre D	1006798
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 2,5 mm ²	1002841

BASI GENERALI

Le piastre cariche di un condensatore a piastre esercitano una forza di attrazione l'una sull'altra. Per aumentare la distanza tra le piastre di un condensatore carico e separato da qualsiasi alimentazione è pertanto necessario eseguire un lavoro meccanico. L'energia in tal modo fornita al condensatore può essere dimostrata come un aumento della tensione tra le piastre, purché sia garantito che durante la misurazione della tensione non possa fluire alcuna corrente tra le piastre.

Per una descrizione più accurata delle correlazioni viene considerato il campo elettrico omogeneo E tra le piastre del condensatore che portano le cariche Q e $-Q$. Vale

$$(1) \quad E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A}$$

A: Superficie piastre,

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}} \quad \text{: Costante dielettrica del vuoto}$$

Nel caso in cui con la variazione della distanza tra le piastre d non possa fluire alcuna corrente, la carica Q e pertanto anche il campo elettrico E restano invariati.

In caso di distanze brevi, in presenza delle quali il campo elettrico può essere considerato omogeneo, per la tensione U sul condensatore e il campo elettrico E vale

$$(2) \quad U = E \cdot d$$

d : Distanza piastre

vale a dire, la tensione U è proporzionale alla distanza tra le piastre d . Nell'esperimento questo viene verificato con il misuratore di campo elettrico utilizzato come voltmetro statico. In tal modo si garantisce che attraverso il voltmetro non possa fluire alcuna corrente tra le piastre del condensatore e che sia mantenuta la carica Q sulle piastre del condensatore.

ANALISI

Dall'equazione 2 ci si attende nel diagramma $U(d)$ una retta di origine attraverso i punti di misurazione, il cui incremento corrisponde al campo elettrico costante E . Eventuali scostamenti sono da ricondurre al fatto che con una distanza tra le piastre crescente l'omogeneità del campo elettrico non è più garantita.

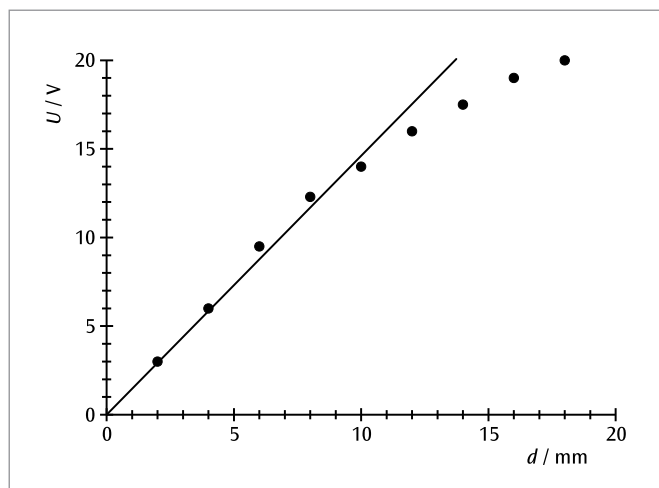


Fig. 1: Tensione U sul condensatore a piastre in funzione della distanza tra le piastre d

UE3020100 | GOCCE D'ACQUA CARICHE



SCOPO

Dimostrazione della corrente elettrica che viene creata da gocce d'acqua in movimento e caricate

RIASSUNTO

Una corrente elettrica è formata da cariche che si spostano in un intervallo di tempo. Un flusso di corrente può essere rappresentato facilmente facendo ricorso a gocce d'acqua cariche. Per la misurazione sono usate una buretta e una tazza di Faraday, che viene collegata ad un elettrometro. La carica che si accumula nella tazza di Faraday in un determinato intervallo viene misurata tramite la tensione elettrica, che si accumula in un condensatore. In questo modo si determinano la carica per ogni goccia e la corrente.

> FUNZIONI

- Misurazione della carica che tramite le gocce d'acqua cariche viene trasportata in un dato intervallo di tempo da una buretta ad una tazza di Faraday.
- Determinazione della corrente elettrica che viene creata da gocce d'acqua cariche in movimento.
- Determinazione della carica per ogni goccia.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Elettrometro (230 V, 50/60 Hz)	1001025 o
	Elettrometro (115 V, 50/60 Hz)	1001024
1	Accessorio per elettrometro	1006813
1	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Buretta, 10 ml	1018065
1	Filo di costantana 0,2 mm / 100 m	1000955
1	Alimentatore CC 450 V (230 V, 50/60 Hz)	1008535 o
	Alimentatore CC 450 V (115 V, 50/60 Hz)	1008534
1	Multimetro digitale P3340	1002785
1	Cronometro digitale	1002811
1	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
1	Asta di supporto, 1000 mm	1002936
2	Manicotto universale	1002830
1	Morsetto universale	1002833
1	Set di 10 morsetti a pinza 4 mm, non isolato	1019219
1	Set di 3 cavi di sicurezza per esperimenti con apparecchio di caduta libera	1002848
2	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718
1	Palla di Peleo, standard	1013392
1	Set di 10 becher, forma bassa	1002872
Ulteriormente consigliato:		
1	WiLab*	1022284
1	Sensore di tensione 10 V, differenziale	1022539
1	Cavo del sensore	1021514
1	Coach 7 Licenza	

* Alternativa: 1 VinciLab 1021477

BASI GENERALI

Una corrente elettrica è formata dalla quantità di carica trasportata in un intervallo di tempo. Un flusso di corrente può essere rappresentato facilmente facendo ricorso a gocce d'acqua cariche.

Nell'esperimento un numero N di gocce cariche passa con una velocità approssimativa di una goccia al secondo da una buretta in una tazza di Faraday, la quale è collegata ad un elettrometro con condensatore. Tramite la carica Q accumulata nella tazza di Faraday viene caricato il condensatore e la tensione elettrica in aumento sul condensatore viene osservata e misurata con un multimetro analogico per un determinato intervallo di tempo t . L'ingresso ad alto valore ohmico dell'amplificatore operazionale nell'elettrometro garantisce che il condensatore non si scarichi.

L'osservazione del multimetro analogico indica che la tensione attraverso il condensatore aumenta dello stesso valore per ogni goccia d'acqua carica che giunge nella tazza di Faraday, vale a dire che ogni goccia d'acqua porta sempre la stessa carica

$$(1) \quad q = \frac{Q}{N}$$

La corrente trasportata è

$$(2) \quad I = \frac{Q}{t}$$

In alternativa, la tensione sul condensatore può essere registrata tramite un'interfaccia e un sensore di tensione in funzione del tempo t e visualizzata sotto forma di diagramma.

ANALISI

La carica accumulata nella tazza di Faraday Q viene determinata mentre si legge la tensione U e si calcola Q :

$$Q = C \cdot U \text{ con } C = 1 \text{ nF: capacità del condensatore}$$

Con l'aiuto di un'interfaccia, è possibile misurare il percorso temporale $Q(t)$. È del tipo a scalino: i singoli scalini contrassegnano la carica q che giunge con ogni singola goccia per ogni intervallo di tempo Δt . Il fatto che ogni goccia d'acqua porti all'incirca la stessa carica è qui dimostrato dall'altezza costante degli scalini.

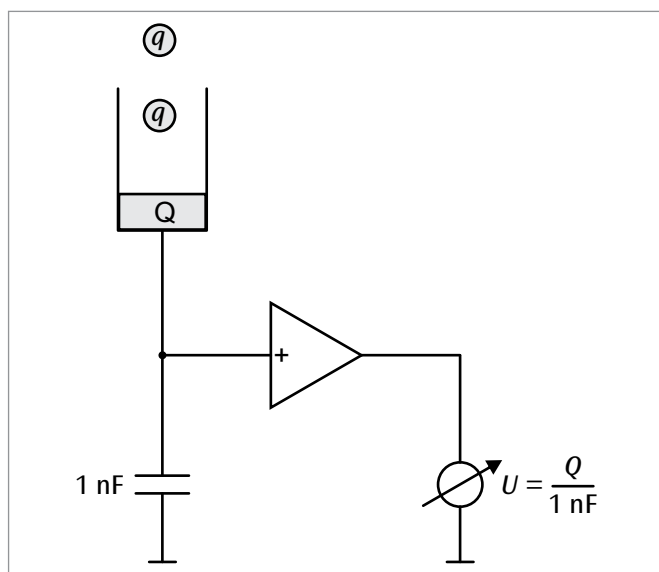


Fig. 1: Rappresentazione schematica della spiegazione del principio di misurazione

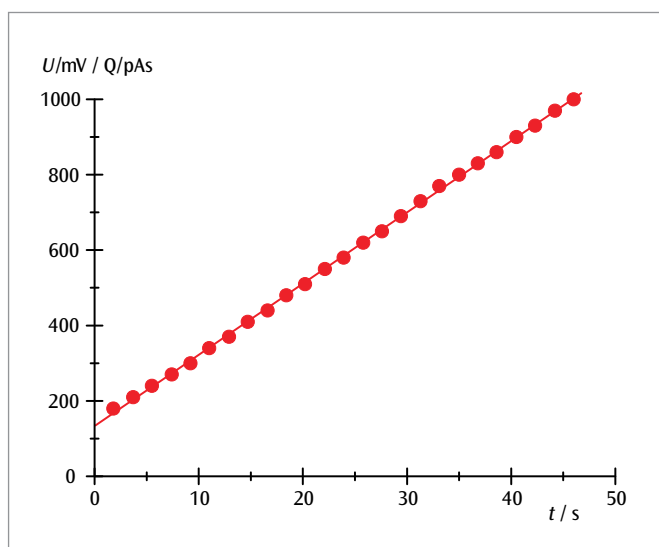


Fig. 2: Carica accumulata Q in funzione del tempo t

UE3020200 | CONDUZIONE ELETTRICA



> FUNZIONI

- Misurazione della caduta di tensione U in funzione della distanza d tra i punti di contatto con corrente fissa I .
- Misurazione della caduta di tensione U in funzione della corrente I con distanza fissa d tra i punti di contatto.
- Determinazione della conduttività elettrica di rame e alluminio e raffronto con i valori della letteratura.

SCOPO

Determinazione della conduttività elettrica di rame e alluminio

RIASSUNTO

La conduttività elettrica è una grandezza fortemente dipendente dal materiale. Essa è definita come fattore di proporzionalità tra la densità di corrente e il campo elettrico nel materiale analizzato.

Nell'esperienza viene determinata in una misurazione con quattro conduttori di corrente e tensione su aste metalliche con sezioni e lunghezze note.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Asta conduttiva termica Al	1017331
1	Asta conduttiva termica Cu	1017330
1	Alimentatore CC 1-32 V, 0 – 20 A (230 V, 50/60 Hz)	1012857 o
	Alimentatore DC 1-30 V, 0 – 20 A (115 V, 50/60 Hz)	1022289
1	Amplificatore di misura U (230 V, 50/60 Hz)	1020742 o
	Amplificatore di misura U (115 V, 50/60 Hz)	1020744
2	Multimetro digitale E	1018832
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 2,5 mm ²	1002841

BASI GENERALI

La conduttività elettrica è una grandezza fortemente dipendente dal materiale. Essa è definita come fattore di proporzionalità tra la densità di corrente e il campo elettrico nel materiale analizzato. Nei metalli è determinata dalla densità numerica e dalla mobilità degli elettroni nella banda di conduzione e dipende dalla temperatura.

Dal rapporto

$$(1) \quad j = \sigma \cdot E$$

j : densità di corrente, E : campo elettrico

deriva per un conduttore metallico lungo con sezione A e lunghezza d una relazione tra la corrente I attraverso il conduttore e la tensione U lungo il percorso d :

$$(2) \quad I = j \cdot A = A \cdot \sigma \cdot \frac{U}{d}$$

Questa relazione viene usata nell'esperimento per determinare la conduttività delle aste metalliche in una misura su quattro conduttori. Per questo viene applicata su due alimentazioni la corrente I e misurata la caduta di tensione U derivante tra due punti di contatto ad una distanza d . Poiché è nota la sezione A è possibile calcolare σ . Nell'esperimento sono state utilizzate le stesse aste metalliche, su cui è stata analizzata la conducibilità termica nell'esperimento UE2020100. Utilizzando due punte di misura è stata misurata la caduta di tensione tra i punti di misura, che possono essere anche usati per la misurazione della temperatura lungo le aste.

NOTA

Tramite un raffronto dei valori misurati con i valori ottenuti nell'esperimento UE2020100 per la conduttività termica si conferma la legge di Wiedemann-Franz. Essa descrive la proporzionalità della conduttività termica e elettrica dei metalli mediante un fattore di proporzionalità universale in funzione della temperatura.

ANALISI

I valori misurati con corrente fissa I sono stati rappresentati in un diagramma $U-d$. Le tensioni di contatto tra i punti di misura e l'asta metallica si notano anche per lo spostamento delle linee rette dall'origine. La pendenza delle rette che si delinea è conforme a (2)

$$\alpha = \frac{I}{A \cdot \sigma}$$

Poiché I e A sono noti, è possibile calcolare la conduttività:

$$\sigma = \frac{I}{A \cdot \alpha}$$

Nei diagrammi $U-I$ la pendenza è

$$\beta = \frac{d}{A \cdot \sigma}$$

e quindi

$$\sigma = \frac{d}{A \cdot \beta}$$

Un raffronto con i valori della letteratura per il rame puro e l'alluminio mostra che le aste metalliche utilizzate non sono costituite da materiale puro, ma da leghe di rame e alluminio.

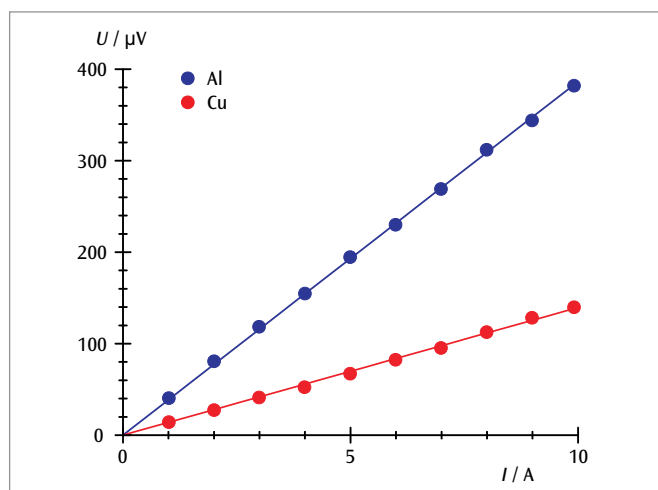


Fig. 1: Diagramma $U-I$ per il rame e l'alluminio

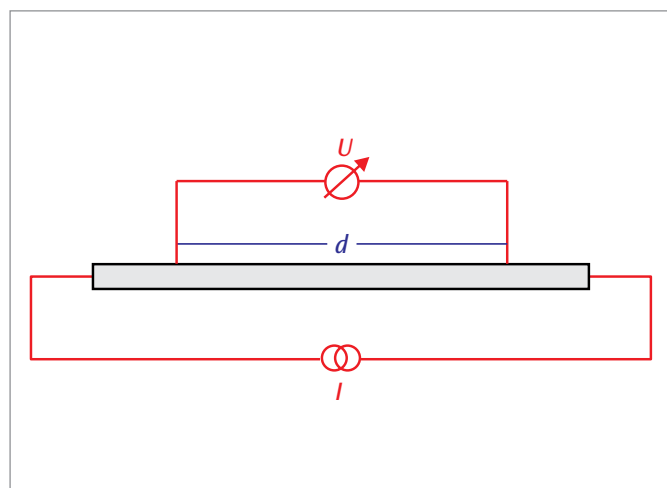


Fig. 3: Rappresentazione schematica della misurazione su quattro conduttori

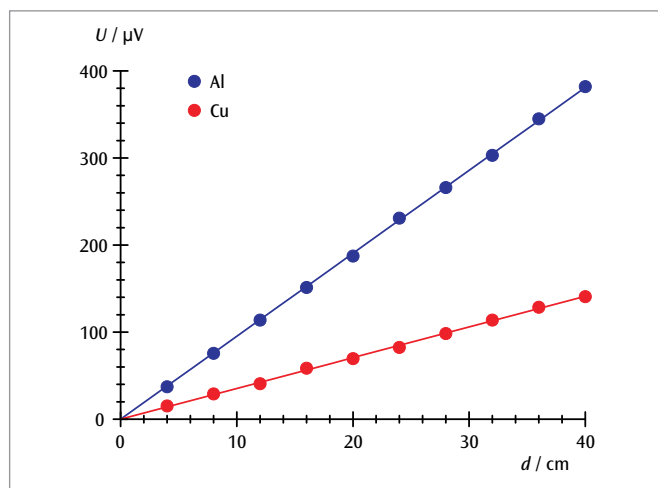
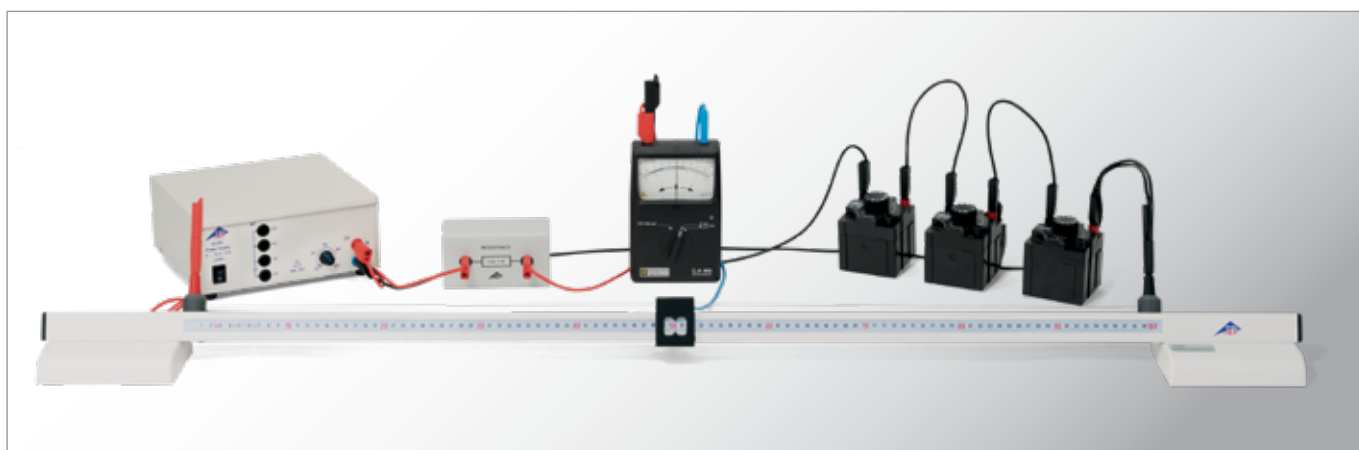


Fig. 2: Diagramma $U-d$ per il rame e l'alluminio

UE3020300 | IL PONTE DI WHEATSTONE



> FUNZIONI

- Determinazione di resistenze ohmiche in un ponte di Wheatstone.
- Valutazione della precisione di misura.

SCOPO

Determinazione di resistenze ohmiche

RIASSUNTO

Le resistenze ohmiche vengono determinate in un collegamento in parallelo di due divisori di tensione collegati alla stessa sorgente di tensione continua. Il primo divisore di tensione è costituito dalla resistenza da misurare e dalla resistenza di riferimento, il secondo da un filo per resistenze di 1 m che viene diviso in due parti da un contatto strisciante. Il loro rapporto viene modificato finché la corrente trasversale I tra i due divisori di tensione è portata a zero.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Ponte di resistenze	1009885
1	Alimentatore AC/DC 0-12V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1021091 o
	Alimentatore AC/DC 0-12V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1021092
1	Galvanometro zero CA 403	1002726
1	Decade di resistenze 100 Ω	1002732
1	Decade di resistenze 1 k Ω	1002733
1	Decade di resistenze 10 k Ω	1002734
1	Resistenze di precisione 100 Ω	1009886
1	Resistenze di precisione 1 k Ω	1009887
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Le resistenze ohmiche si determinano in maniera classica con il ponte di misura/bilanciamento che ha preso il nome da *Ch. Wheatstone* mediante il confronto con una resistenza di riferimento. A tale scopo si realizza un collegamento in parallelo di due divisori di tensione, collegati alla stessa sorgente di tensione continua. Il primo divisore di tensione è costituito dalla resistenza R_x da misurare e dalla resistenza di riferimento R_{ref} , il secondo invece dalle resistenze R_1 e R_2 , la cui somma durante il bilanciamento rimane inalterata (vedi fig. 1).

Il rapporto tra le resistenze R_1 e R_2 e, se necessario, anche la resistenza di riferimento R_{ref} vengono modificati finché la corrente trasversale I è portata a zero. Questo avviene esattamente quando i rapporti tra le resistenze di entrambi i divisori di tensione sono uguali. Da questa condizione di bilanciamento si ottiene la resistenza sconosciuta R_x

$$(1) \quad R_x = R_{ref} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

La precisione del risultato dipende dalla precisione della resistenza di riferimento R_{ref} e del rapporto tra le resistenze R_1/R_2 , nonché dalla sensibilità del galvanometro zero.

Nell'esperimento, il secondo divisore di tensione è costituito da un filo per resistenze di 1 m che viene diviso da un contatto strisciante in due parti dalla lunghezza s_1 e s_2 . Essendo la somma $R_1 + R_2$ costante, la resistenza di riferimento viene scelta possibilmente in modo tale che le due parti presentino all'incirca la stessa lunghezza e quindi la stessa resistenza.

ANALISI

Poiché le resistenze R_1 e R_2 sono rappresentate dalle parti del filo per resistenze, (1) viene convertito in

$$R_x = R_{ref} \cdot \frac{s_1}{s_2} = R_{ref} \cdot \frac{s_1}{1\text{m} - s_1}$$

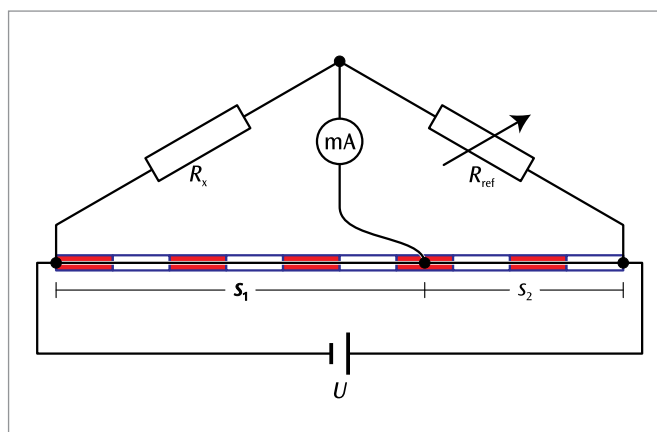
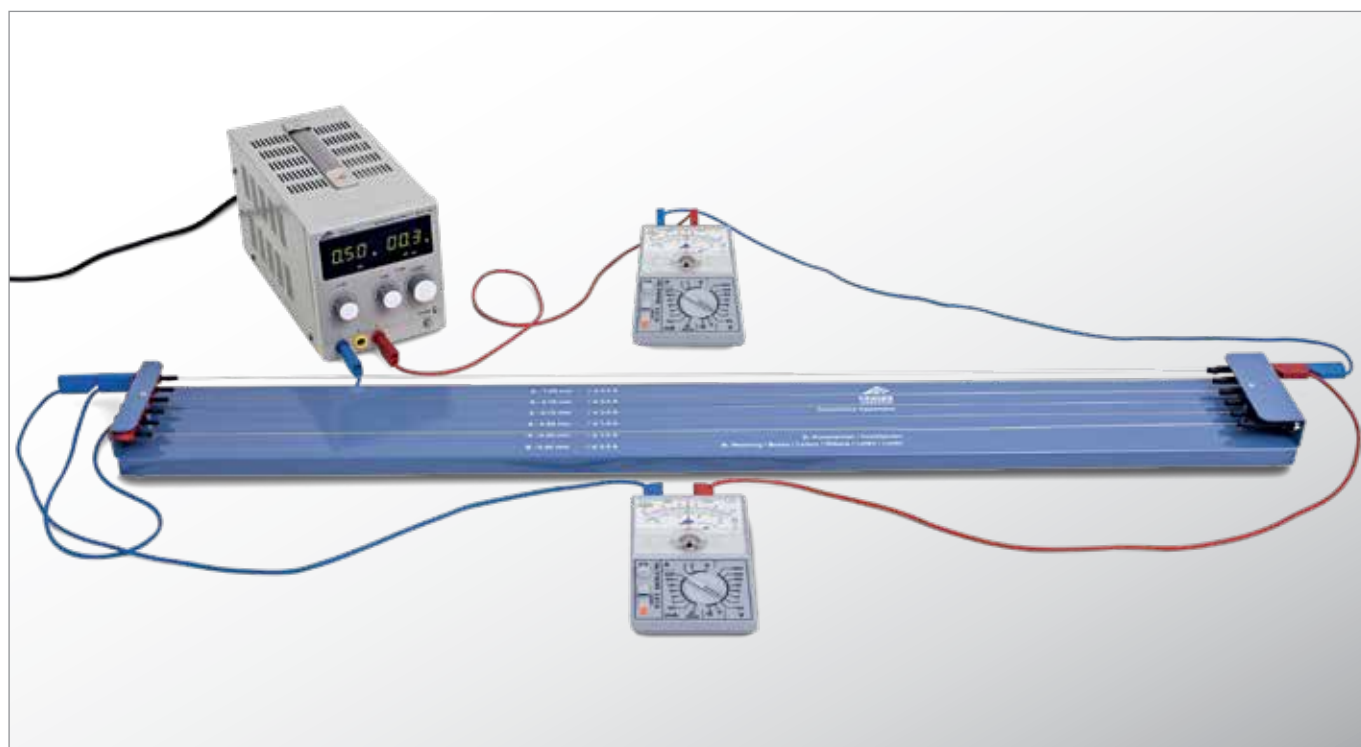


Fig. 1: Rappresentazione schematica del ponte di Wheatstone

UE3020320 | LEGGE DI OHM



> FUNZIONI

- Conferma della legge di Ohm per un filo di costantana e uno di ottone.
- Conferma della legge di Ohm per fili di costantana di lunghezza diversa.
- Conferma della legge di Ohm per fili di costantana di spessore diverso.

SCOPO

Conferma della legge di Ohm

RIASSUNTO

In conduttori elettrici semplici, la corrente I è, proporzionale alla tensione applicata U . La costante di proporzionalità, ovvero la resistenza ohmica R , dipende dalla lunghezza x del conduttore, dalla sua sezione trasversale A e dal tipo di materiale. Questa relazione viene verificata su fili di costantana e di ottone.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio di resistenza	Cat. n°
1	Apparecchio di resistenza	1009949
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
2	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Georg Simon Ohm dimostrò per primo nel 1825 che la corrente che fluisce attraverso un conduttore elettrico semplice è proporzionale alla tensione applicata.

Vale a dire che si applica la legge di Ohm

$$(1) \quad U = R \cdot I$$

ove la costante di proporzionalità R , è detta la resistenza del conduttore. Per un filo metallico con lunghezza x e sezione trasversale A , la resistenza R è data da

$$(2) \quad R = \rho \cdot \frac{x}{A}$$

In questo caso, la resistenza specifica ρ dipende dal materiale di cui è composto il filo. Per confermare queste relazioni fondamentali, nell'esperimento viene esaminata la proporzionalità tra corrente e tensione per fili metallici di spessore, lunghezza e materiale diversi. Inoltre si determina la resistività e la si confronta con i valori di letteratura.

ANALISI

La sezione trasversale A si calcola dallo spessore d del filo:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

I valori di misurazione vengono rappresentati in tre diagrammi $U-I$ in cui varia rispettivamente una delle tre grandezze ρ , x e d come parametro.

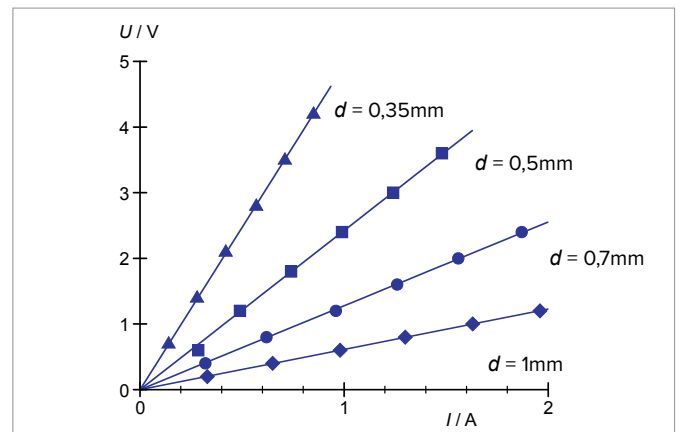


Fig. 3: Diagramma $U-I$ per filo di costantana di spessore diverso

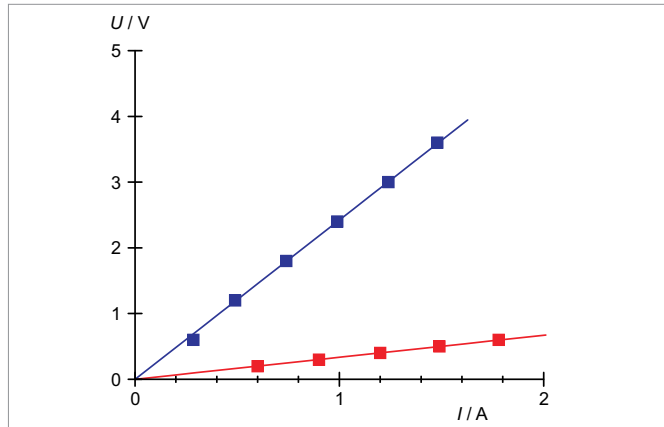


Fig. 1: Diagramma $U-I$ per filo di costantana (blu) e filo di ottone (rosso)

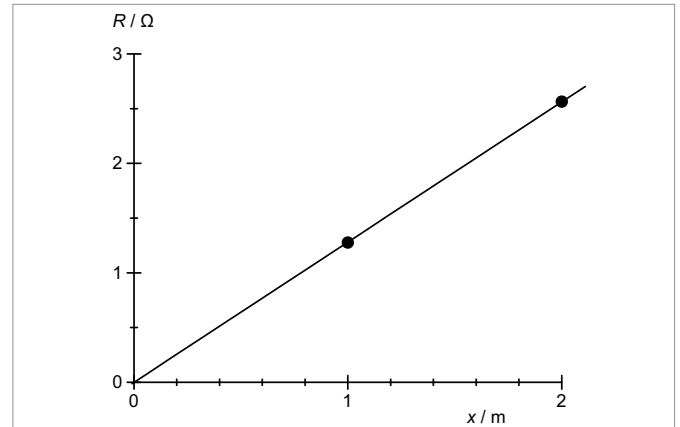


Fig. 4: Resistenza R come funzione della lunghezza

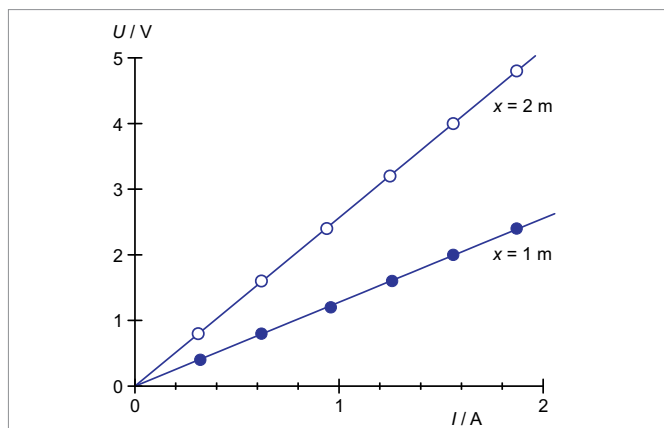


Fig. 2: Diagramma $U-I$ per filo di costantana di lunghezza diversa

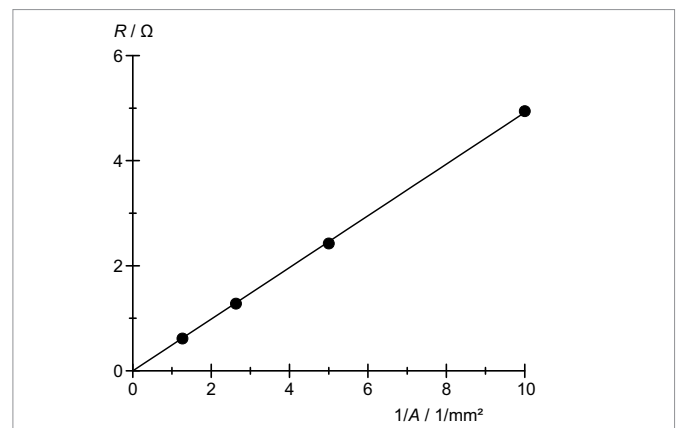
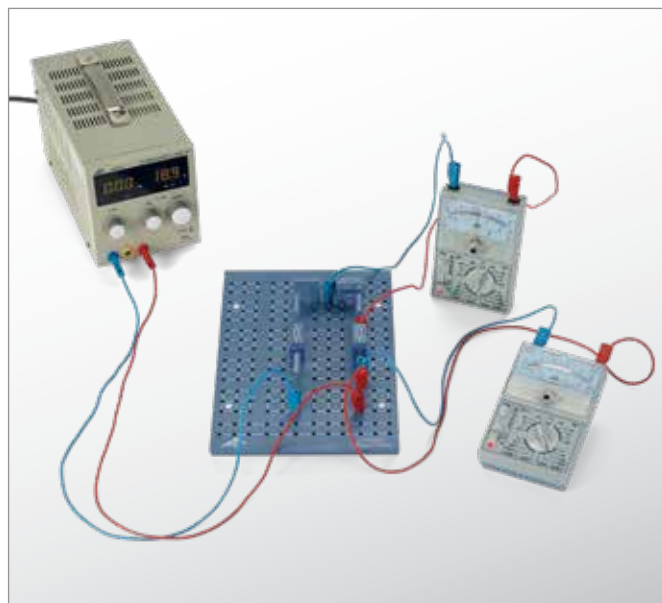
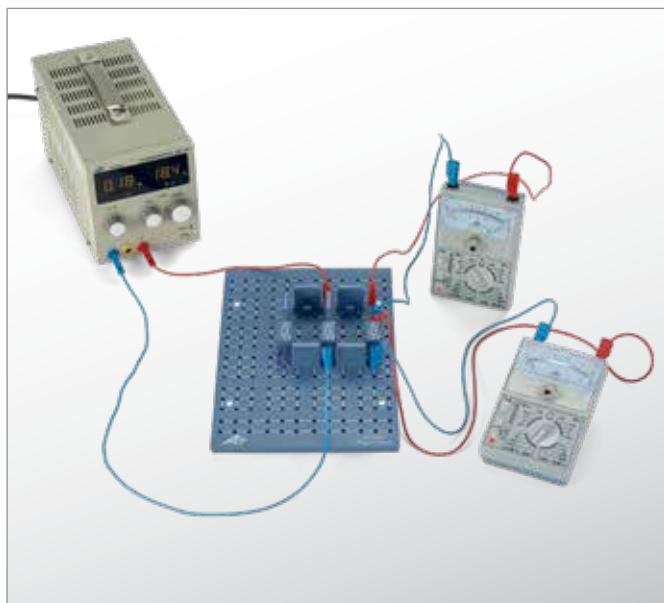


Fig. 5: Resistenza R come funzione del valore reciproco della sezione trasversale A

UE3020330 | LEGGI DI KIRCHHOFF



> FUNZIONI

- Conferma delle leggi di Kirchhoff per un collegamento in serie di resistenze.
- Determinazione della resistenza totale di un collegamento in serie.
- Conferma delle leggi di Kirchhoff per un collegamento in parallelo di resistenze.
- Determinazione della resistenza totale di un collegamento in parallelo.

SCOPO

Misurazioni di tensione e corrente su collegamenti in serie e in parallelo di resistenze

RIASSUNTO

Le leggi di Kirchhoff sono di fondamentale importanza per il calcolo delle correnti e delle tensioni parziali in circuiti elettrici ramificati. In questo esperimento si dimostrano le leggi di Kirchhoff tramite misurazioni di correnti e tensioni parziali delle resistenze collegate in serie e in parallelo.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
1	Resistenza 220 Ω , 2 W, P2W19	1012912
1	Resistenza 330 Ω , 2 W, P2W19	1012913
1	Resistenza 470 Ω , 2 W, P2W19	1012914
1	Resistenza 1 k Ω , 2 W, P2W19	1012916
1	Resistenza 6,8 k Ω , 2 W, P2W19	1012921
1	Resistenza 10 k Ω , 0, 5 W, P2W19	1012922
1	Resistenza 100 k Ω , 0, 5 W, P2W19	1012928
1	Set di 10 connettori a nastro, P2W19	1012985
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
2	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840

BASI GENERALI

Nel 1845, *Gustav Robert Kirchhoff* formulò le sue leggi, illustrando la relazione fra correnti e tensioni in circuiti elettrici composti da più circuiti parziali. La legge dei nodi afferma che su ogni punto di diramazione di un circuito elettrico, la somma delle correnti entranti è uguale a quella delle correnti uscenti. La legge delle maglie afferma che in ogni circuito parziale chiuso, in ogni maglia di una rete, la somma delle tensioni parziali sui conduttori è uguale alla tensione totale della sorgente di tensione. Per le maglie si definisce un senso di rotazione. Le correnti che fluiscono nel senso di rotazione e le tensioni che generano correnti con la stessa direzione devono essere considerate come positive. In caso contrario devono essere considerate come negative. Questi principi possono essere applicati ad es. su collegamenti in serie o in parallelo di resistenze.

Nel caso di un collegamento in serie di n resistenze, l'intensità di corrente I è uguale su ogni punto del circuito elettrico. Secondo la legge delle maglie, la somma delle tensioni parziali sulle resistenze è uguale alla tensione della sorgente di corrente attiva.

$$(1) \quad U = U_1 + \dots + U_n$$

Per la resistenza totale R_{ser} risulta:

$$(2) \quad R_{\text{ser}} = \frac{U}{I} = \frac{U_1 + \dots + U_n}{I} = R_1 + \dots + R_n$$

Nel caso di un collegamento in parallelo di resistenze si generano i cosiddetti nodi del circuito elettrico. Le misurazioni sui nodi dimostrano che la somma delle correnti entranti è uguale alla somma di quelle uscenti. La tensione su ciascun nodo è uguale. Con il principio dei nodi è possibile calcolare correnti sconosciute in un nodo. La somma delle correnti parziali sulle resistenze singole è uguale alla corrente totale I e si ha:

$$(3) \quad I = I_1 + \dots + I_n$$

Per la resistenza totale R_{par} si ha di conseguenza:

$$(4) \quad \frac{1}{R_{\text{par}}} = \frac{I}{U} = \frac{I_1 + \dots + I_n}{U} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Nell'esperimento vengono esaminati un collegamento in serie e uno in parallelo di tre resistenze. Per la conferma dei principi di Kirchhoff vengono misurate la corrente totale e le correnti parziali, nonché la tensione totale e le tensioni parziali.

ANALISI

Dai valori misurati del collegamento in serie e in parallelo si calcola la rispettiva resistenza totale R e la si confronta con il valore teorico risultante dalle equazioni (2) e (4).

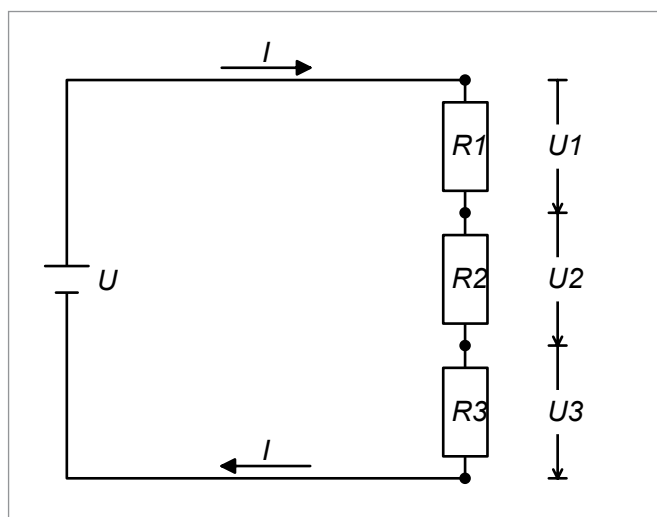


Fig. 1: Rappresentazione schematica delle leggi di Kirchhoff per un collegamento in serie di resistenze

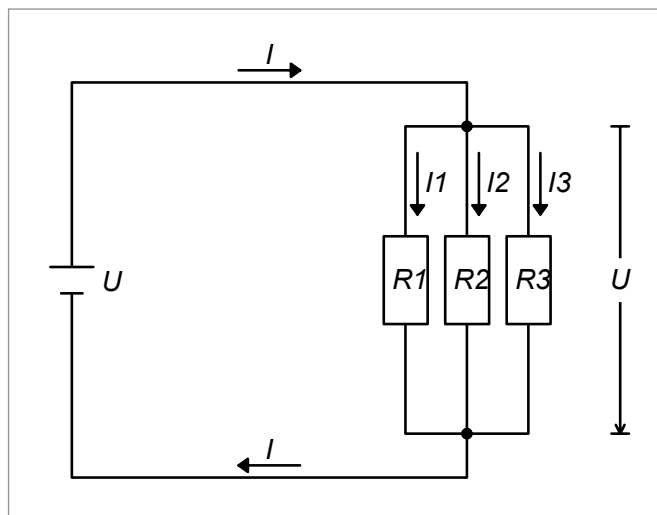
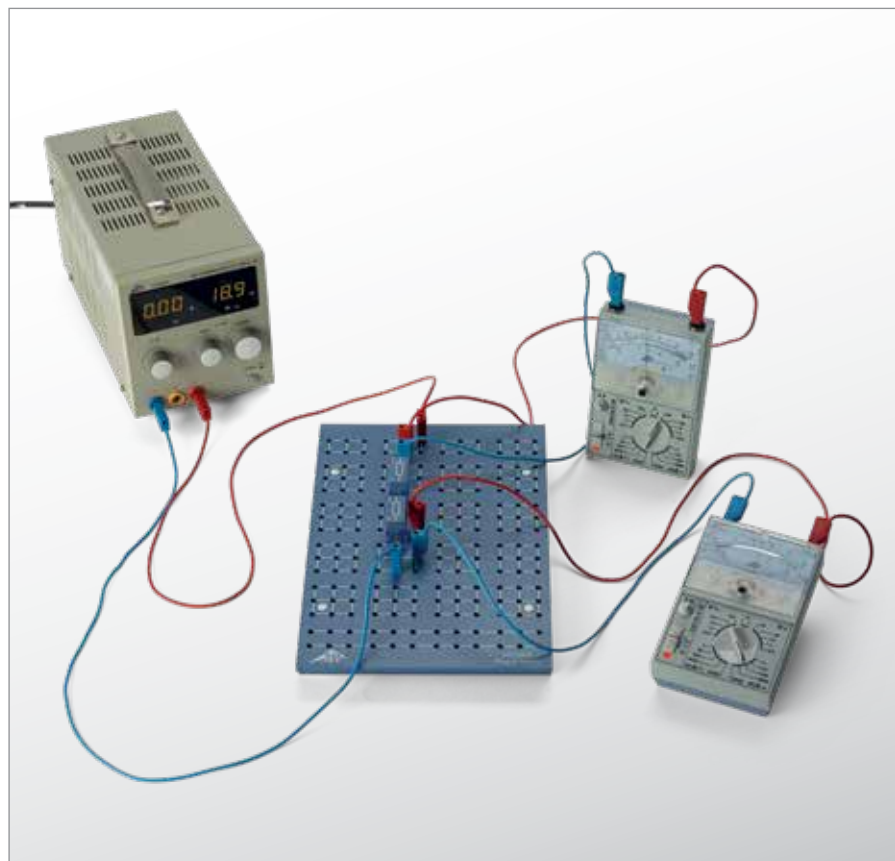


Fig. 2: Schema elettrico per il collegamento in parallelo delle resistenze

UE3020340 | DIVISORE DI TENSIONE



SCOPO

Misurazioni di tensione e corrente sul divisore di tensione non sotto carico e sotto carico

RIASSUNTO

Un divisore di tensione consiste nel caso più semplice in un collegamento in serie di due resistenze ohmiche sulle quali la tensione totale si suddivide in due tensioni parziali. Si parla di divisore di tensione sotto carico quando si deve considerare una resistenza di carico supplementare. Le correnti e le tensioni parziali vengono calcolate come per ogni altro collegamento in serie e in parallelo applicando le leggi di Kirchhoff. Nel caso del divisore di tensione non sotto carico, la tensione parziale varia a seconda della resistenza parziale tra il valore zero e la tensione totale. Una notevole differenza si ha nel caso del divisore di tensione sotto carico con resistenze di carico minime. In questo caso, la tensione parziale acquisisce indipendentemente dalla resistenza parziale valori molto bassi.

> FUNZIONI

- Misurazioni di tensione e di corrente sul divisore di tensione non sotto carico in funzione della resistenza parziale R_2 .
- Misurazioni di tensione e di corrente sul divisore di tensione non sotto carico con resistenza totale costante $R_1 + R_2$.
- Misurazioni di tensione e di corrente sul divisore di tensione sotto carico in funzione della resistenza di carico R_L .

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
1	Resistenza 47 Ω , 2 W, P2W19	1012908
2	Resistenza 100 Ω , 2 W, P2W19	1012910
1	Resistenza 150 Ω , 2 W, P2W19	1012911
1	Resistenza 470 Ω , 2 W, P2W19	1012914
1	Potenzimetro 220 Ω , 3 W, P4W50	1012934
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
2	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840

BASI GENERALI

Un divisore di tensione consiste nel caso più semplice in un collegamento in serie di due resistenze ohmiche sulle quali la tensione totale si suddivide in due tensioni parziali. Si parla di divisore di tensione sotto carico quando si deve considerare una resistenza di carico supplementare. Le correnti e le tensioni parziali vengono calcolate come per ogni altro collegamento in serie e in parallelo applicando le leggi di Kirchhoff.

Nel caso di un divisore di tensione non sotto carico, la resistenza totale è data da (vedere Fig. 1)

$$(1) \quad R = R_1 + R_2$$

Attraverso entrambe le resistenze scorre la stessa corrente

$$(2) \quad I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

U : tensione totale

Sulla resistenza R_2 diminuisce pertanto la tensione parziale

$$(3) \quad U_2 = I \cdot R_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Nel caso del divisore di tensione sotto carico occorre considerare anche la resistenza di carico R_L (vedere Fig. 2) e sostituire nelle equazioni soprastanti la resistenza R_2 con

$$(4) \quad R_p = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}$$

Per la tensione parziale U_2 vale ora

$$(5) \quad U_2 = I \cdot R_p = U \cdot \frac{R_p}{R_1 + R_p}$$

Nell'esperimento, il divisore di tensione non sotto carico è costituito da resistenze discrete R_1 e R_2 , ma per R_2 sono stati utilizzati valori diversi. In alternativa viene impiegato un potenziometro in cui la resistenza totale $R_1 + R_2$ è inevitabilmente costante e la resistenza parziale R_2 viene determinata dalla posizione della presa centrale. La sorgente di tensione fornisce una tensione costante U che resta invariata per l'intero esperimento. Vengono misurate rispettivamente le tensioni e le correnti parziali.

ANALISI

Nel caso del divisore di tensione non sotto carico, la tensione parziale U_2 raggiunge la tensione totale U quando R_2 è notevolmente più grande di R_1 e raggiunge il valore zero quando R_2 diventa minima.

Nel caso del divisore di tensione sotto carico con grandi resistenze di carico, la resistenza parallela $R_p = R_2$ e la tensione parziale U_2 risulta da (3). Una notevole differenza rispetto al divisore di tensione non sotto carico si ha con resistenze di carico minime. Qui vale $R_p = R_L$ in quanto la corrente scorre principalmente attraverso la resistenza di carico e la tensione parziale U_2 acquisisce valori molto bassi indipendentemente da R_2 .

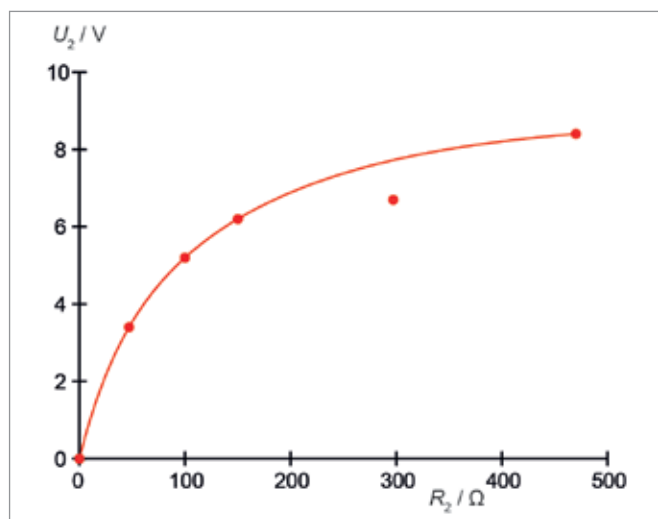


Fig. 3: Tensione parziale U_2 in funzione della resistenza parziale R_2 con divisore di tensione non sotto carico

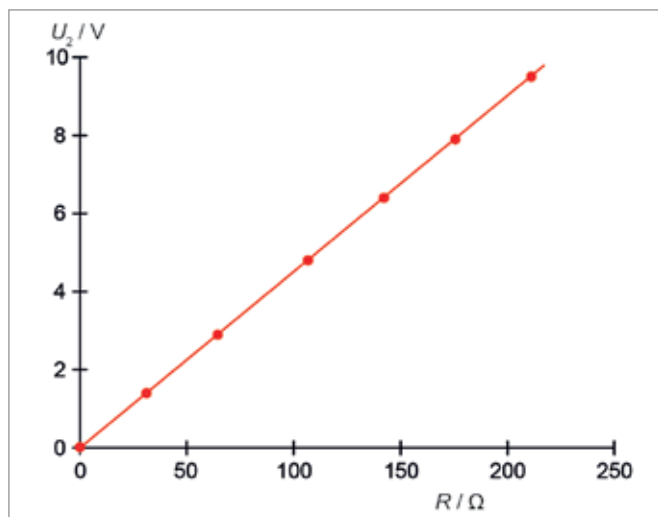


Fig. 4: Tensione parziale U_2 in funzione della resistenza parziale R_2 con divisore di tensione non sotto carico con resistenza totale costante $R_1 + R_2$

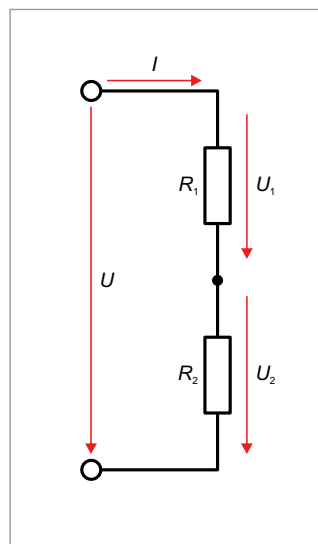


Fig. 1: Schema elettrico del divisore di tensione non sotto carico

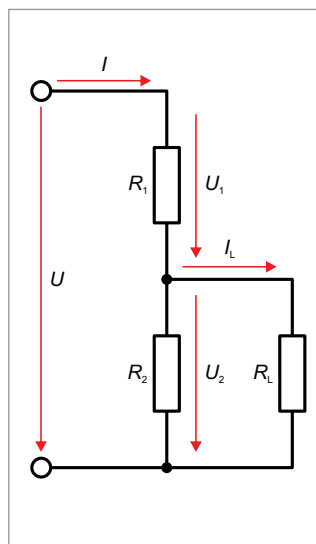


Fig. 2: Schema elettrico del divisore di tensione sotto carico

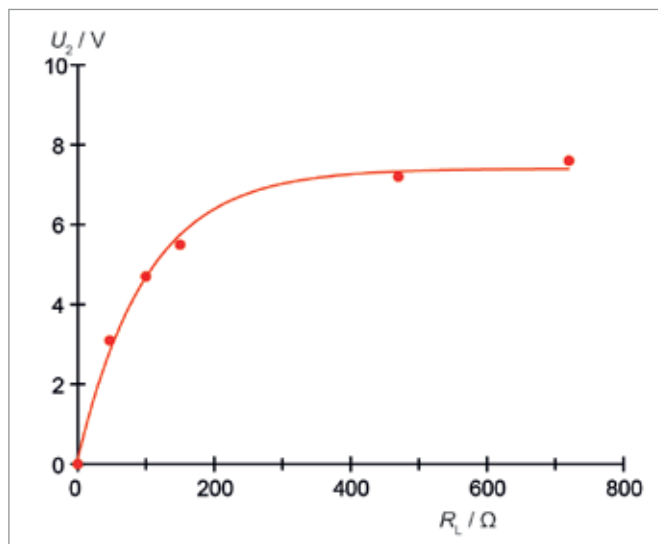


Fig. 5: Tensione parziale U_2 in funzione della resistenza di carico R_L con divisore di tensione sotto carico

UE3020700 | ELETTROLISI



> FUNZIONI

- Produzione di idrogeno per elettrolisi e misurazione del volume di idrogeno V .
- Misurazione del lavoro elettrico W necessario con tensione fissa U_0 .
- Calcolo della costante di Faraday F .

SCOPO

Determinazione della costante di Faraday

RIASSUNTO

Per determinare la costante di Faraday, dall'acqua viene prodotta per elettrolisi una determinata quantità di idrogeno e ossigeno e viene misurata la carica trasportata nel processo.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Voltmetro di Hofmann	1002899
1	Multimètre numérique P3415	1008631
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840

Ulteriormente necessario:

Acido solforico, 1 mol/l

BASI GENERALI

Viene chiamata **elettrolisi** la separazione di un legame chimico per effetto della corrente elettrica. Il processo di conduzione elettrica è collegato a una separazione di materiali in cui la carica trasportata Q e la quantità di materiale separata n sono proporzionali l'una all'altra. La costante di proporzionalità viene definita **costante di Faraday** ed è una costante naturale universale.

Più precisamente, nella proporzionalità tra la carica Q e il numero di moli n della quantità di materiale separato deve essere considerata anche la valenza z degli ioni separati. Vale

$$(1) \quad Q = F \cdot n \cdot z$$

È quindi possibile determinare la costante di Faraday misurando, a valenza nota, la carica Q e il numero di mole n di un processo elettrolitico.

Nell'esperimento, dall'acqua viene prodotta per elettrolisi una determinata quantità di idrogeno e di ossigeno. Per determinare la carica Q trasportata nel processo viene misurato il lavoro elettrico

$$(2) \quad W = Q \cdot U_0$$

che viene impiegato per l'elettrolisi in presenza di una tensione costante U_0 .

Il numero di moli n_H degli ioni di idrogeno separati viene determinato in base al volume di idrogeno V_{H_2} raccolto a temperatura ambiente T e pressione esterna p . A tale scopo occorre tuttavia tenere presente che l'idrogeno viene raccolto in forma molecolare e che per ogni molecola di idrogeno raccolta sono stati separati due ioni di idrogeno. Dall'equazione di stato del gas ideale deriva pertanto:

$$(3) \quad n_H = 2 \cdot \frac{p \cdot V_{H_2}}{R \cdot T}$$

$R = 8.314 \frac{J}{mol \cdot K}$: Costante dei gas universale

ANALISI

Per la valenza degli ioni di idrogeno vale $z_H = 1$. Dalle equazioni (1), (2) e (3) si ottiene quindi l'equazione condizionale

$$F = \frac{W}{U_0} \cdot \frac{R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V_{H_2} \cdot n_H} = \frac{W}{U_0} \cdot \frac{R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V_{H_2}}$$

A titolo di confronto, può essere determinato anche il volume V_{O_2} dell'ossigeno raccolto. Esso sarà pari solo alla metà del volume di idrogeno, in quanto per ogni molecola di acqua scissa si separano due ioni di idrogeno e uno di ossigeno. Pertanto la valenza degli ioni di ossigeno sarà $z_O = 2$.

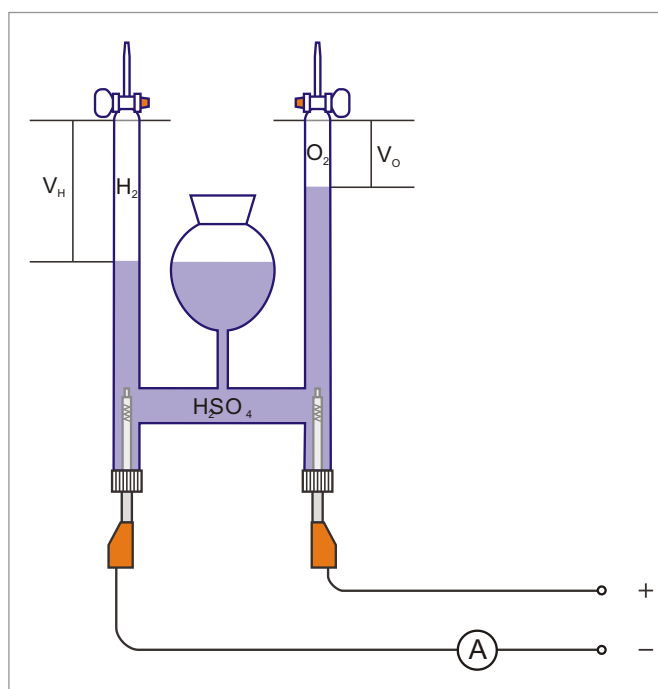


Fig. 1: Rappresentazione schematica

UE3030300 | ELETTRROLOGIA



> FUNZIONI

- Determinazione della direzione della forza di Lorentz.
- Determinazione della forza in funzione della corrente.
- Determinazione della forza in funzione della lunghezza efficace del conduttore.
- Determinazione della forza in funzione della distanza tra le espansioni polari del magnete permanente.

SCOPO

Misurazione della forza esercitata su un conduttore attraversato da corrente in un campo magnetico

RIASSUNTO

Viene misurata la forza di Lorentz esercitata su un'asta di rame attraversata da corrente, appesa in orizzontale come un'altalena a due conduttori di corrente verticali in un campo magnetico. Dopo l'inserimento della corrente l'altalena viene spostata dalla verticale di un determinato angolo con cui è possibile calcolare la forza di Lorentz. Vengono modificati la corrente attraverso il conduttore, il campo magnetico e la lunghezza efficace del conduttore nel campo magnetico.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Kit per elettromagnetismo	1002661
1	Magnete permanente con distanza tra i poli regolabile	1002660
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718

BASI GENERALI

Gli elettroni che si muovono in un campo magnetico vengono deviati perpendicolarmente al campo magnetico e alla direzione di movimento. La forza di deviazione, forza di Lorentz, esercitata su un singolo elettrone tuttavia non può praticamente essere rilevata con la tecnica di misurazione poiché anche in caso di campo magnetico forte e velocità elevata dell'elettrone è molto piccola. La situazione è diversa quando si colloca un conduttore attraversato da corrente in un campo magnetico omogeneo. Nel conduttore si muovono diversi portatori di carica con la stessa velocità di deriva v . Sul conduttore agisce una forza risultante dalla somma di tutte le forze di Lorentz esercitate sui singoli portatori di carica.

Se in un conduttore dritto, attraversato da corrente, con una lunghezza L e un'area della sezione A

$$(1) \quad N = n \cdot A \cdot L$$

n : Densità numerica

si muovono elettroni ad una velocità di deriva v in direzione del conduttore, la corrente attraverso il conduttore corrisponde a

$$(2) \quad I = n \cdot e \cdot A \cdot v$$

e : Carica fondamentale

Se il conduttore si trova in un campo magnetico B , su tutti gli elettroni "in deriva" agisce la forza di Lorentz

$$(3) \quad F = N \cdot e \cdot v \times B$$

Se il conduttore è allineato perpendicolarmente al campo magnetico, l'equazione (3) si può semplificare in

$$(4) \quad F = I \cdot B \cdot L$$

dove F è allineata perpendicolarmente al conduttore e al campo magnetico. Nell'esperimento viene misurata la forza di Lorentz F esercitata su un'asta di rame attraversata da corrente, appesa in orizzontale come un'altalena a due conduttori di corrente verticali in un campo magnetico (vedi fig. 1). Dopo l'inserimento della corrente l'altalena viene spostata dalla verticale per azione della forza di Lorentz F di un angolo φ , quindi per F si applica l'equazione di determinazione

$$(5) \quad F = m \cdot g \cdot \tan\varphi$$

$m = 6,23$ g: Massa dell'asta di rame

Il campo magnetico B viene generato da un magnete permanente di cui è possibile variare la distanza tra le espansioni polari d per modificare B . Ruotando le espansioni polari di 90° è inoltre possibile modificare la loro larghezza b nella direzione del conduttore e in questo modo anche la lunghezza efficace L del conduttore nel campo magnetico. La lunghezza efficace L del conduttore è leggermente maggiore della larghezza b delle espansioni polari, in quanto il campo magnetico disomogeneo "fuoriesce" dai bordi delle espansioni polari; ciò si verifica tanto più quanto maggiore è la distanza d delle espansioni polari. Con buona approssimazione si ottiene

$$(6) \quad L = b + d$$

ANALISI

L'angolo φ può essere ricavato dalla lunghezza di sospensione s e dallo spostamento orizzontale x dell'asta di rame:

$$\frac{x}{\sqrt{s^2 - x^2}} = \tan\varphi$$

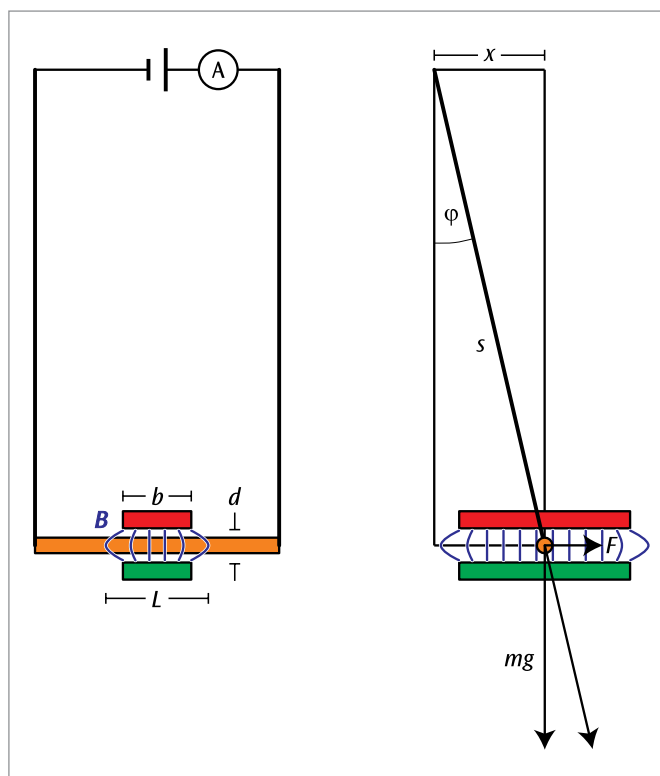


Fig. 1: Disposizione per la misurazione, vista laterale e anteriore

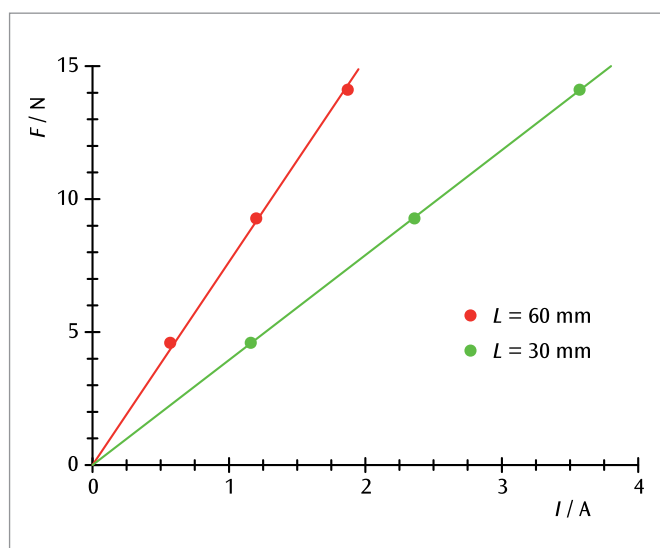


Fig. 2: Forza su un conduttore attraversato da corrente in funzione dell'intensità di corrente I per due diverse lunghezze del conduttore L . Gli incrementi della retta di origine tracciata sono proporzionali a L .

UE3030350 | BILANCIA ELETTRODINAMICA



> FUNZIONI

- Misurazione della forza agente su un conduttore attraversato da corrente in funzione dell'intensità di corrente.
- Misurazione della forza agente su un conduttore attraversato da corrente in funzione della lunghezza.
- Calibrazione del campo magnetico.

SCOPO

Misurazione della forza agente su un conduttore attraversato da corrente e immerso in un campo magnetico

RIASSUNTO

La bilancia elettrodinamica si basa sugli esperimenti sulla corrente elettrica condotti da André-Marie Ampère. Per mezzo di una bilancia viene misurata la forza di Lorentz agente su un conduttore attraversato da corrente e immerso in un campo magnetico. Nel presente esperimento il conduttore di corrente è agganciato a un meccanismo di sospensione fisso ed esercita sul magnete permanente, che induce il campo magnetico, una forza uguale ed opposta alla forza di Lorentz. Questa condizione provoca un'apparente variazione del peso del magnete permanente.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Set bilancia elettrodinamica	1021822
1	Bilancia elettronica Scout SKX 420 g	1020859
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Asta di supporto, 250 mm	1002933
1	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
1	Commutatore bipolare	1018439
3	Coppia di cavi per esperimenti, 75 cm	1002850

BASI GENERALI

La bilancia elettrodinamica si basa sugli esperimenti sulla corrente elettrica condotti da André-Marie Ampère. Con l'ausilio di una bilancia viene misurata la forza agente su un conduttore attraversato da corrente e immerso in un campo magnetico. Nell'esperimento viene impiegata una moderna bilancia elettronica di precisione per misurare il peso di un magnete permanente. Il peso varia in funzione della 3a legge di Newton, nel momento in cui il campo magnetico, in cui è immerso il conduttore di corrente, esercita su quest'ultimo una forza di Lorentz.

Sulla bilancia è appoggiato un magnete permanente che genera un campo magnetico B orizzontale. Un conduttore di corrente orizzontale di lunghezza L , appeso a una barra rigida, è immerso verticalmente nel campo magnetico generato dal suddetto magnete permanente. Sul conduttore agisce la forza di Lorentz

$$(1) \quad F_L = N \cdot e \cdot v \times B$$

e : carica fondamentale, N : numero totale di tutti gli elettroni interessati dalla conduzione di corrente

La velocità di deriva media v è tanto più alta, quanto maggiore è la corrente I che scorre attraverso il conduttore:

$$(2) \quad I = n \cdot e \cdot A \cdot v$$

n : densità numerica di tutti gli elettroni interessati dalla conduzione di corrente, A : sezione trasversale del conduttore

Da

$$(3) \quad N = n \cdot A \cdot L$$

L : lunghezza del conduttore

ricaviamo

$$(4) \quad F_L = I \cdot L \cdot e \times B$$

oppure

$$(5) \quad F_L = I \cdot L \cdot B$$

poiché il vettore e , indicante la direzione del conduttore, è perpendicolare al campo magnetico. In base alla 3a legge di Newton, sul magnete permanente agisce una forza uguale e opposta F che, a seconda del segno, provoca un aumento o una diminuzione del peso G del magnete permanente posto sulla bilancia. La funzione di taratura della bilancia consente di compensare elettronicamente il peso G , in modo tale che la bilancia indichi direttamente la forza antagonista F .

ANALISI

Si dimostra che la dipendenza dalla corrente della forza di Lorentz è ben descritta da una retta passante per l'origine (fig. 2). Ciò non vale per la dipendenza dalla lunghezza (fig. 3), dato che in questo caso entrano in gioco gli effetti di bordo sulle estremità del conduttore. Il campo magnetico del magnete permanente completamente montato viene calcolato in base agli incrementi lineari $a_2 = B L$ in fig. 2 e $a_3 = B / l$ in fig. 3.

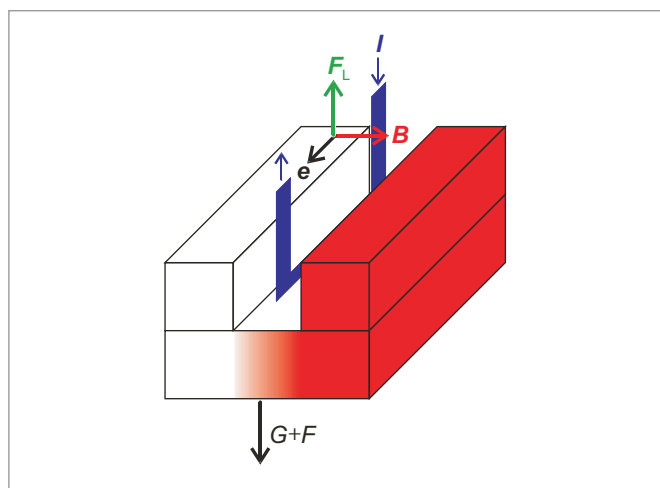


Fig. 1: Rappresentazione schematica della forza di Lorentz F_L esercitata sul conduttore attraversato da corrente e della forza antagonista $G + F$ esercitata sulla bilancia

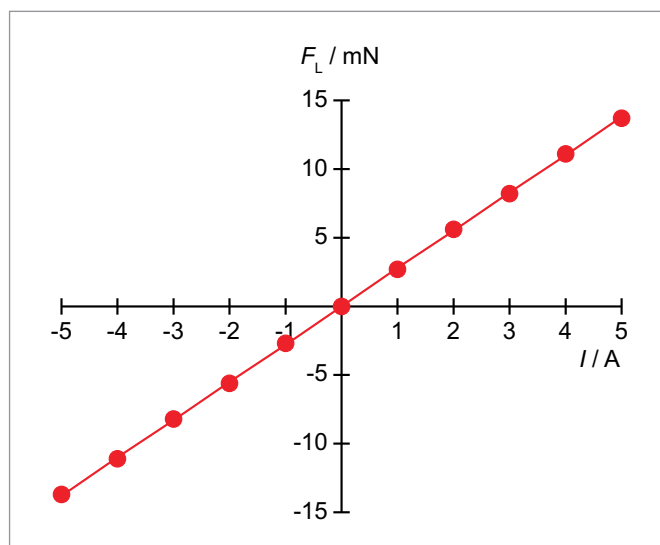


Fig. 2: Forza F_L in funzione dell'intensità di corrente I

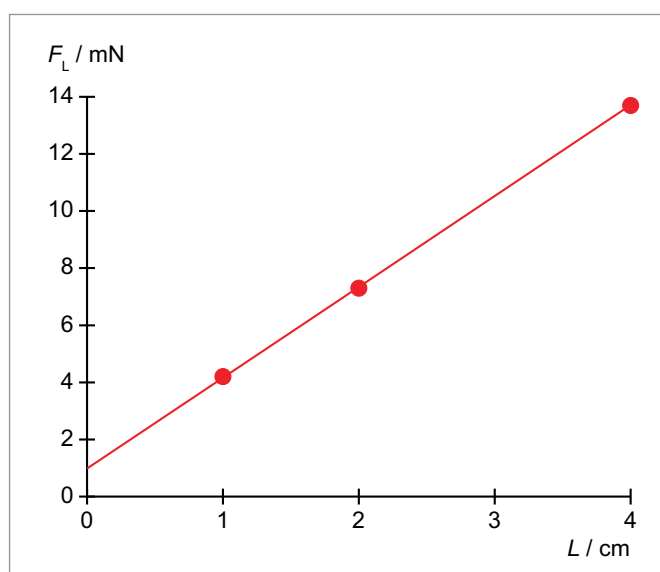
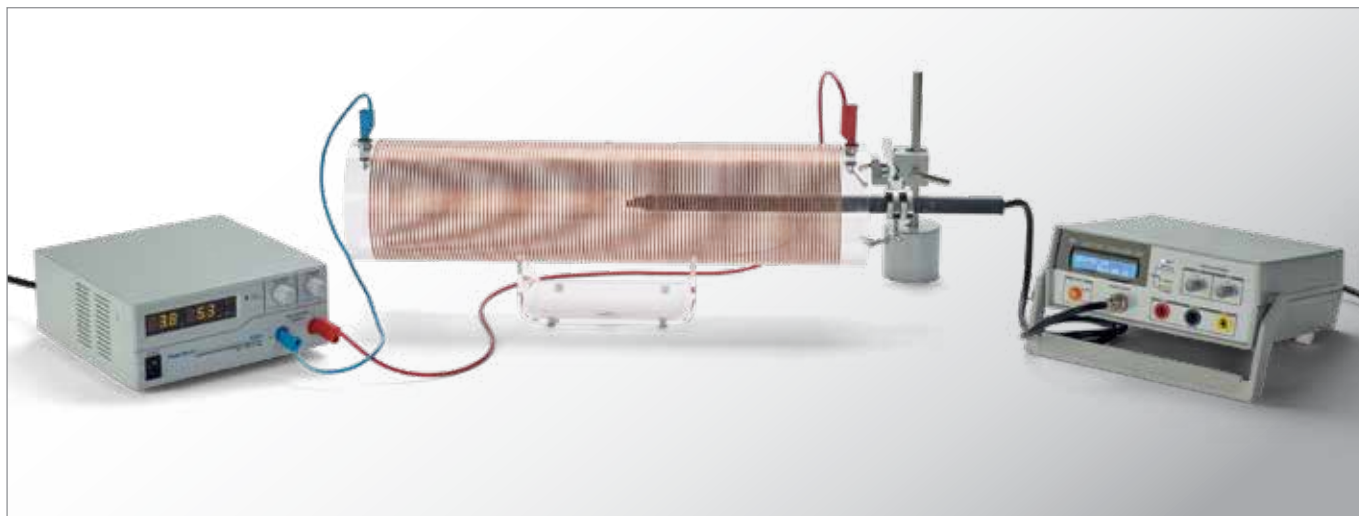


Fig. 3: Forza F_L in funzione della lunghezza del conduttore L

UE3030500 | CAMPO MAGNETICO DI UNA BOBINA CILINDRICA



> FUNZIONI

- Determinazione dell'intensità del campo magnetico B in una bobina cilindrica in funzione dell'intensità di corrente I .
- Misurazione dell'intensità del campo magnetico B in una bobina cilindrica in funzione dell'intensità di corrente I con densità delle spire variabile.
- Conferma della diretta proporzionalità tra l'intensità del campo magnetico e la densità delle spire per bobine lunghe.

SCOPO

Determinazione del campo magnetico di bobine cilindriche di diversa lunghezza

RIASSUNTO

L'intensità del campo magnetico all'interno di una bobina cilindrica lunga è direttamente proporzionale alla corrente della bobina e alla densità delle spire, ma indipendente dal raggio della bobina, purché quest'ultima abbia una lunghezza significativamente maggiore rispetto al suo diametro (bobina lunga). Ciò viene esaminato in questo esperimento con due bobine di diverso diametro e con una bobina con densità delle spire variabile.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Bobina di campo 100 mm	1000591
1	Bobina di campo 120 mm	1000592
1	Bobina a densità di spire variabile	1000965
1	Supporto per bobine cilindriche	1000964
1	Teslametro N (230 V, 50/60 Hz)	1021669 o
	Teslametro N (115 V, 50/60 Hz)	1021671
1	Alimentatore CC 1 – 32 V, 0 – 20 A (230 V, 50/60 Hz)	1012857 o
	Alimentatore DC 1 – 30 V, 0 – 20 A (115 V, 50/60 Hz)	1022289
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 2,5 mm ²	1002841
1	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
1	Asta di supporto, 250 mm	1002933
1	Manicotto universale	1002830
1	Morsetto universale	1002833

BASI GENERALI

La legge di Biot-Savart descrive il rapporto fra l'intensità del campo magnetico B e la corrente elettrica I che percorre un conduttore di geometria qualsiasi. Viene calcolato il contributo all'intensità totale del campo magnetico fornito da ogni tratto infinitesimo del conduttore. Il campo totale viene calcolato integrando i contributi dell'intera geometria del conduttore. In alcuni casi, ad esempio con una bobina cilindrica lunga, ne deriva una soluzione analitica semplice.

Un tratto infinitesimo di conduttore s attraversato da una corrente I produce in base alla legge di Biot-Savart sul punto r l'intensità di campo magnetico

$$(1) \quad dB(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{ds \times r}{r^3}$$

B : Intensità del campo magnetico

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} : \text{Permeabilità di vuoto}$$

All'interno di una bobina cilindrica l'intensità del flusso magnetico è orientata parallelamente all'asse del cilindro e misura

$$(2) \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I$$

N : Numero di spire, L : Lunghezza della bobina

se la lunghezza è grande rispetto al raggio. L'intensità del campo magnetico è pertanto indipendente dal diametro della bobina e proporzionale alla densità delle spire, ossia il numero di spire per unità di lunghezza, e alla corrente che attraversa la bobina.

Nell'esperimento viene misurata con un teslametro assiale l'intensità del campo magnetico al centro di bobine lunghe con correnti fino a 20 A. Viene dimostrata da una parte l'indipendenza dal diametro della bobina, dall'altra la proporzionalità rispetto alla corrente e alla densità delle spire. Per quest'ultima dimostrazione viene utilizzata una bobina con densità di spire variabile.

ANALISI

Le misurazioni confermano in tutti i casi il rapporto di proporzionalità dell'intensità di campo magnetico rispetto alla corrente I che attraversa la bobina.

La proporzionalità rispetto alla densità delle spire è confermata fintantoché la lunghezza della bobina misura almeno il triplo del raggio della stessa.



Fig. 1: Bobina con densità di spire variabile

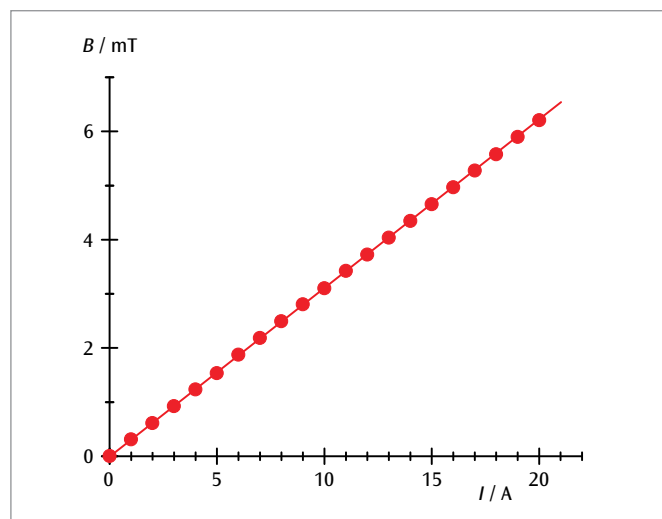


Fig. 2: Intensità del campo magnetico B in funzione della corrente I

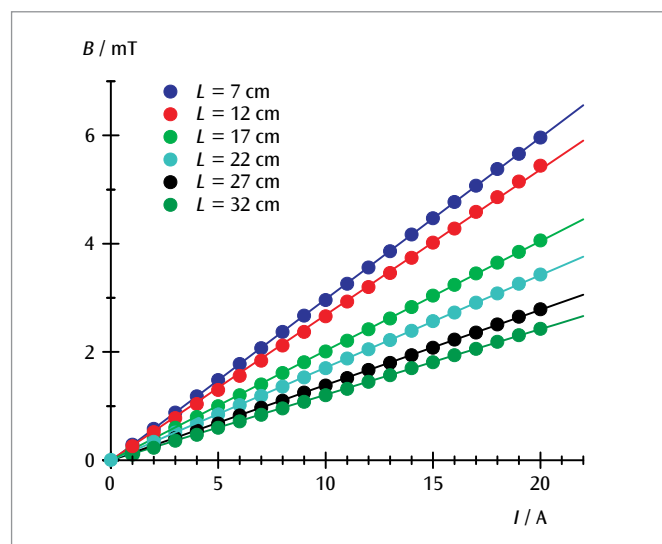


Fig. 3: Densità di flusso magnetico B in funzione della corrente I per bobina con densità delle spire variabile per lunghezze della bobina L diverse

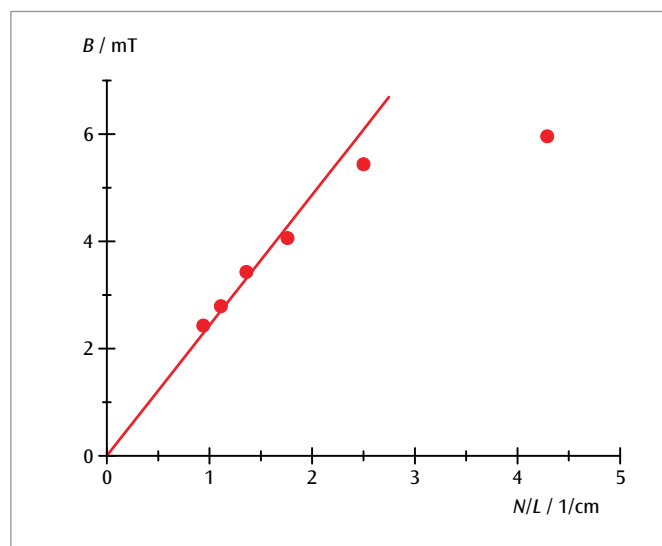


Fig. 4: Densità di flusso magnetico B in funzione della densità delle spire N/L con $I = 20$ A

UE3030700 | CAMPO GEOMAGNETICO



> FUNZIONI

- Misurazione dell'angolo di rotazione di un ago di bussola orientato parallelamente alla componente orizzontale del campo geomagnetico quando si sovrappone il campo magnetico orizzontale di una coppia di bobine di Helmholtz.
- Determinazione della componente orizzontale del campo geomagnetico.
- Misurazione dell'inclinazione e determinazione della componente verticale e del valore complessivo del campo geomagnetico.

SCOPO

Determinazione delle componenti orizzontale e verticale del campo geomagnetico

RIASSUNTO

Nell'esperimento vengono esaminati l'inclinazione e il valore, nonché le componenti orizzontale e verticale del campo geomagnetico nel punto di misurazione. La componente orizzontale del campo geomagnetico viene determinata in base alla rotazione effettuata dall'ago di una bussola quando si sovrappone il campo magnetico di una coppia di bobine di Helmholtz. Dopo aver misurato l'angolo di inclinazione è possibile calcolare anche la componente verticale e il valore complessivo del campo geomagnetico.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Bobine di Helmholtz da 300 mm	1000906
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Multimetro digitale P1035	1002781
1	Inclinatorio E	1006799
1	Reostato a corsoio 100 Ω	1003066
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

La terra è circondata da un campo geomagnetico, prodotto dalla cosiddetta geodinamo. In prossimità della superficie terrestre il campo è simile al campo magnetico generato da un dipolo, le cui linee di campo partono dall'emisfero terrestre meridionale per poi rientrare nell'emisfero settentrionale. L'angolo tra la direzione del campo geomagnetico e il piano l'orizzontale viene detto inclinazione. La componente orizzontale del campo geomagnetico corre essenzialmente parallelamente alla direzione nord-sud. Poiché la crosta terrestre è magnetizzata in modo diverso, si verificano scostamenti a livello locale; questo fenomeno è denominato declinazione.

Nell'esperimento vengono esaminati l'inclinazione e l'intensità, nonché la componente orizzontale e verticale del campo geomagnetico nel punto di misurazione.

Si applica la correlazione

$$(1) \quad B_v = B_h \cdot \tan \alpha$$

α : Inclinazione

B_h : Componente orizzontale

B_v : Componente verticale

e

$$(2) \quad B = \sqrt{B_h^2 + B_v^2}$$

È pertanto sufficiente determinare le grandezze B_h e α , per poter determinare anche le altre due.

L'inclinazione α viene rilevata utilizzando un inclinometro. Per determinare la componente orizzontale B_h lo stesso inclinometro sull'orizzontale viene orientato in modo tale che l'ago di bussola integrato che tende a disporsi parallelamente alla componente orizzontale sia puntato sullo 0. Una coppia di bobine di Helmholtz genera un campo magnetico orizzontale supplementare B_{HH} perpendicolare a B_h determinando la rotazione dell'ago di un angolo β . Come da Fig. 1, vale

$$(3) \quad \frac{B_{HH}}{B_h} = \tan \beta.$$

Ai fini del miglioramento dell'accuratezza del dato, questa misurazione viene eseguita per diversi angoli β .

ANALISI

Da (3) consegue che:

$$B_{HH} = B_h \cdot \tan \beta.$$

La componente orizzontale B_h corrisponde alla pendenza di una retta passante per l'origine che passa per i punti di misurazione in un diagramma B_{HH} - $\tan \alpha$. Il campo magnetico B_{HH} della coppia di bobine di Helmholtz può essere determinato in modo semplice. All'interno di una coppia di bobine esso è fortemente omogeneo e proporzionale all'intensità di corrente I che attraversa una singola bobina:

$$B_{HH} = k \cdot I \quad \text{con}$$

$$k = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{N}{R}$$

$N = 124$: Numero di spire, $R = 147,5$ mm: Raggio

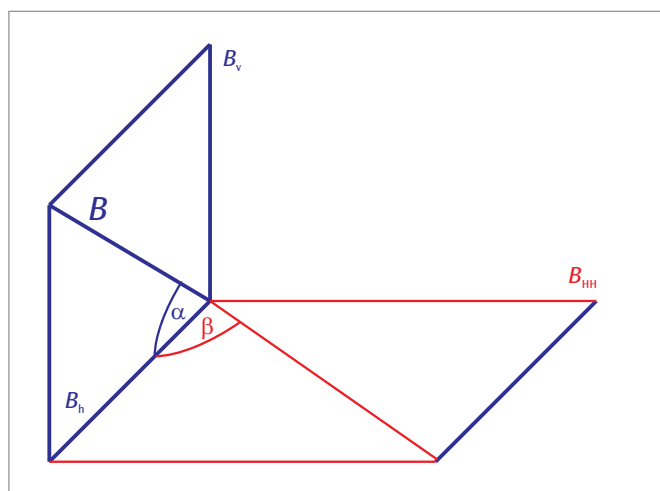


Fig. 1: Rappresentazione delle componenti dei campi magnetici esaminati nell'esperimento e definizione del relativo angolo

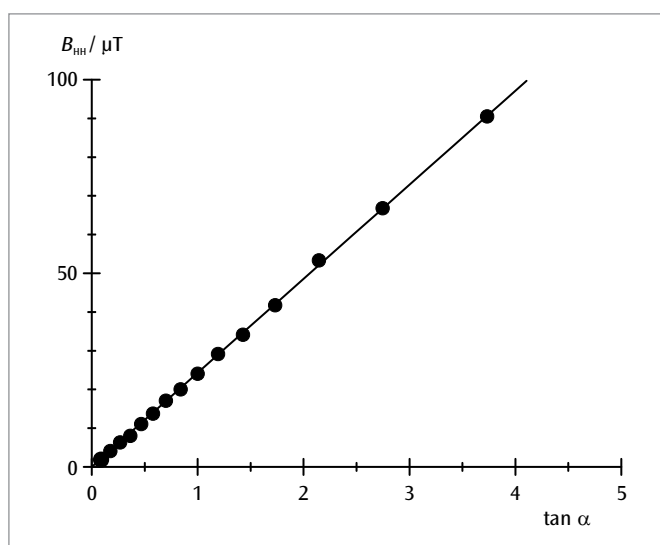
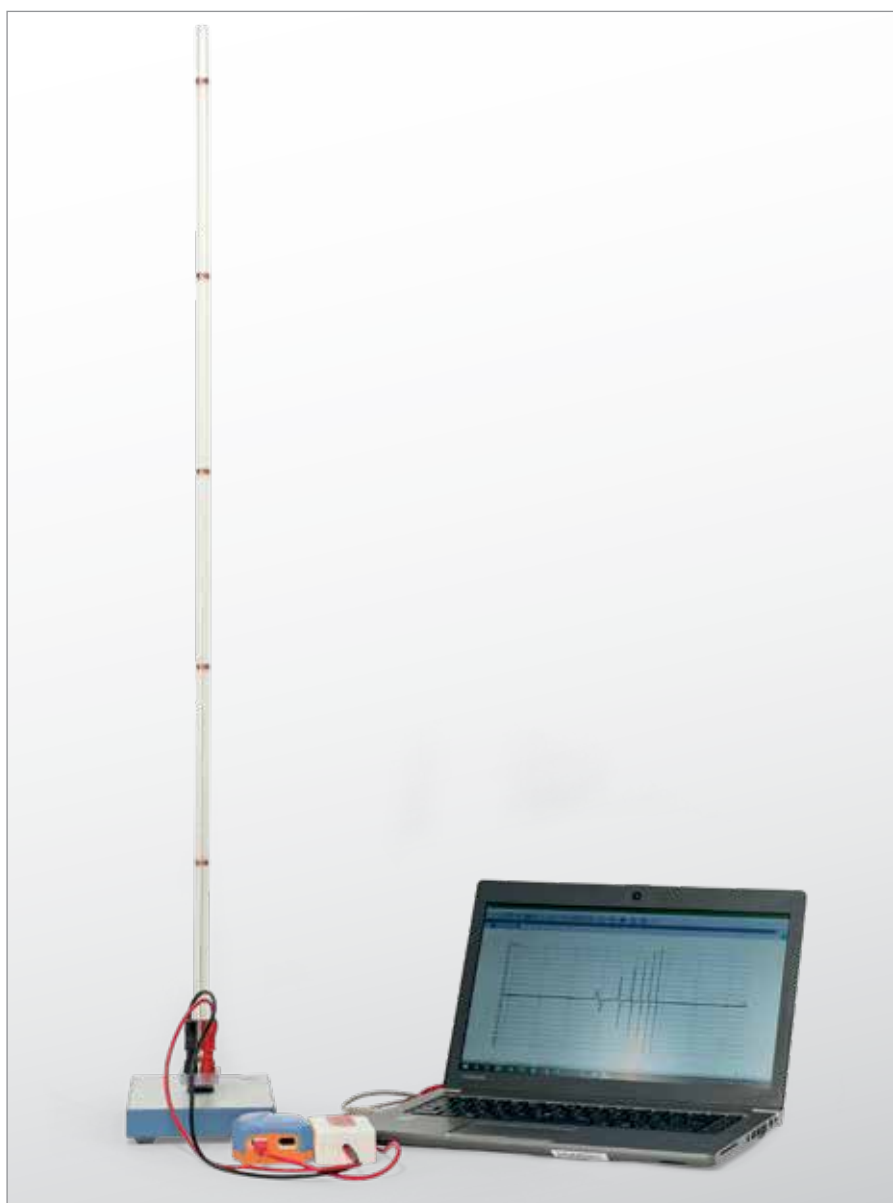


Fig. 2: Diagramma B_{HH} - $\tan \alpha$ per la determinazione della componente orizzontale del campo geomagnetico

UE3040100 | LEGGE DI INDUZIONE DI FARADAY



SCOPO

Produzione di una sovratensione momentanea in un conduttore ad anello mediante l'uso di un magnete permanente in movimento

RIASSUNTO

Se un magnete permanente passa in successione attraverso diverse bobine d'induzione con caratteristiche costruttive identiche collegate in serie, in ogni bobina viene indotta una tensione, la cui ampiezza aumenta sempre più con il moto progressivo del magnete da una bobina all'altra, in quanto la velocità del magnete aumenta sempre più. Il flusso magnetico calcolabile mediante la tensione misurata raggiunge tuttavia lo stesso valore per tutte le bobine.

> FUNZIONI

- Osservazione del movimento di un magnete permanente attraverso diverse bobine d'induzione collegate in serie.
- Misurazione dell'andamento cronologico della tensione indotta.
- Calcolo dell'andamento cronologico del flusso magnetico.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo com 6 bobinas de indução	1001005
1	WiLab*	1022284
1	Sensor de voltagem 500 mV, diferencial	1021681
1	Cabos de sensor	1021514
Ulteriormente necessario:		
1	Licença Coach 7	

* Alternativa: 1 VinciLab 1021477

BASI GENERALI

Qualsiasi variazione del flusso magnetico attraverso un conduttore ad anello chiuso induce in quest'ultimo una tensione elettrica. Una tale variazione viene provocata, per es., quando un magnete permanente viene spostato in un conduttore ad anello fisso.

In tal caso è istruttivo, oltre alla tensione indotta in funzione del tempo

$$(1) \quad U(t) = - \frac{d\Phi}{dt}(t)$$

Φ : Flusso magnetico

considerare anche la cosiddetta sovratensione momentanea

$$(2) \quad \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2)$$

corrispondente alla differenza del flusso magnetico all'inizio (t_1) e alla fine (t_2) di un processo osservato.

Nell'esperimento, un magnete permanente cade attraverso un tubo con sei bobine d'induzione con caratteristiche costruttive identiche collegate in serie. Viene registrato l'andamento cronologico della tensione indotta (vedi fig. 1), la cui ampiezza aumenta sempre più con il moto progressivo del magnete da una bobina all'altra, in quanto la velocità del magnete aumenta sempre più.

Le superfici su cui agiscono tutti i segnali di tensione positivi e negativi sono identiche di valore e corrispondono al flusso massimo Φ del magnete permanente all'interno di una singola bobina.

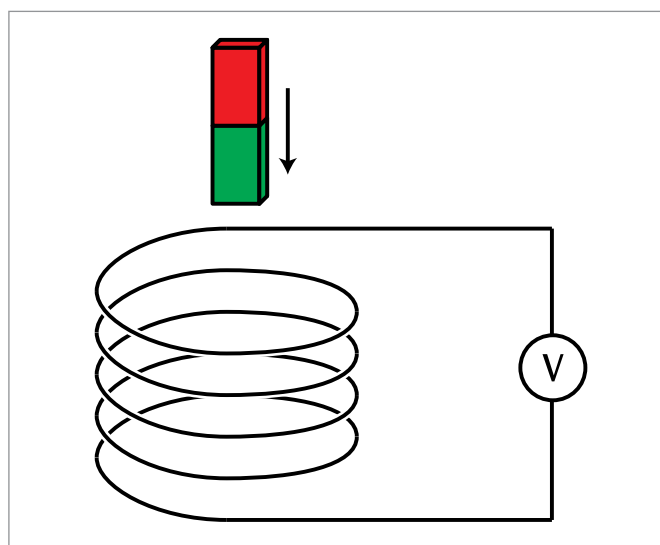


Fig. 1: Principio di misura



Fig. 2: Andamento cronologico del flusso magnetico

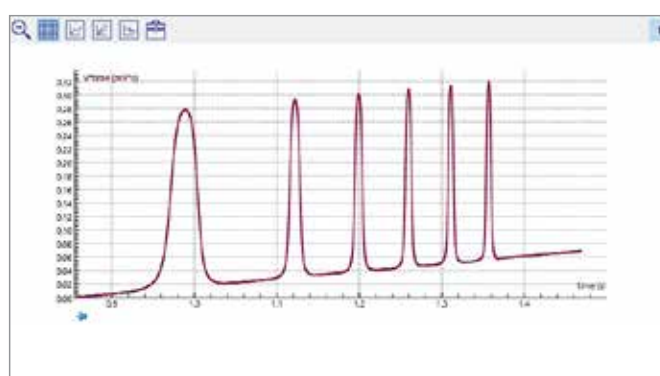


Fig. 3: Flusso magnetico Φ in funzione del tempo

ANALISI

Il segno della tensione viene stabilito in modo che durante la fase di immersione del magnete venga indotta una tensione negativa nella bobina conduttrice.

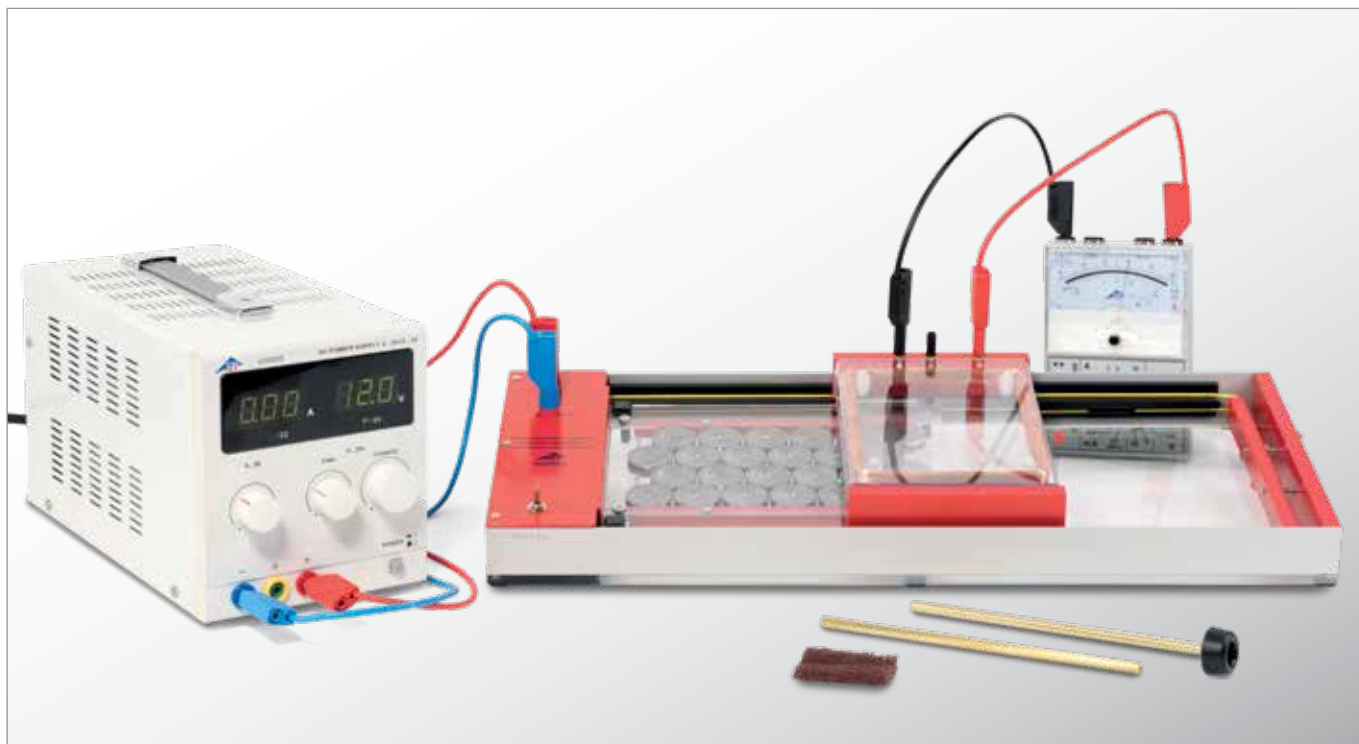
La tensione indotta ritorna a zero quando il magnete raggiunge il centro della bobina e pertanto il flusso magnetico assume il suo valore massimo. Durante la successiva fase di uscita del magnete viene indotta una tensione positiva.

Dalla tensione misurata, utilizzando l'equazione 2 è possibile calcolare, tramite l'integrazione del flusso magnetico nel momento t :

$$\Phi(t) = \Phi(0) - \int_0^t U(t') \cdot dt'$$

Esso raggiunge, nell'ambito della precisione di misurazione, lo stesso valore per tutte le bobine (vedi fig. 2).

UE3040200 | INDUZIONE IN UN CONDUTTORE AD ANELLO IN MOVIMENTO



> FUNZIONI

- Misurazione della tensione d'induzione in base alla velocità del conduttore ad anello.
- Misurazione della tensione d'induzione in base al numero di spire del conduttore ad anello.
- Confronto della polarità della tensione d'induzione introducendo o estraendo il conduttore ad anello.
- Confronto della polarità della tensione d'induzione, variando la direzione di movimento.
- Misurazione della tensione d'induzione in un conduttore ad anello con superficie variabile e con una spira.

SCOPO

Misurazione della tensione d'induzione in un conduttore ad anello spostato da un campo magnetico

RIASSUNTO

La variazione di flusso necessaria all'induzione di una tensione all'interno di un conduttore ad anello può essere il risultato di uno spostamento del conduttore ad anello stesso. Tale situazione si verifica quando si introduce nel campo magnetico o si estrae dal campo magnetico a velocità costante un conduttore ad anello allineato verticalmente rispetto ad un campo magnetico omogeneo. Nel primo caso il flusso magnetico aumenta di valore, nel secondo caso diminuisce. Pertanto cambia la polarità della tensione indotta.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio a induzione	1000968
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Multimetro analogico ESCOLA 100	1013527
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843
1	Cronometro meccanico con addizione	1002810
Ulteriormente consigliato		
1	Amplificatore di misura U (230 V, 50/60 Hz)	1020742 o
	Amplificatore di misura U (115 V, 50/60 Hz)	1020744

BASI GENERALI

Per induzione elettromagnetica s'intende la formazione di una tensione elettrica lungo il conduttore ad anello, dovuta alla variazione del flusso magnetico che attraversa il conduttore ad anello. La variazione di flusso può essere il risultato di una variazione del campo magnetico oppure di uno spostamento del conduttore ad anello.

Per la deduzione di tali correlazioni di frequente si osserva un conduttore a forma di U con asta trasversale mobile, allineato verticalmente rispetto ad un campo magnetico omogeneo B (vedi fig. 1). Il flusso magnetico attraverso la superficie limitata dall'asta trasversale è

$$(1) \quad \Phi = B \cdot a \cdot b$$

a : Larghezza, b : Lunghezza dell'anello

Se si sposta l'asta trasversale ad una velocità v il flusso magnetico cambia, perché cambia la lunghezza del conduttore ad anello. Il tasso di variazione

$$(2) \quad \frac{d\Phi}{dt} = B \cdot a \cdot v$$

nell'esperimento può essere misurato come tensione

$$(3) \quad U = -B \cdot a \cdot v$$

nel campo μV , se viene impiegato l'amplificatore di misura qui ulteriormente consigliato.

La tensione indotta aumenta notevolmente quando un conduttore ad anello su telaio fisso con diverse spire viene spostato attraverso il campo magnetico. Se il telaio viene introdotto solo parzialmente nel campo magnetico, si ripresenta in modo corrispondente la situazione descritta in fig. 1. Lo spostamento del conduttore ad anello porta ad una variazione di flusso

$$(4) \quad \frac{d\Phi_1}{dt} = B \cdot N \cdot a \cdot v$$

N : Numero di spire

che può essere misurata come tensione indotta

$$(5) \quad U_1 = -B \cdot N \cdot a \cdot v$$

Non appena il conduttore ad anello viene introdotto completamente nel campo magnetico, la tensione si riazzera. Ciò cambia solo quando il conduttore ad anello esce dal campo magnetico. A questo punto, il flusso magnetico diminuisce e cambia la polarità della tensione indotta rispetto alla situazione iniziale. Un'inversione di polarità si verifica anche quando viene modificata la direzione di movimento del conduttore ad anello.

Nell'esperimento, viene modificata la tensione di alimentazione del motore che muove il conduttore ad anello. In questo modo vengono impostate diverse velocità costanti del conduttore ad anello. In più la direzione di movimento del motore può invertirsi. È disponibile inoltre una presa intermedia in modo che la tensione indotta possa essere misurata per tre diversi numeri di spire N .

ANALISI

Dato un tempo t necessario al conduttore ad anello per un transito completo e la relativa lunghezza del percorso L , è possibile calcolare la velocità

Velocità e tensione indotta vengono riportate in un diagramma U - v in cui i valori misurati si trovano su una retta attraverso l'origine (vedi fig. 2).

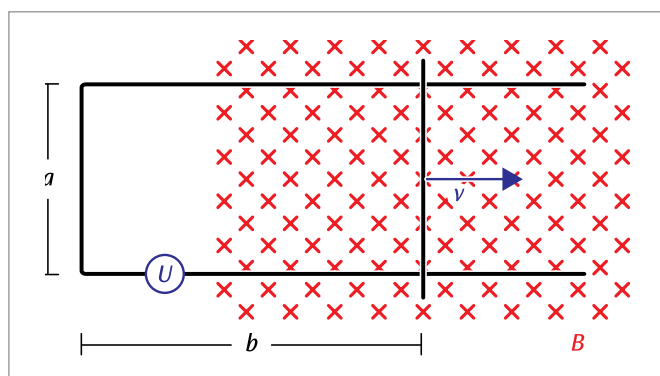


Fig. 1: Variazione del flusso magnetico mediante variazione della superficie dell'anello

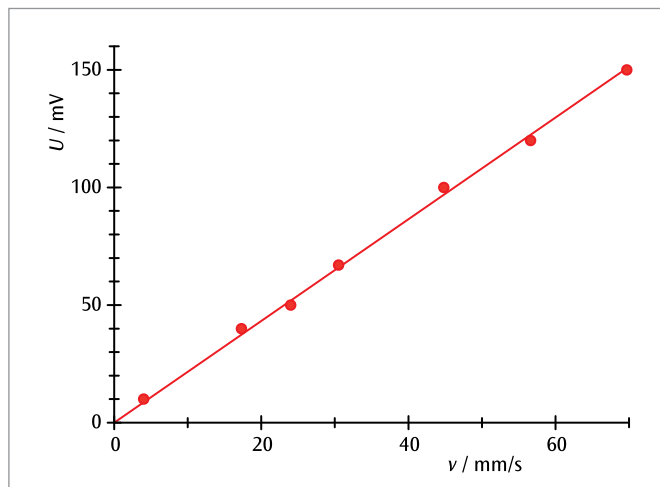
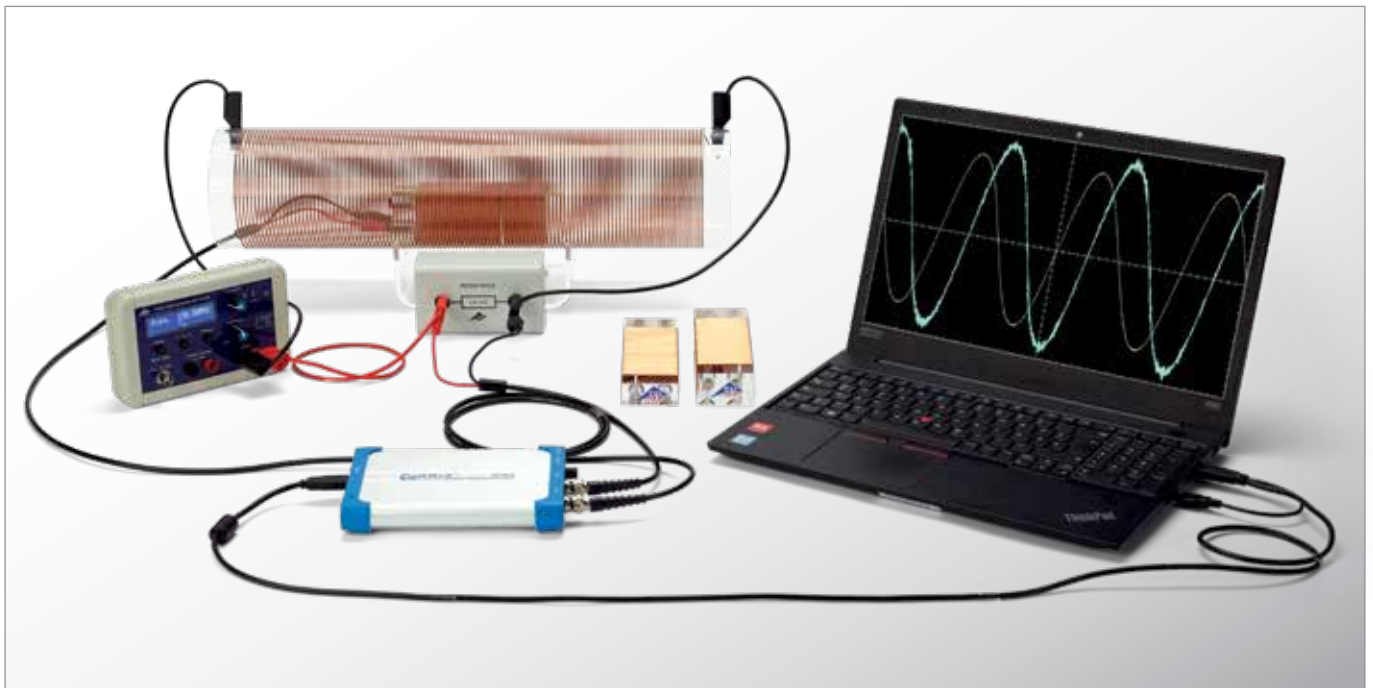


Fig. 2: Tensione indotta in base alla velocità del conduttore ad anello

UE3040300

INDUZIONE IN CAMPO MAGNETICO VARIABILE



> FUNZIONI

- Misurazione della tensione indotta in funzione del numero di spire N della bobina di induzione.
- Misurazione della tensione indotta in funzione della sezione trasversale A della bobina di induzione.
- Misurazione della tensione indotta in funzione dell'ampiezza I_0 della corrente alternata inducente.
- Misurazione della tensione indotta in funzione della frequenza f della corrente alternata inducente.
- Misurazione della tensione indotta in funzione della forma del segnale della corrente alternata inducente.

SCOPO

Misurazione della tensione indotta in una bobina di induzione

RIASSUNTO

Un conduttore con N spire chiuse è posto in un solenoide in cui scorre corrente alternata. La variazione nel tempo del flusso magnetico causa l'induzione di una tensione elettrica ai capi del conduttore. Tale tensione di induzione dipende dal numero di spire, dalla sezione trasversale della spira, così come dalla frequenza, dall'ampiezza e dalla forma del segnale della corrente alternata applicata alla bobina di campo. Si intende analizzare tali dipendenze e confrontarle con la teoria.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Set 3 bobine d'induzione	1000590
1	Bobina di campo 120 mm	1000592
1	Supporto per bobine cilindriche	1000964
1	Resistenze di precisione 1 Ω	1009843
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Coppia di cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002849
1	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718

BASI GENERALI Qualsiasi cambiamento nel flusso magnetico attraverso un circuito chiuso con N giri induce una tensione elettrica al suo interno. Tale cambiamento è ad es. causato quando l'anello del conduttore si trova in una bobina cilindrica attraverso la quale scorre una corrente alternata.

Per la tensione indotta e dipendente dal tempo vale la legge dell'induzione elettromagnetica formulata da Faraday:

$$(1) \quad U(t) = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}(t)$$

Il flusso magnetico Φ che attraversa una superficie A viene così definito

$$(2) \quad \Phi = B \cdot A$$

B : densità di flusso magnetico, quando la densità del flusso magnetico B attraversa la superficie A perpendicolarmente. Dall'equazione (1) consegue che:

$$(3) \quad U(t) = -N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}(t)$$

La bobina di campo genera nel conduttore ad anello la densità di flusso magnetico:

$$(4) \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N_F \cdot I}{L_F}$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$: permeabilità del vuoto, N_F : numero di spire della bobina di campo, L_F : lunghezza della bobina di campo, I : corrente attraverso la bobina di campo

Dall'equazione (3) consegue che:

$$(5) \quad U(t) = -\mu_0 \cdot N \cdot A \cdot \frac{N_F}{L_F} \cdot \frac{dI}{dt}(t)$$

Innanzitutto, nell'esperimento si invia un segnale sinusoidale alla bobina di campo con l'ausilio di un generatore di funzione. L'ampiezza I_0 della corrente $I(t)$ che attraversa la bobina di campo viene determinata mediante una resistenza interposta e collegata in serie. Viene misurata l'ampiezza U_0 della tensione indotta $U(t)$ in funzione del numero di spire N e delle sezioni trasversali A della bobina di induzione, così come della frequenza f del segnale sinusoidale e dell'ampiezza I_0 della corrente che attraversa la bobina di campo. Oltre al segnale sinusoidale, per una bobina di induzione con numero di spire fisso, sezione trasversale fissa e frequenza fissa, vengono inviati alla bobina di campo anche un segnale ad onda triangolare e un segnale ad onda quadra. In ciascuno dei casi vengono eseguiti dei fermoimmagini (screenshot).

ANALISI

Per corrente sinusoidale $I = I(t) = I_0 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$

vale $U(t) = U_0 \cdot [-\cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)]$

con $U_0 = 2 \cdot \pi \cdot \mu_0 \cdot \frac{N_F}{L_F} \cdot N \cdot A \cdot I_0 \cdot f$

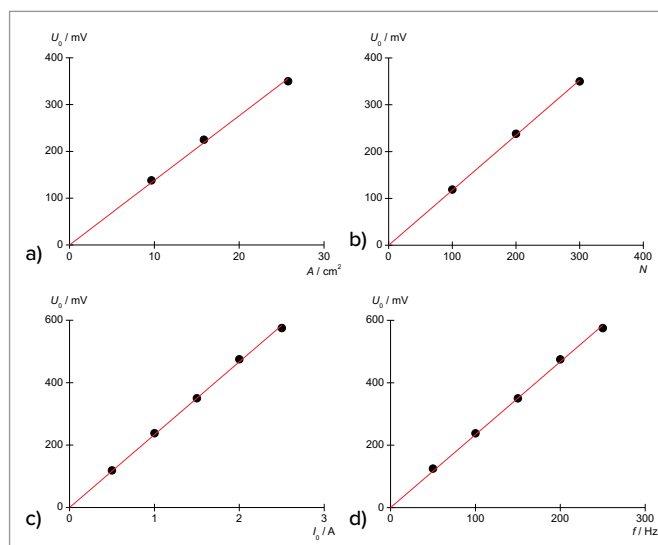


Fig. 1: Ampiezza della tensione indotta in base al numero di spire e alla sezione trasversale della bobina di induzione, all'ampiezza della corrente che attraversa la bobina di campo e alla frequenza del segnale sinusoidale inviato alla bobina di campo.

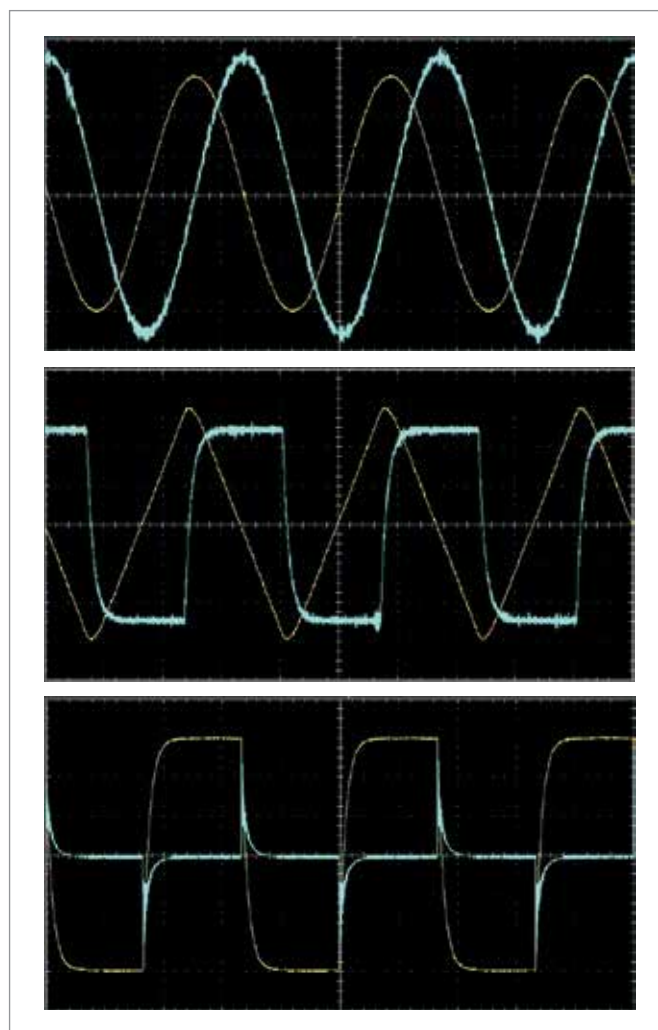


Fig. 2: Fermoimmagine degli andamenti temporali della tensione indotta per il segnale sinusoidale (in alto a destra), il segnale a onda triangolare (in alto a sinistra) e il segnale a onda quadra (in basso).

UE3040400 | PENDOLO DI WALTENHOFEN



> FUNZIONI

- Analisi dello smorzamento magnetico di un pendolo di Waltenhofen nel campo magnetico disomogeneo.
- Dimostrazione dell'inibizione delle correnti di Foucault in un disco di metallo intagliato.

SCOPO

Dimostrazione e analisi del funzionamento di un freno a corrente di Foucault

RIASSUNTO

In un disco di metallo che si sposta attraverso un campo magnetico disomogeneo vengono indotte correnti di Foucault. Su queste correnti di Foucault, il campo magnetico disomogeneo esercita una forza che inibisce il movimento del disco metallico.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Pendolo di Waltenhofen	1000993
1	Base di supporto, 3 gambe, 150 mm	1002835
1	Asta di supporto, 750 mm	1002935
1	Manicotto universale	1002830
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Nucleo a U	1000979
1	Coppia di espansioni polari	1000978
1	Coppia di staffe di bloccaggio	1000977
2	Bobina D con 1200 spire	1000989
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Se un disco di metallo si muove in un campo magnetico disomogeneo, in qualsiasi sezione del disco il flusso magnetico varia costantemente e sulla circonferenza della sezione viene indotta una tensione ad anello. Pertanto, nel disco di metallo scorrono prevalentemente correnti elettriche di Foucault. Nel campo magnetico queste vengono sottoposte a forze di Lorentz che nel complesso inibiscono il movimento del disco. Le correnti di Foucault vengono ridotte drasticamente se il disco di metallo viene intagliato, in modo che la corrente possa fluire da una sezione all'altra solo trasversalmente. In questo caso, il movimento del disco viene inibito solo minimamente.

La comparsa e l'inibizione delle correnti di Foucault possono essere dimostrate in maniera efficace con un pendolo di Waltenhofen. Si tratta di un disco di metallo parzialmente intagliato che oscilla in un campo magnetico disomogeneo.

I (A)	Numero oscillazioni	
	lato non intagliato	lato intagliato
0,25	21	90
0,5	6	59
0,75	3	46
1	2	37
1,25	1	30

Tab. 1 : Numero di oscillazioni del disco di alluminio nel campo magnetico dopo la deviazione dalla posizione di riposo ad una distanza delle espansioni polari di 8 mm e con una deviazione di circa 7 cm.

ANALISI

Quando il lato non intagliato del disco di metallo oscilla nel campo magnetico disomogeneo, le oscillazioni vengono smorzate. L'intensità dello smorzamento è proporzionale alle dimensioni del campo magnetico. Le correnti di Foucault vengono indotte all'interno del disco di metallo. Su queste correnti, il campo magnetico disomogeneo nel suo complesso esercita una forza contro il movimento (cfr. legge di Lenz). Quando il lato intagliato del disco di metallo oscilla nel campo magnetico disomogeneo, lo smorzamento è solo minimo, in quanto qui le correnti di Foucault possono formarsi solo in maniera ridotta.

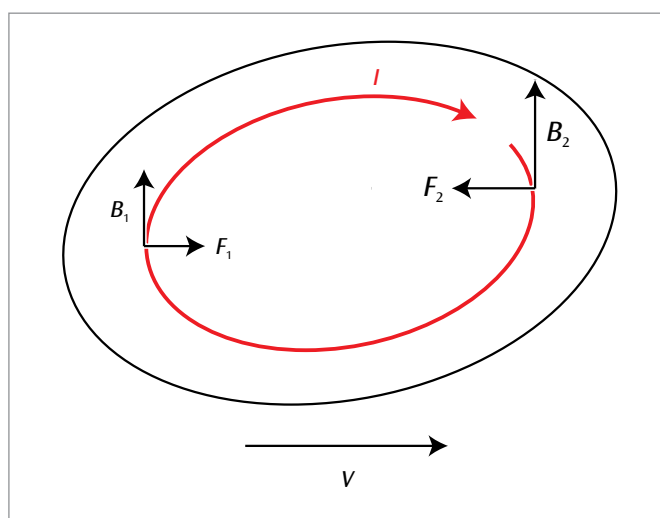


Fig. 1: Corrente di Foucault I in un disco di metallo spostato ad una velocità v in un campo magnetico disomogeneo B_1, B_2 e con forze di Lorentz F_1 e F_2 su entrambe le diramazioni della corrente di Foucault. La forza rivolta contro il movimento è superiore alla forza in direzione di movimento.

UE3040500 | TRASFORMATORE



> FUNZIONI

- Misurazione della tensione secondaria in funzione della tensione primaria con funzionamento a vuoto con numeri di spire fissi.
- Misurazione della corrente primaria in funzione della corrente secondaria con corto circuito e numeri interi di spire.
- Misurazione della tensione primaria, della corrente primaria, della tensione secondaria e della corrente secondaria con una determinata resistenza di carico.
- Determinazione della perdita di potenza e del rendimento.

SCOPO

Misurazioni su un trasformatore sotto carico e non sotto carico

RIASSUNTO

I trasformatori sono convertitori di tensione che si basano sulla legge di induzione di Faraday. Sono utilizzati in particolare per la trasmissione di potenza elettrica su lunghe distanze, per ridurre al minimo le perdite di potenza, tramite una trasformazione alle tensioni più elevate possibili con corrispondenti correnti basse. Nell'esperimento, dalle correnti e le tensioni misurate a vuoto, in cortocircuito e sotto carico è verificata la proporzionalità rispettivamente diretta e inversa dei rapporti di tensione e di corrente per il rapporto dei numeri interi delle spire e si calcolano la perdita di potenza e il rendimento.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Bobina D con 600 spire	1000988
1	Bobina D con 1200 spire	1000989
1	Nucleo del trasformatore D	1000976
1	Trasformatore con raddrizzatore 2/ 4/ 6/ 8/ 10/ 12/ 14 V, 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003558
	Trasformatore con raddrizzatore 2/ 4/ 6/ 8/ 10/ 12/ 14 V, 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003557
2	Multimetro digitale P3340	1002785
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

I trasformatori sono convertitori di tensione che si basano sulla legge di induzione di Faraday. Sono utilizzati in particolare per la trasmissione di potenza elettrica su lunghe distanze, per ridurre al minimo le perdite di potenza, tramite una trasformazione alle tensioni più elevate possibili con corrispondenti correnti basse.

Un trasformatore, nella versione più semplice, è costituito da due bobine accoppiate, la bobina primaria con numero di spire N_1 e la bobina secondaria con numero di spire N_2 , che racchiudono un'anima in ferro comune. Il flusso magnetico Φ_1 della bobina primaria attraversata dalla corrente I_1 attraversa completamente la bobina secondaria. Qui di seguito viene considerato il trasformatore ideale, vale a dire quello senza perdita di potenza. Con il trasformatore non sotto carico nel circuito secondario non scorre corrente, vale a dire $I_2 = 0$. Se alla bobina primaria viene applicata una tensione alternata U_1 scorre la corrente a vuoto I_1 , che crea un flusso magnetico Φ_1 e che induce quindi una tensione U_{ind} . Questa tensione d'induzione è, per la legge delle maglie di Kirchhoff

$U_1 + U_{ind} = 0$ uguale a U_1 :

$$(1) \quad U_{ind} = -L_1 \cdot \frac{dI_1}{dt} = -N_1 \cdot \frac{d\Phi_1}{dt} = -U_1$$

L_1 : induttività della bobina primaria

Φ_1 : flusso magnetico creato da I_1

Poiché il flusso magnetico Φ_1 attraversa completamente la bobina secondaria, in quest'ultima viene indotta una tensione

$$(2) \quad U_2 = -N_2 \cdot \frac{d\Phi_1}{dt}$$

Da (1) e (2) deriva infine:

$$(3) \quad \frac{U_2}{U_1} = -\frac{N_2}{N_1}$$

Il segno meno indica che U_1 e U_2 con la stessa direzione delle spire sono sfasate di 180° o che con direzione delle spire opposta sono in fase.

Con il trasformatore sotto carico nella bobina secondaria scorre una corrente $I_2 = U_2 / R$, dove R è la resistenza ohmica dell'utenza. Questa corrente crea un flusso magnetico Φ_2 , che a causa della legge di Lenz è contrapposto al flusso magnetico Φ_1 creato dalla corrente primaria I_1 . Poiché la tensione primaria U_1 rimane costante, la corrente primaria I_1 aumenta. Nel caso ideale la potenza ceduta dalla bobina secondaria P_2 è uguale alla potenza assorbita dalla bobina primaria P_1 :

$$(4) \quad P_1 = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 = P_2$$

Insieme con (3) ne consegue:

$$(5) \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Nell'esperimento viene innanzitutto collegato un voltmetro al lato secondario e con funzionamento a vuoto ($I_{2c} = 0$) vengono misurate la tensione secondaria U_{20} in funzione della tensione primaria U_{10} per un rapporto fisso di numeri interi di avvolgimenti $N_1/N_2 = 1/2$. Successivamente il lato secondario viene cortocircuitato tramite un voltmetro ($U_{2c} = 0$) e viene misurata la corrente primaria I_{1c} in funzione della corrente secondaria I_{2c} per un rapporto fisso di numeri interi di avvolgimenti $N_1/N_2 = 1/2$. Infine viene collegata una resistenza di carico $R = 2 \Omega$ sul lato secondario e vengono misurate la tensione primaria U_1 , la corrente primaria I_1 , la tensione secondaria U_2 e la corrente secondaria I_2 per una rapporto fisso di numeri interi di avvolgimenti $N_1/N_2 = 1/2$.

ANALISI

Dall'equazione (3) si ricavano i valori delle tensioni

$$U_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1$$

e dall'equazione (5) lo stesso per le correnti

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2$$

Quindi le pendenze nei diagrammi delle figure 2 e 3 sono determinati dai rapporti dei numeri di spire.

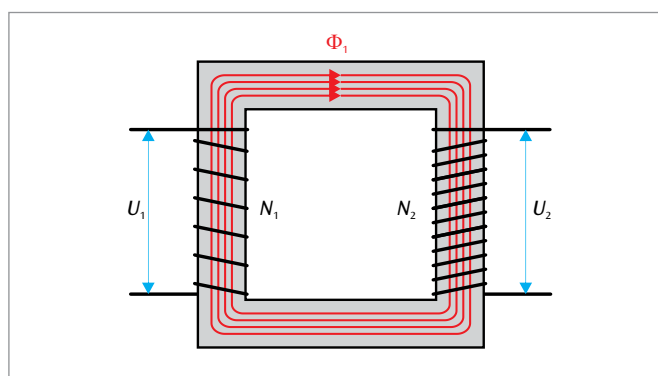


Fig. 1: Rappresentazione schematica per il trasformatore

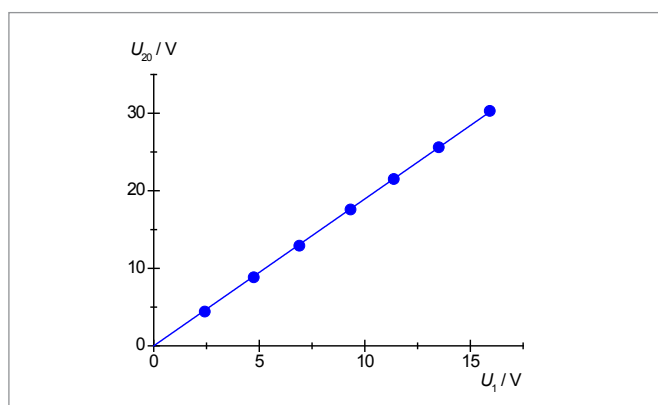


Fig. 2: Tensione secondaria U_{20} in funzione della tensione primaria U_{10} con funzionamento a vuoto ($I_{20} = 0$), $N_1 = 600$, $N_2 = 1200$

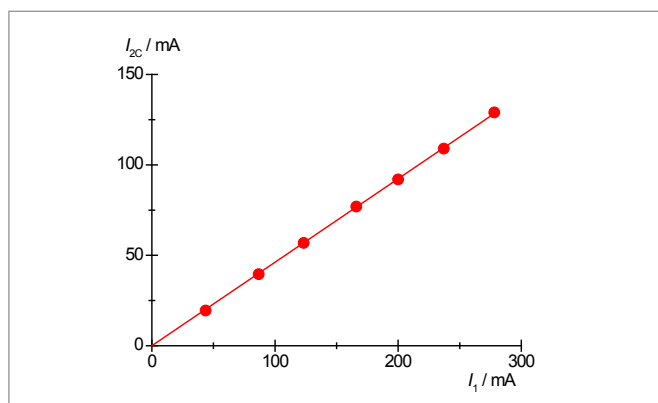
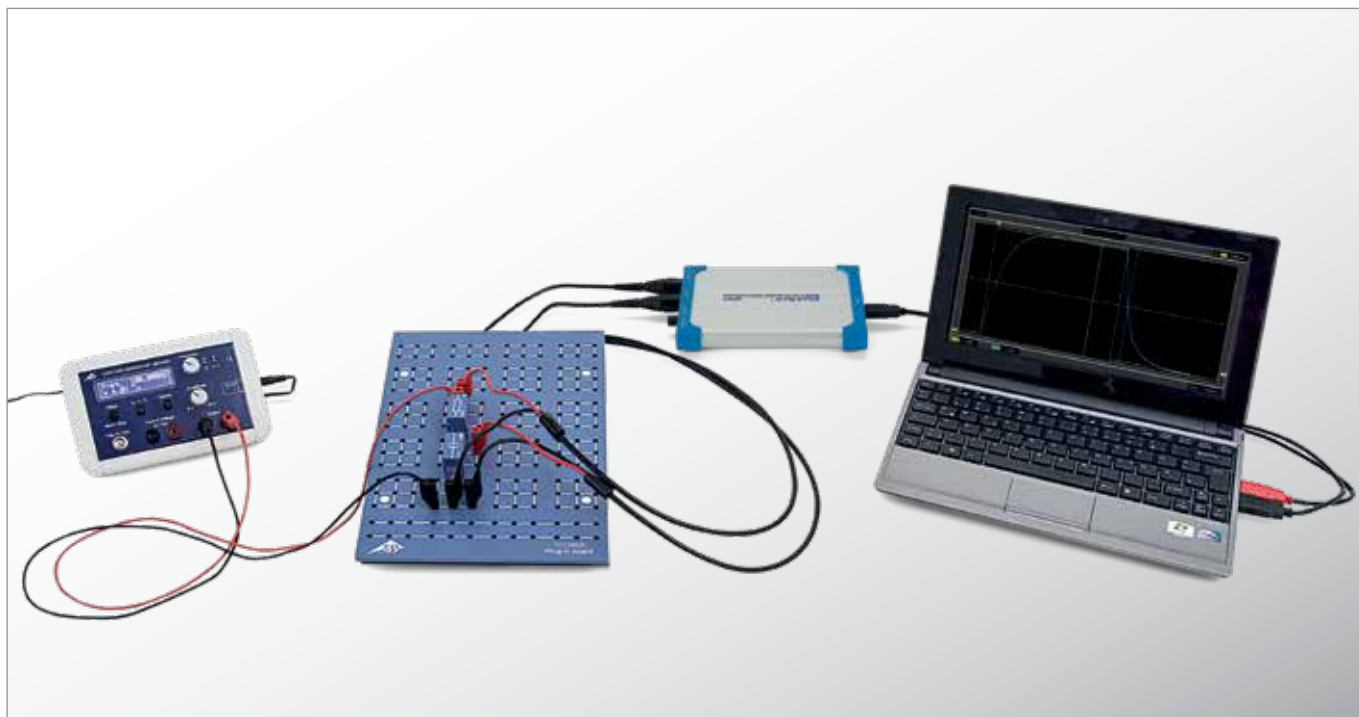


Fig. 3: Corrente primaria I_{1c} in funzione della corrente secondaria I_{2c} con cortocircuito ($U_{2c} = 0$), $N_1 = 600$, $N_2 = 1200$

UE3050101

CARICA E SCARICA DI UN CONDENSATORE I



> FUNZIONI

- Misurazione della tensione del condensatore durante la carica e la scarica tramite accensione e spegnimento di una tensione continua.
- Determinazione del tempo di dimezzamento durante la carica e la scarica.
- Analisi della dipendenza del tempo di dimezzamento da capacità e resistenza.

SCOPO

Analisi dell'andamento della tensione durante la carica e la scarica di un condensatore

RIASSUNTO

In un circuito a corrente continua attraverso un condensatore passa corrente solo durante l'accensione o lo spegnimento. Tramite la corrente, il condensatore viene caricato all'accensione, fino al raggiungimento della tensione applicata, e scaricato allo spegnimento, finché la tensione non ha raggiunto lo zero. L'andamento della tensione del condensatore può essere rappresentato come funzione esponenziale, ovvero nel tempo di dimezzamento $T_{1/2}$, la tensione del condensatore si riduce della metà. Lo stesso tempo trascorre per la diminuzione dalla metà ad un quarto e da un quarto ad un ottavo. Il tempo di dimezzamento è proporzionale a capacità e resistenza.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
1	Resistenza 470 Ω , 2 W, P2W19	1012914
1	Resistenza 1 k Ω , 2 W, P2W19	1012916
1	Resistenza 2,2 k Ω , 2 W, P2W19	1012918
3	Condensatore 1 μ F, 100 V, P2W19	1012955
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840
1	Set di 10 connettori a nastro, P2W19	1012985

BASI GENERALI

In un circuito a corrente continua, attraverso un condensatore passa corrente solo durante l'accensione o lo spegnimento. Tramite la corrente, il condensatore viene caricato all'accensione, fino al raggiungimento della tensione applicata, e scaricato allo spegnimento, finché la tensione non ha raggiunto lo zero. L'andamento della tensione del condensatore può essere rappresentato come funzione esponenziale.

Per un circuito a corrente continua con capacità C , resistenza R e tensione continua U_0 vale all'accensione

$$(1) \quad U(t) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t \ln 2}{T_{1/2}}}\right)$$

e allo spegnimento

$$(2) \quad U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t \ln 2}{T_{1/2}}}$$

con

$$(3) \quad T_{1/2} = \ln 2 \cdot R \cdot C$$

$T_{1/2}$ è il tempo di dimezzamento; vale a dire entro il tempo $T_{1/2}$ la tensione del condensatore si riduce della metà. Lo stesso tempo trascorre per la diminuzione dalla metà ad un quarto e da un quarto ad un ottavo. Nell'esperimento viene verificato questo comportamento. A tale scopo viene registrato l'andamento temporale della tensione del condensatore con un oscilloscopio con memoria. Poiché la tensione continua U_0 è fissata a 8 V, è possibile rilevare facilmente la metà, un quarto e un ottavo di questo valore.

ANALISI

La corrispondenza dei valori determinati dalle diverse sezioni della curva di carica e/o di scarica per il tempo di dimezzamento conferma l'andamento esponenziale previsto, vedere (1) e (2). La rappresentazione dei tempi di dimezzamento determinati in funzione della resistenza e/o della capacità mostra che i valori misurati possono essere adattati a una retta passante per l'origine, vedere (3).

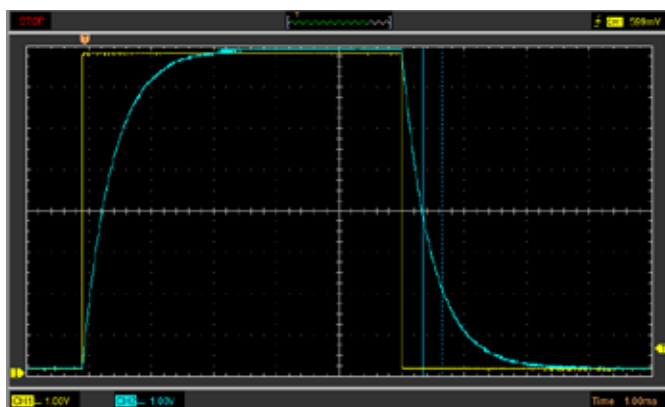


Fig. 1: Tensione del condensatore registrata sull'oscilloscopio durante la carica e la scarica

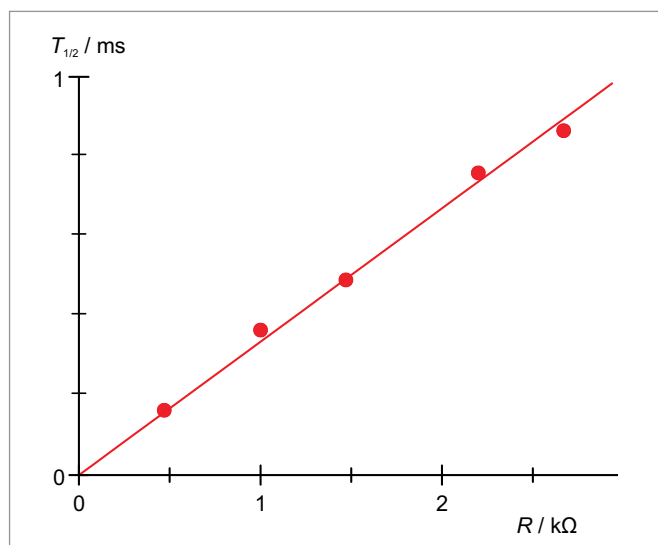


Fig. 2: Tempo di dimezzamento $T_{1/2}$ in funzione della resistenza R

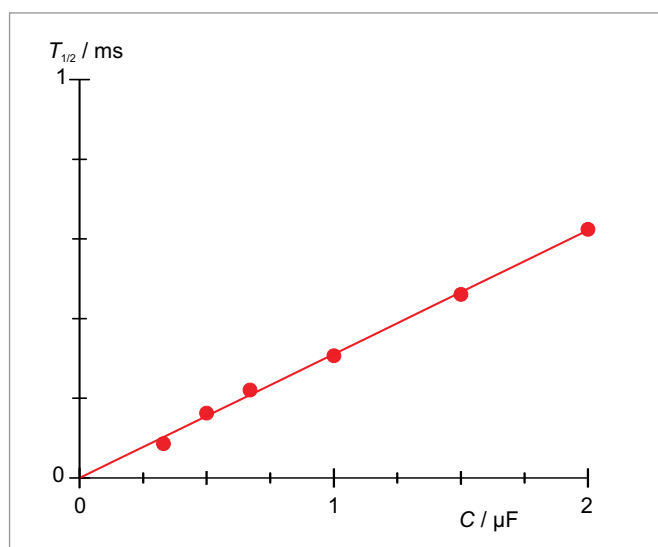


Fig. 3: Tempo di dimezzamento $T_{1/2}$ in funzione della capacità C

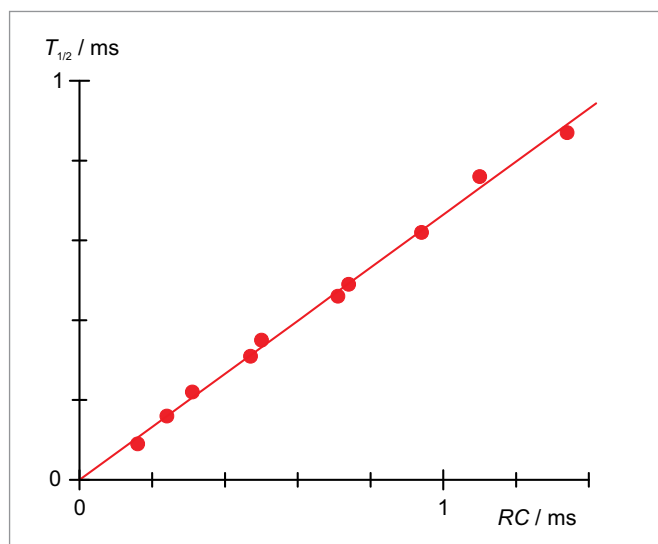


Fig. 4: Tempo di dimezzamento $T_{1/2}$ in funzione del prodotto $R \cdot C$

UE3050105

CARICA E SCARICA DI UN CONDENSATORE II



> FUNZIONI

- Registrazione punto per punto dell'andamento della tensione del condensatore in fase di carica attraverso la misurazione dei tempi di carica.
- Registrazione punto per punto dell'andamento della tensione del condensatore in fase di scarica attraverso la misurazione dei tempi di scarica.
- Determinazione delle capacità e delle resistenze interne attraverso la misurazione dei tempi di carica e scarica nonché confronto con parametri esterni noti.

SCOPO

Misurazione dei tempi di carica e scarica

RIASSUNTO

La curva di scarica di un condensatore viene analizzata punto per punto misurando i tempi di carica fino al raggiungimento delle tensioni di confronto predefinite. Allo stesso modo viene misurata anche la curva di carica. Dai valori misurati si ricavano i dati delle resistenze e dei condensatori coinvolti.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio di carica e di scarica (230 V, 50/60 Hz)	1017781 o
	Apparecchio di carica e di scarica (115 V, 50/60 Hz)	1017780
1	Condensatore 1000 μ F, 16 V, P2W19	1017806
1	Resistenza 10 k Ω , 0,5 W, P2W19	1012922
Ulteriormente consigliato:		
1	Multimetro digitale P1035	1002781

BASI GENERALI

In un circuito a corrente continua, attraverso un condensatore passa corrente solo durante l'accensione o lo spegnimento. Tramite la corrente, il condensatore viene caricato all'accensione, fino al raggiungimento della tensione applicata, e scaricato allo spegnimento, finché la tensione non ha raggiunto lo zero.

Per un circuito a corrente continua con capacità C , resistenza R e tensione continua U_0 vale all'accensione

$$(1) \quad U(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

e allo spegnimento

$$(2) \quad U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

con la costante di tempo

$$(3) \quad \tau = R \cdot C$$

Per verificare tale correlazione, nell'esperimento vengono misurati i tempi necessari al raggiungimento delle tensioni di confronto predefinite. Il cronometro viene pertanto avviato con la fase di carica o scarica e successivamente arrestato per mezzo di un comparatore non appena la tensione di confronto risulta raggiunta. La misurazione di diverse tensioni di confronto consente di analizzare punto per punto la curva di carica e scarica.

Interessante dal punto di vista pratico è anche il tempo

$$(4) \quad t_{5\%} = -\ln(5\%) \cdot R \cdot C \approx 3 \cdot R \cdot C$$

in cui la tensione del condensatore in fase di scarica raggiunge il 5% del valore di default U_0 e in fase di carica raggiunge il 95% del valore finale U_0 . Tramite la misurazione di $t_{5\%}$ è possibile monitorare ad es. i parametri R e C .

ANALISI

Con resistenza esterna nota R_{ext} , la capacità esterna C_{ext} viene calcolata in base a (4) dal tempo $t_{5\%}$:

$$C_{\text{ext}} = \frac{t_{5\%}}{3 \cdot R_{\text{ext}}}$$

La capacità esterna così determinata viene collegata in parallelo alla capacità interna ignota C_{int} ai fini del rilevamento in un confronto dei tempi di carica e scarica.

Le tre resistenze interne ancora ignote $R_{\text{int},i}$ si ottengono infine dai rispettivi tempi di carica e scarica:

$$R_{\text{int},i} = \frac{t_{5\%,i}}{3 \cdot C_{\text{int}}}$$

con $i = 1, 2, 3$

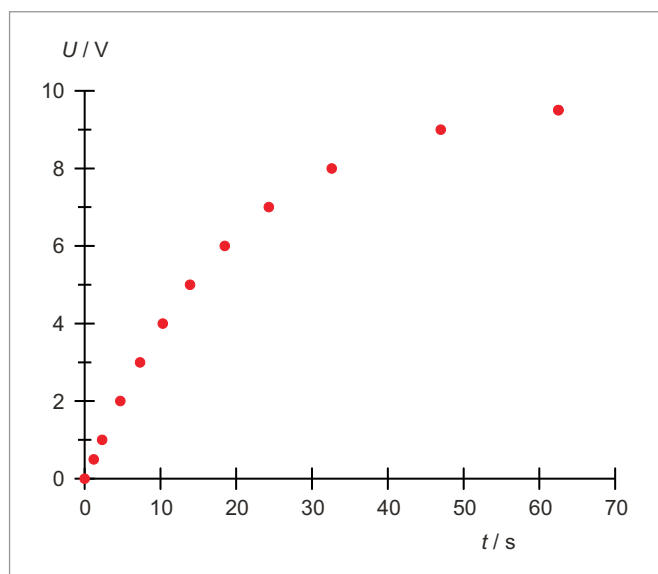


Fig. 1: Curva di carica di una coppia RC interna

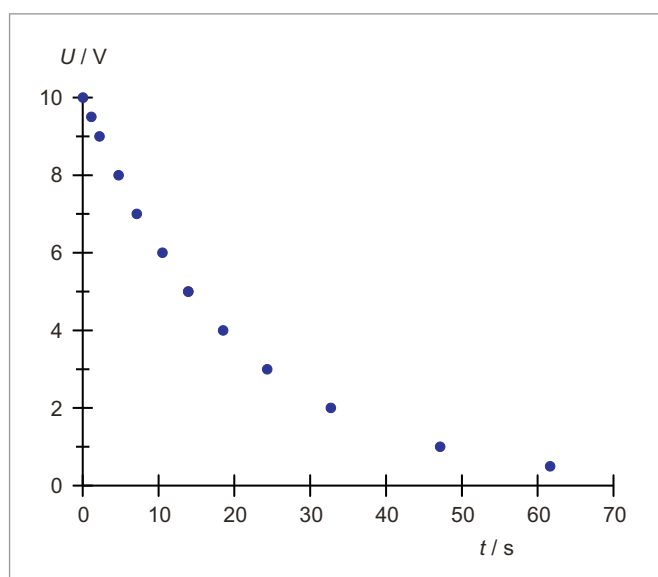
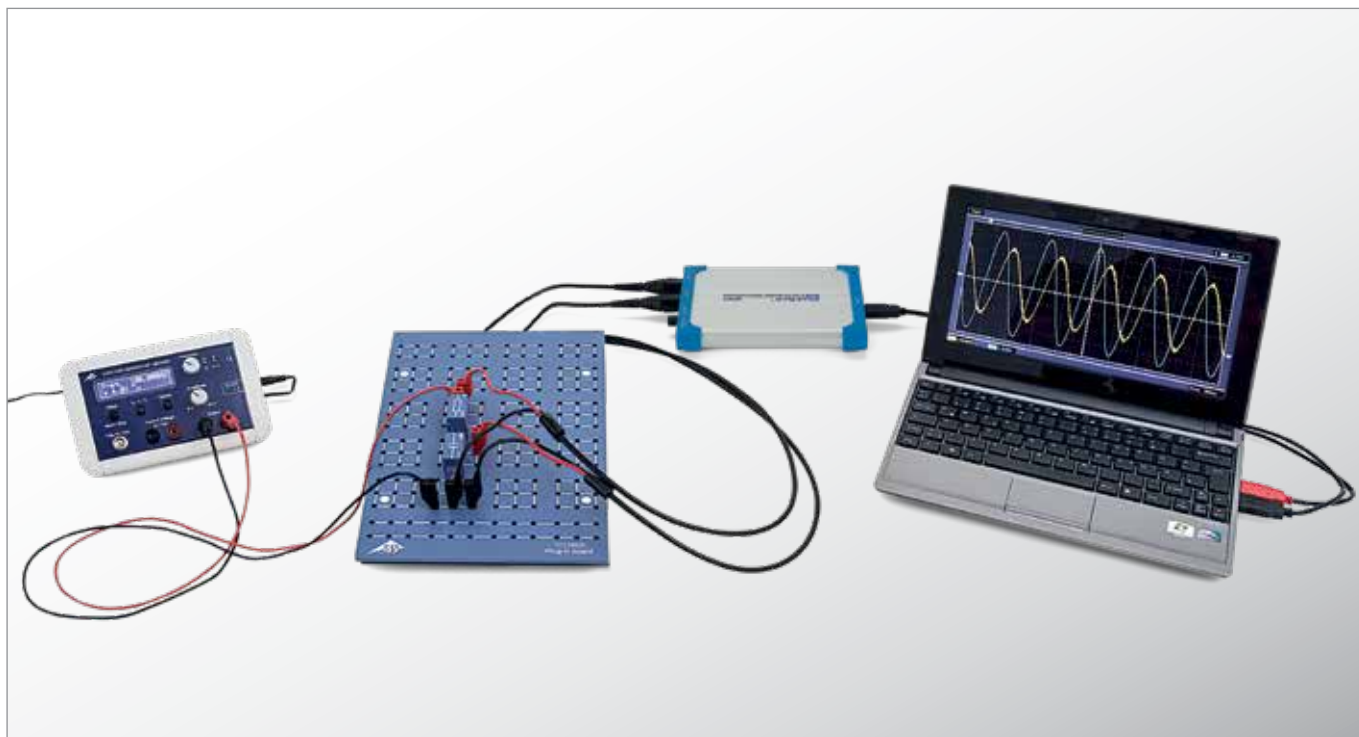


Fig. 2: Curva di scarica di una coppia RC interna

UE3050111 | RESISTENZA DI UN CONDENSATORE NEL CIRCUITO A CORRENTE ALTERNATA



> FUNZIONI

- Determinazione di modulo e fase della resistenza capacitiva in funzione della capacità.
- Determinazione di modulo e fase della resistenza capacitiva in funzione della frequenza.

SCOPO

Determinazione della resistenza capacitiva in funzione di capacità e frequenza

RIASSUNTO

Qualsiasi variazione della tensione su un condensatore provoca una corrente attraverso il condensatore. Se viene applicata tensione alternata, fluirà corrente alternata con uno spostamento di fase rispetto alla tensione. Nell'esperienza, un generatore di funzione fornisce tensione alternata con frequenze fino a 3 kHz. Un oscilloscopio a due canali registra corrente e tensione, in modo da rilevare ampiezza e fase di entrambe le grandezze. La corrente attraverso il condensatore corrisponde alla caduta di tensione di una resistenza di misura il cui valore è trascurabile rispetto alla resistenza capacitiva.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
1	Resistenza 1 Ω , 2 W, P2W19	1012903
1	Resistenza 10 Ω , 2 W, P2W19	1012904
3	Condensatore 1 μF , 100 V, P2W19	1012955
1	Condensatore 0,1 μF , 100 V, P2W19	1012953
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840

BASI GENERALI

Qualsiasi variazione della tensione su un condensatore provoca una corrente attraverso il condensatore. Se viene applicata tensione alternata, fluirà corrente alternata con uno spostamento di fase rispetto alla tensione. Matematicamente, questa relazione è descrivibile con più semplicità utilizzando corrente, tensione e impedenza come grandezze complesse e osservandone le parti reali.

Dall'equazione del condensatore segue direttamente

$$(1) \quad I = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

I : Corrente, U : Tensione, C : Capacità

L'applicazione di una tensione

$$(2) \quad U = U_0 \cdot \exp(i \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)$$

provoca quindi la corrente

$$(3) \quad I = i \cdot \omega \cdot C \cdot U_0 \cdot \exp(i \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)$$

ed è possibile assegnare alla capacità C la "resistenza complessa", o reattanza

$$(4) \quad X_c = \frac{U}{I} = \frac{1}{i \cdot 2\pi \cdot f \cdot C}$$

Solo la parte reale di queste grandezze è misurabile, quindi

$$(5a) \quad U = U_0 \cdot \cos \omega t$$

$$(6a) \quad I = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot U_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$= I_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$(7a) \quad X_c = \frac{U_0}{I_0} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

Nell'esperimento, un generatore di funzione fornisce tensione alternata con frequenze fino a 3 kHz. Un oscilloscopio a due canali registra corrente e tensione, in modo da rilevare ampiezza e fase di entrambe le grandezze. La corrente attraverso il condensatore corrisponde alla caduta di tensione di una resistenza di misura il cui valore è trascurabile rispetto alla resistenza capacitiva.

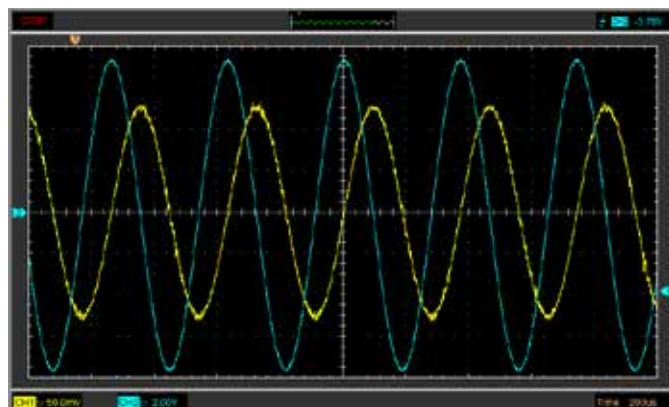


Fig. 1: Condensatore nel circuito a corrente alternata: andamento di corrente e tensione

ANALISI

Secondo l'equazione (4), la resistenza capacitiva X_c è proporzionale al reciproco della frequenza f e al reciproco della capacità C . Nei diagrammi corrispondenti, i valori di misurazione si trovano pertanto su una retta passante per l'origine nei limiti della precisione di misura.

La corrente nel condensatore precede la tensione nel condensatore nella fase di 90° , in quanto la corrente di carica (segno positivo) e la corrente di scarica (segno negativo) sono al massimo quando la tensione raggiunge il proprio passaggio attraverso lo zero.

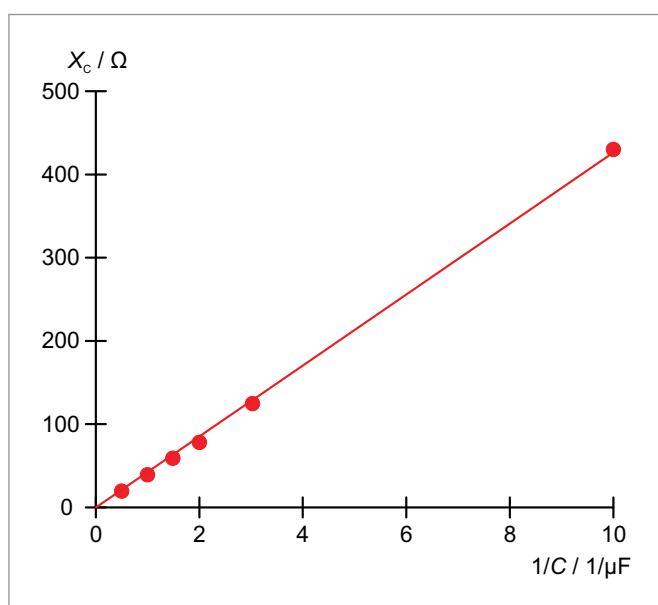


Fig. 2: Resistenza capacitiva X_c come funzione del reciproco della capacità C

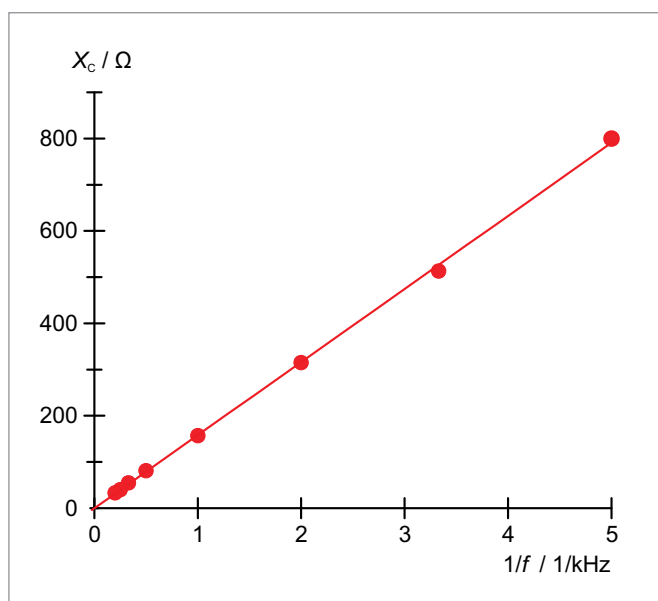
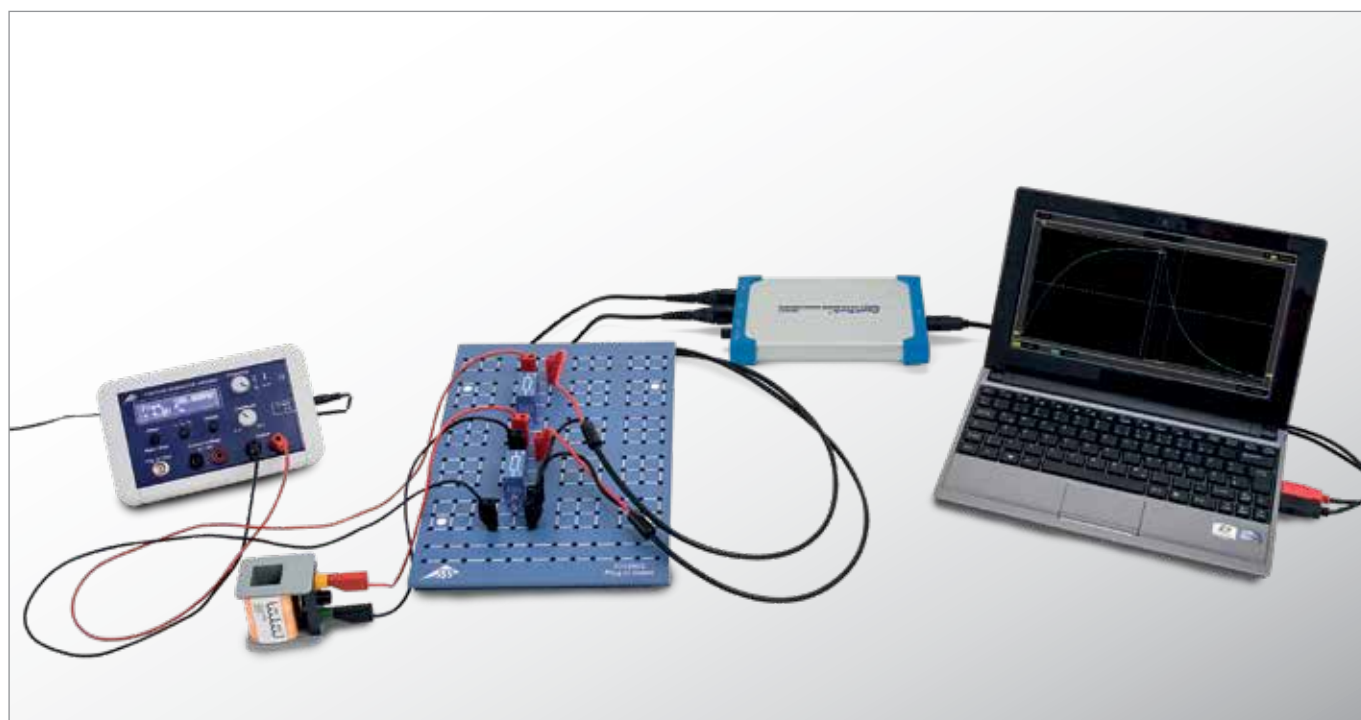


Fig. 3: Resistenza capacitiva X_c come funzione del reciproco della frequenza f

UE3050201

CARICA E SCARICA DI UNA BOBINA



> FUNZIONI

- Misurazione della corrente della bobina all'inserimento e al disinserimento di una tensione continua.
- Determinazione del tempo di dimezzamento all'inserimento e al disinserimento di una tensione continua.
- Analisi della dipendenza del tempo di dimezzamento da induttanza e resistenza.

SCOPO

Analisi dell'andamento della corrente della bobina all'inserimento e al disinserimento di una tensione continua

RIASSUNTO

Il comportamento di una bobina in un circuito a corrente continua varia non appena la tensione continua viene inserita o disinserita. La variazione di corrente viene ritardata dall'autoinduzione nella bobina, finché non si raggiunge all'inserimento il valore massimo e al disinserimento il valore zero. L'andamento della corrente della bobina può essere rappresentato come funzione esponenziale, ovvero nel tempo di dimezzamento $T_{1/2}$, la corrente della bobina si riduce della metà. Lo stesso tempo trascorre per la diminuzione dalla metà ad un quarto e da un quarto ad un ottavo. Il tempo di dimezzamento è proporzionale a induttanza e resistenza.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
1	Resistenza 1 Ω , 2 W, P2W19	1012903
1	Resistenza 10 Ω , 2 W, P2W19	1012904
1	Resistenza 22 Ω , 2 W, P2W19	1012907
1	Resistenza 47 Ω , 2 W, P2W19	1012908
1	Resistenza 150 Ω , 2 W, P2W19	1012911
1	Set di 10 connettori a nastro, P2W19	1012985
2	Bobina S con 1200 spire	1001002
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840

BASI GENERALI

Il comportamento di una bobina in un circuito a corrente continua varia non appena la tensione continua viene inserita o disinserita. La variazione di corrente viene ritardata dall'autoinduzione nella bobina, finché non si raggiunge all'inserimento il valore massimo e al disinserimento il valore zero. L'andamento della corrente della bobina può essere rappresentato come funzione esponenziale.

Per un circuito a corrente continua con induttanza L , resistenza R e tensione continua U_0 vale all'accensione

$$(1) \quad I(t) = I_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t \ln 2}{T_{1/2}}})$$

e allo spegnimento

$$(2) \quad I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t \ln 2}{T_{1/2}}}$$

con

$$(3) \quad T_{1/2} = \ln 2 \cdot \frac{L}{R}$$

$T_{1/2}$ è il tempo di dimezzamento; vale a dire nel tempo $T_{1/2}$ la corrente della bobina si riduce della metà. Lo stesso tempo trascorre per la diminuzione dalla metà ad un quarto e da un quarto ad un ottavo.

Nell'esperimento viene verificato questo comportamento. A tale scopo viene registrato l'andamento temporale della corrente della bobina con un oscilloscopio con memoria. Viene misurata la corrente come caduta di tensione su una resistenza di misura collegata in serie R_M . La corrente I_0 è selezionata in modo tale da rilevare facilmente la metà, un quarto e un ottavo di questo valore.

ANALISI

La corrispondenza dei valori determinati dalle diverse sezioni della curva di carica e/o di scarica per il tempo di dimezzamento conferma l'andamento esponenziale previsto, vedere (1) e (2). La rappresentazione dei tempi di dimezzamento determinati in funzione della resistenza e/o dell'induttanza mostra che i valori misurati si adattano a una retta passante per l'origine, vedere (3).

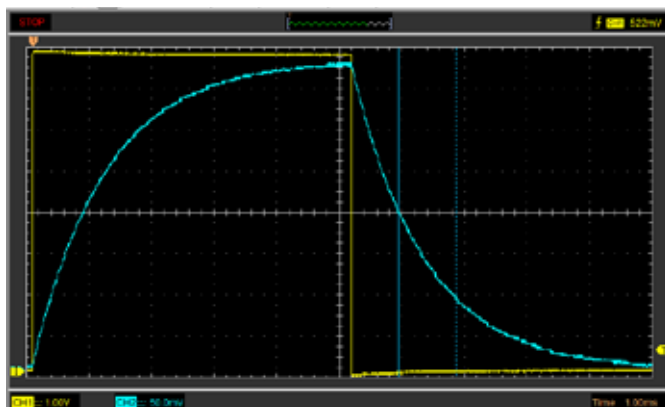


Fig. 1: Corrente della bobina registrata sull'oscilloscopio durante la carica e la scarica

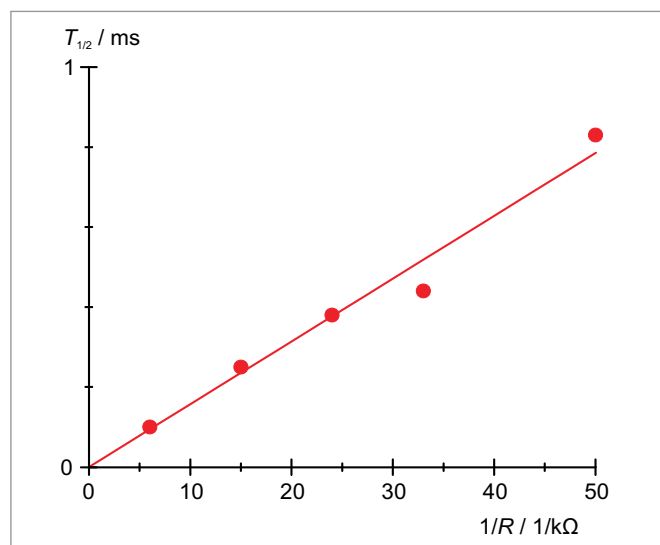


Fig. 2: Tempo di dimezzamento $T_{1/2}$ come funzione del reciproco della resistenza R

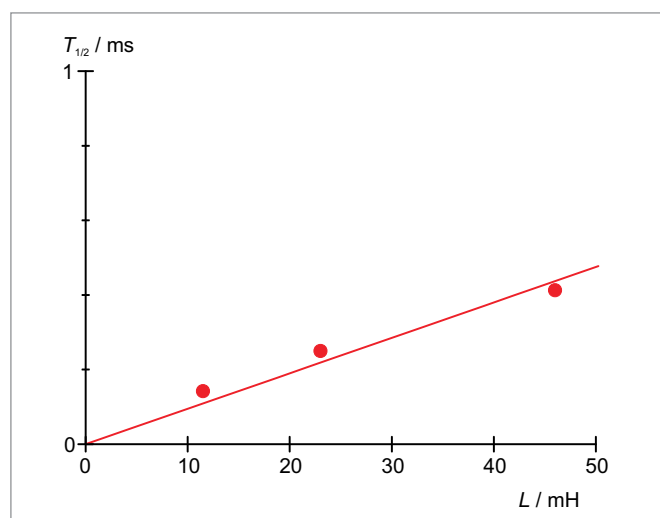


Fig. 3: Tempo di dimezzamento $T_{1/2}$ in funzione dell'induttanza L

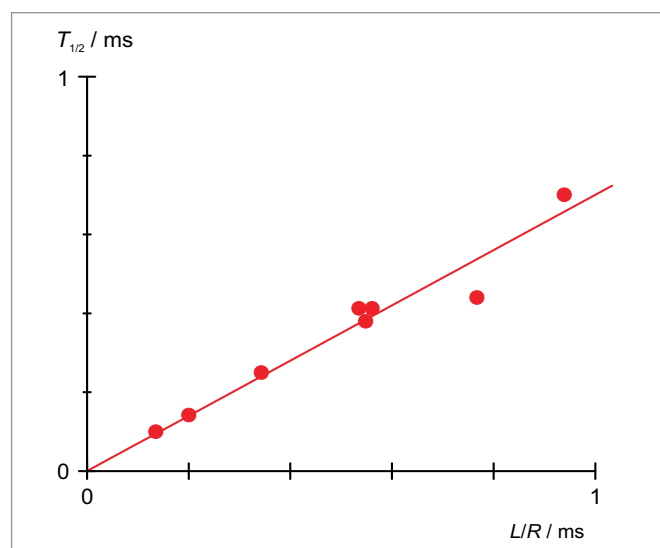
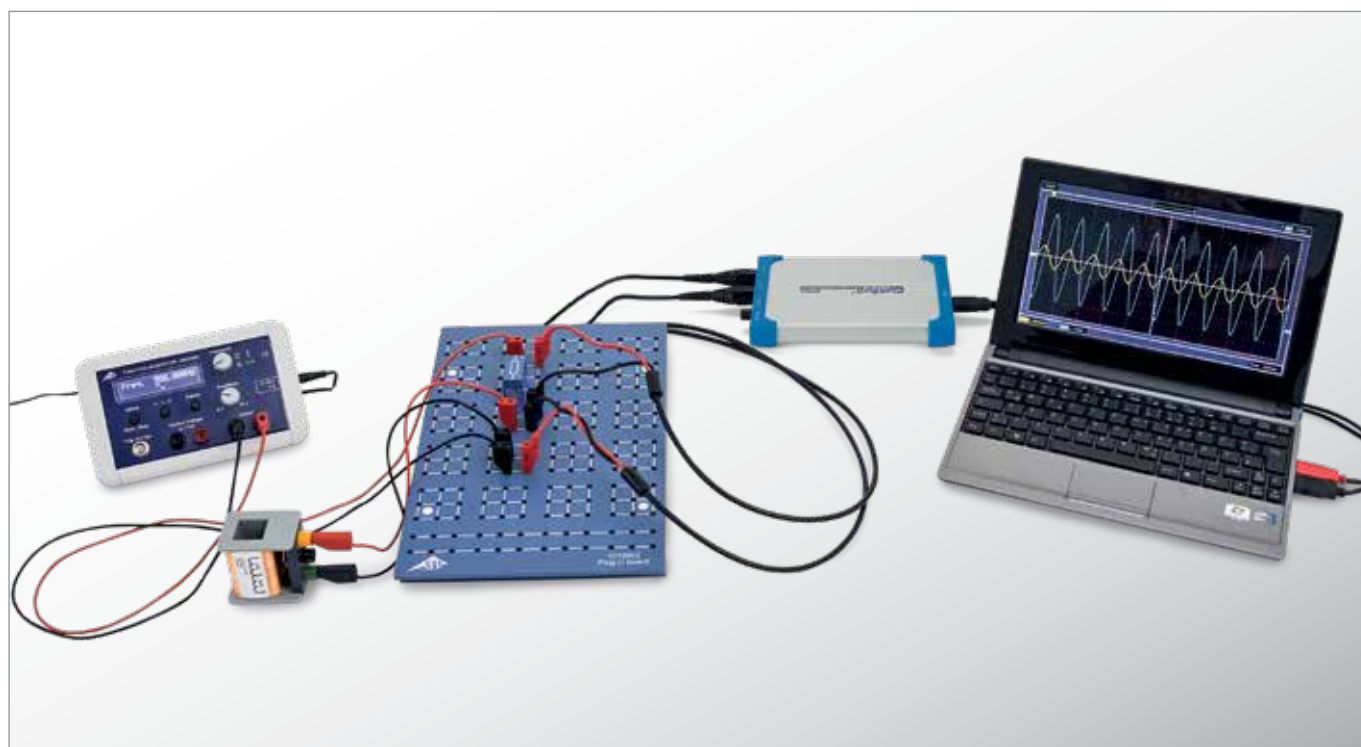


Fig. 4: Tempo di dimezzamento $T_{1/2}$ in funzione di $\frac{L}{R}$

UE3050211 | RESISTENZA DI UNA BOBINA NEL CIRCUITO A CORRENTE ALTERNATA



> FUNZIONI

- Determinazione di modulo e fase della resistenza induttiva in funzione dell'induttanza.
- Determinazione di modulo e fase della resistenza induttiva in funzione della frequenza.

SCOPO

Determinazione della resistenza induttiva in funzione di induttanza e frequenza

RIASSUNTO

Qualsiasi variazione della corrente causata da una bobina induce una tensione. In presenza di corrente alternata, la tensione alternata viene indotta con uno spostamento di fase rispetto alla corrente. Matematicamente, questa relazione è descrivibile con più semplicità utilizzando corrente, tensione e impedenza come grandezze complesse e osservandone le parti reali. Nell'esperimento, un generatore di funzione fornisce tensione alternata con frequenze fino a 2 kHz. Un oscilloscopio a due canali registra corrente e tensione, in modo da rilevare ampiezza e fase di entrambe le grandezze. La corrente generata dalla bobina corrisponde alla caduta di tensione di una resistenza di misura il cui valore è trascurabile rispetto alla resistenza induttiva.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
2	Bobina S con 1200 spire	1001002
1	Resistenza 10 Ω , 2 W, P2W19	1012904
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840

BASI GENERALI

Qualsiasi variazione della corrente generata da una bobina induce una forza contro elettromotrice che agisce in direzione opposta alla variazione di corrente. Nei circuiti a corrente alternata, la tensione della bobina precede pertanto la corrente generata dalla bobina. Matematicamente, questa relazione è descrivibile con più semplicità utilizzando corrente, tensione e impedenza come grandezze complesse e osservandone le parti reali.

La relazione corrente - tensione per una bobina è la seguente:

$$(1) \quad U = L \cdot \frac{di}{dt}$$

i : Corrente, U : Tensione, L : Induttanza

Con una tensione

$$(2) \quad U = U_0 \cdot \exp(i \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)$$

la corrente è quindi data da

$$(3) \quad i = \frac{U_0}{i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L} \cdot \exp(i \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)$$

È possibile pertanto assegnare all'induttanza L la "resistenza complessa", o reattanza

$$(4) \quad X_L = \frac{U}{i} = i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L$$

Solo la parte reale di queste grandezze è misurabile, quindi

$$(5a) \quad U = U_0 \cdot \cos \omega t$$

$$(6a) \quad i = \frac{U_0}{2\pi \cdot f \cdot L} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$= I_0 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$(7a) \quad X_L = \frac{U_0}{I_0} = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Nell'esperimento, un generatore di funzione fornisce tensione alternata con frequenze fino a 2 kHz. Un oscilloscopio a due canali registra corrente e tensione, in modo da rilevare ampiezza e fase di entrambe le grandezze. La corrente generata dalla bobina corrisponde alla caduta di tensione di una resistenza di misura il cui valore è trascurabile rispetto alla resistenza induttiva.

ANALISI

Secondo l'equazione (4), la resistenza induttiva X_L è proporzionale alla frequenza f e all'induttanza L . Nei diagrammi corrispondenti, i valori misurati si trovano pertanto su una retta passante per l'origine nei limiti della precisione di misurazione. La corrente generata dalla bobina ritarda la tensione dalla bobina nella fase di 90° , poiché ogni variazione di corrente induce una forza contro elettromotrice.

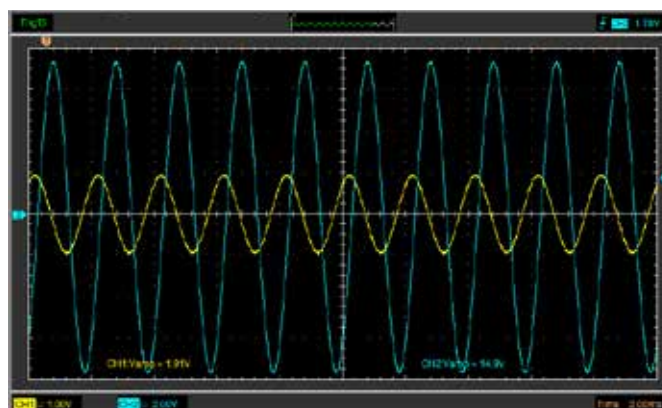


Fig. 1: Bobina nel circuito a corrente alternata: andamento di corrente e tensione

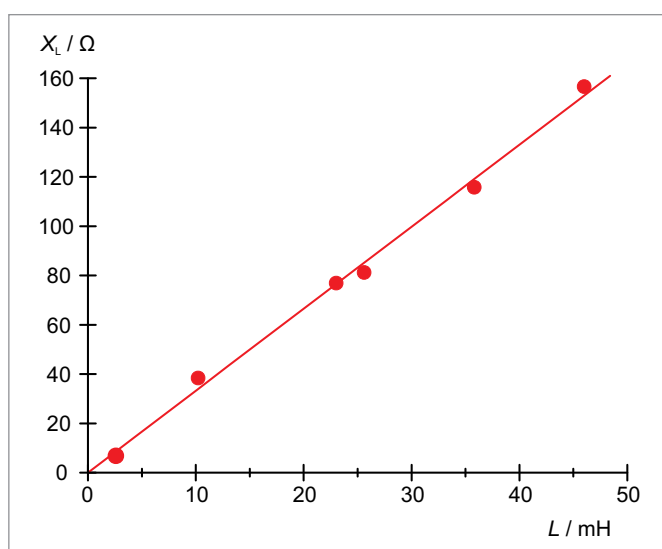


Fig. 2: Resistenza induttiva X_L come funzione dell'induttanza L

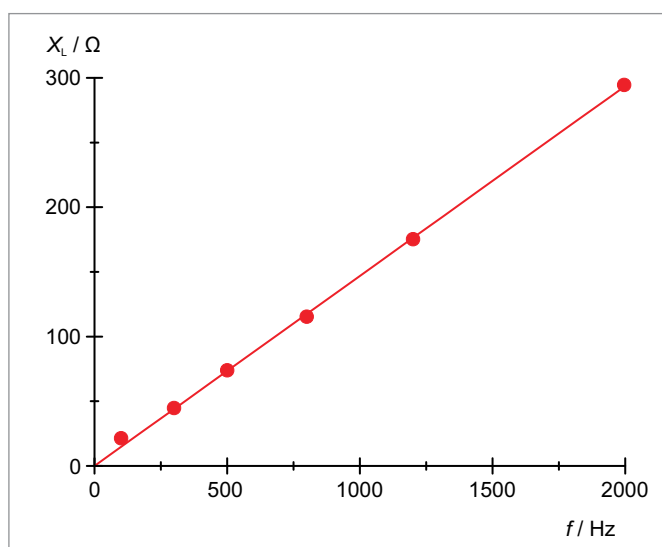
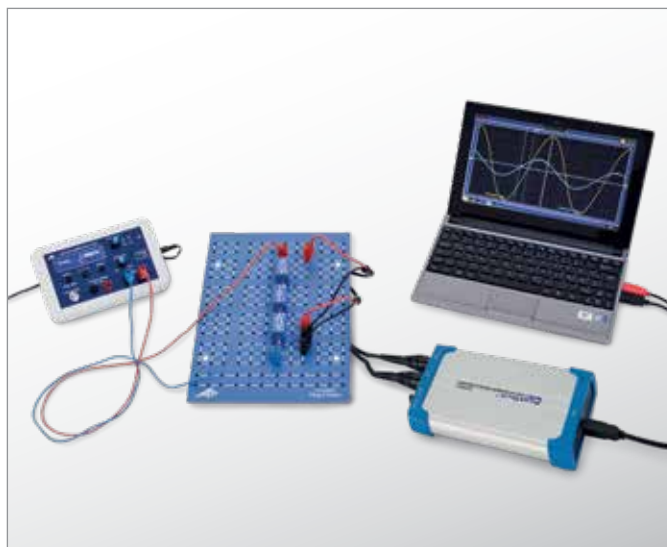


Fig. 3: Resistenza induttiva X_L come funzione della frequenza f

UE3050301

IMPEDENZA IN CORRENTE ALTERNATA I



> FUNZIONI

- Determinazione di modulo e fase dell'impedenza totale in funzione della frequenza con collegamento in serie.
- Determinazione di modulo e fase dell'impedenza totale in funzione della frequenza con collegamento in parallelo.

SCOPO

Determinazione dell'impedenza in corrente alternata in un circuito con capacitori e resistori

RIASSUNTO

Nei circuiti a corrente alternata occorre considerare oltre alle resistenze ohmiche anche gli elementi capacitivi. La combinazione di entrambe può essere collegata in serie o in parallelo. Da ciò dipendono le ampiezze e la fase di corrente e tensione. Nell'esperimento ciò viene analizzato con un oscilloscopio.

A tale scopo, un generatore di funzione fornisce tensioni alternate tra 50 e 2000 Hz.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
1	Resistenza 1 Ω , 2 W, P2W19	1012903
1	Resistenza 100 Ω , 2 W, P2W19	1012910
1	Condensatore 10 μF , 35 V, P2W19	1012957
1	Condensatore 1 μF , 100 V, P2W19	1012955
1	Condensatore 0,1 μF , 100 V, P2W19	1012953
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840

BASI GENERALI

Ai circuiti a corrente alternata con capacitori si assegna, per motivi di semplicità, una "resistenza complessa" o impedenza in quanto in questo caso, oltre alle ampiezze di corrente e tensione, occorre considerare anche le relazioni di fase tra di esse. I collegamenti in serie e in parallelo di resistori e capacitori sono quindi descrivibili facilmente. Anche la tensione e la corrente vengono considerate come grandezze complesse. Solo la loro parte reale è misurabile.

La reattanza capacitiva di un condensatore con capacità C in un circuito a corrente alternata con frequenza f è

$$(1) \quad X_c = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C}$$

con
$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Pertanto, il collegamento in serie del condensatore con una resistenza ohmica R ha l'impedenza totale

$$(2) \quad Z_s = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C} + R$$

mentre al collegamento in parallelo è possibile assegnare l'impedenza totale

$$(3) \quad Z_p = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C + \frac{1}{R}}$$

Nella notazione comune

$$(4) \quad Z = Z_0 \cdot \exp(i \cdot \varphi)$$

risulta

$$(5) \quad Z_s = \frac{\sqrt{1 + (\omega \cdot C \cdot R)^2}}{\omega \cdot C} \cdot \exp(i \cdot \varphi_s)$$

con
$$\tan \varphi_s = -\frac{1}{\omega \cdot C \cdot R}$$

e

$$(6) \quad Z_p = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega \cdot C \cdot R)^2}} \cdot \exp(i \cdot \varphi_p)$$

con

$$\tan \varphi_p = -\omega \cdot C \cdot R$$

Nell'esperimento, un generatore di funzione crea tensioni alternate con frequenze regolabili f tra 50 e 2000 Hz. La tensione U e la corrente I vengono rappresentate su un oscilloscopio; I corrisponde alla caduta di tensione su una resistenza dinamica piccola. Vengono quindi misurate le parti reali di una tensione presente sulla rispettiva impedenza Z

$$(7) \quad U = U_0 \cdot \exp(i \cdot \omega \cdot t)$$

e della corrente generata

$$(8) \quad I = \frac{U_0}{Z_0} \cdot \exp(i \cdot (\omega \cdot t - \varphi)) \\ = I_0 \cdot \exp(i \cdot (\omega \cdot t - \varphi))$$

Sull'oscilloscopio vengono rilevate rispettivamente le ampiezze I_0 e U_0 , nonché lo spostamento di fase φ .

ANALISI

Il valore dell'impedenza totale $Z_0 = \frac{U_0}{I_0}$ viene rappresentato in funzione della frequenza f e/o in funzione della reattanza capacitiva $X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$. Alle basse frequenze, il collegamento in serie acquisisce il valore della reattanza capacitiva e il collegamento in parallelo quello della resistenza ohmica. Lo spostamento di fase è compreso tra 0° e -90° ed è pari a -45° se la resistenza ohmica e capacitiva sono uguali.

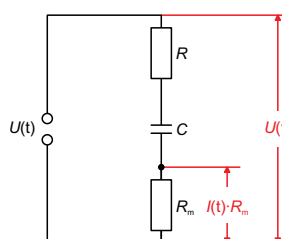


Fig. 1: Disposizione di misurazione per il collegamento in serie

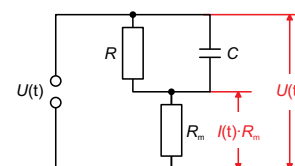


Fig. 2: Disposizione di misurazione per il collegamento in parallelo

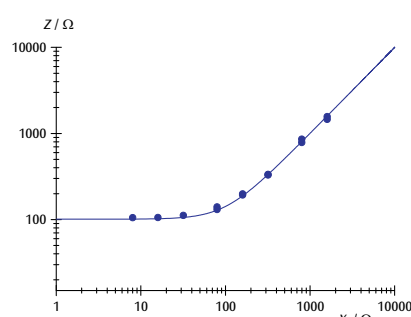


Fig. 3: Impedenza totale con collegamento in serie

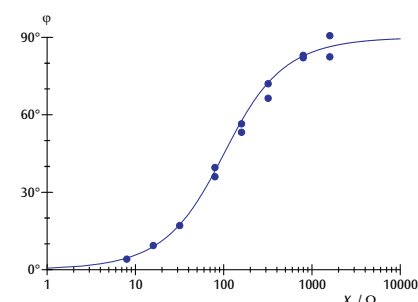


Fig. 4: Spostamento di fase con collegamento in serie

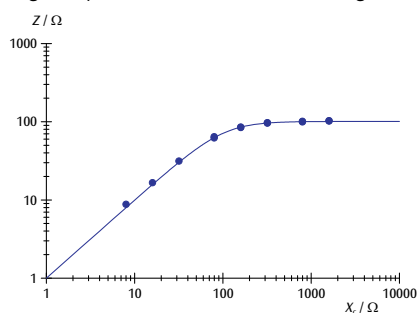


Fig. 5: Impedenza totale con collegamento in parallelo

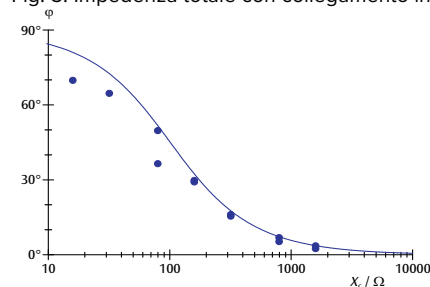
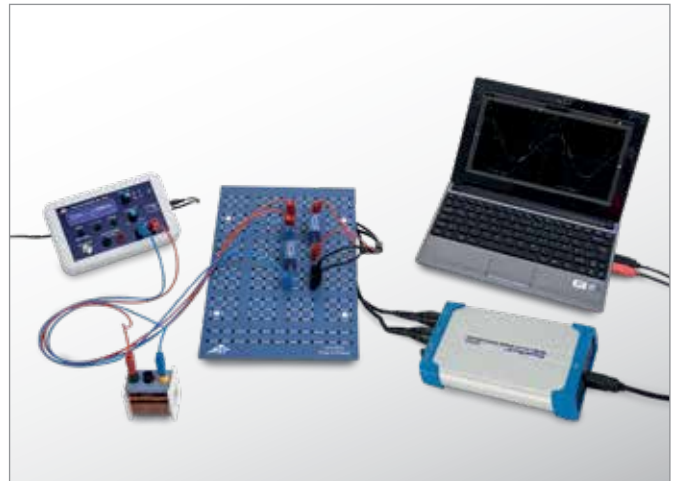
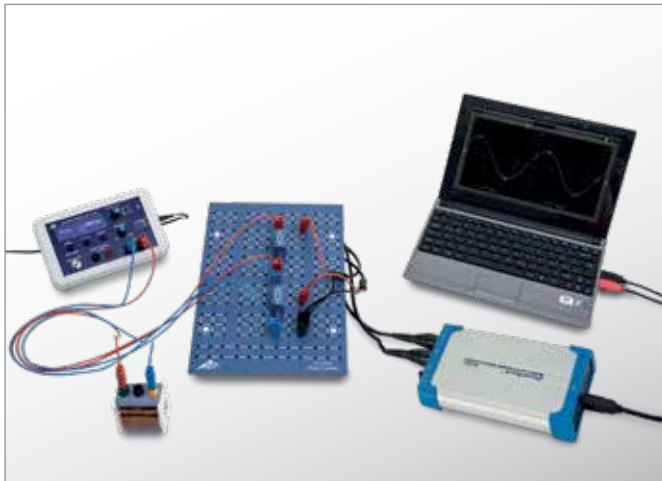


Fig. 6: Spostamento di fase con collegamento in parallelo



> FUNZIONI

- Determinazione di modulo e fase dell'impedenza totale in funzione della frequenza con collegamento in serie.
- Determinazione di modulo e fase dell'impedenza totale in funzione della frequenza con collegamento in parallelo.

SCOPO

Determinazione dell'impedenza in corrente alternata in un circuito con induttori e resistori

RIASSUNTO

Nei circuiti a corrente alternata occorre considerare oltre alle resistenze ohmiche anche gli elementi induttivi. La combinazione di entrambi può essere collegata in serie o in parallelo. Da ciò dipendono le ampiezze e la fase di corrente e tensione. Nell'esperimento ciò viene analizzato con un oscilloscopio e a tale scopo un generatore di funzione fornisce tensioni alternate comprese tra 50 e 10000 Hz.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
1	Resistenza 1 Ω, 2 W, P2W19	1012903
1	Resistenza 100 Ω, 2 W, P2W19	1012910
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840
1	Bobina S con 800 spire	1001001
1	Bobina S con 1200 spire	1001002

BASI GENERALI

Ai circuiti a corrente alternata con induttori si assegna, per motivi di semplicità, una "resistenza complessa" o impedenza in quanto, in questo caso, oltre alle ampiezze di corrente e tensione, occorre considerare anche le relazioni di fase tra di esse. I collegamenti in serie e in parallelo di resistori e induttori sono quindi descrivibili facilmente. Anche la tensione e la corrente vengono considerate come grandezze complesse. Solo la loro parte reale è misurabile.

La reattanza induttiva di una bobina con induttanza L in un circuito a corrente alternata con frequenza f è

$$(1) \quad X_L = i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L$$

con $\omega = 2\pi \cdot f$

Pertanto, il collegamento in serie della bobina con una resistenza ohmica R ha l'impedenza totale

$$(2) \quad Z_s = i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L + R$$

mentre al collegamento in parallelo è possibile assegnare l'impedenza totale

$$(3) \quad Z_p = \frac{1}{\frac{1}{i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L} + \frac{1}{R}}$$

Nella notazione comune

$$(4) \quad Z = Z_0 \cdot \exp(i \cdot \varphi)$$

risulta

$$(5) \quad Z_s = \sqrt{(2\pi \cdot f \cdot L)^2 + R^2} \cdot \exp(i \cdot \varphi_s)$$

con
e

$$\tan \varphi_s = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{R}$$

$$(6) \quad Z_p = \frac{2\pi \cdot f \cdot L \cdot R}{\sqrt{(2\pi \cdot f \cdot L)^2 + R^2}} \cdot \exp(i \cdot \varphi_p)$$

con

$$\tan \varphi_p = \frac{R}{2\pi \cdot f \cdot L}$$

Nell'esperimento, un generatore di funzione crea tensioni alternate con frequenze regolabili f tra 50 e 10000 Hz. La tensione U e la corrente I vengono rappresentate su un oscilloscopio; I corrisponde alla caduta di tensione su una resistenza dinamica piccola. Vengono quindi misurate le parti reali di una tensione presente sulla rispettiva impedenza Z

$$(7) \quad U = U_0 \cdot \exp(i \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)$$

e della corrente generata

$$(8) \quad I = \frac{U_0}{Z_0} \cdot \exp(i \cdot (2\pi \cdot f \cdot t - \varphi)) \\ = I_0 \cdot \exp(i \cdot (2\pi \cdot f \cdot t - \varphi))$$

Sull'oscilloscopio vengono rilevate rispettivamente le ampiezze I_0 e U_0 , nonché lo spostamento di fase φ .

ANALISI

Il valore dell'impedenza totale $Z_0 = \frac{U_0}{I_0}$ viene rappresentato in funzione della frequenza f e/o in funzione della reattanza induttiva $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$.

Con una reattanza induttiva grande, il collegamento in serie acquisisce il valore della reattanza induttiva e il collegamento in parallelo quello della resistenza ohmica. Lo spostamento di fase è compreso tra 0° e 90° ed è pari a 45° se la resistenza ohmica e induttiva sono uguali.

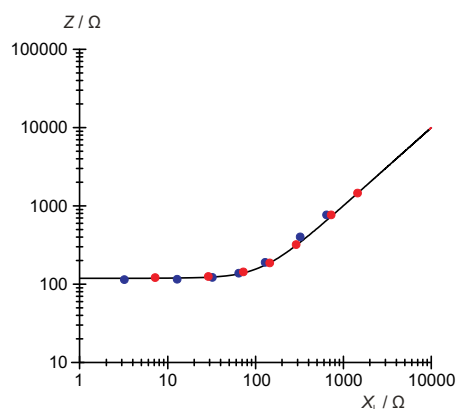
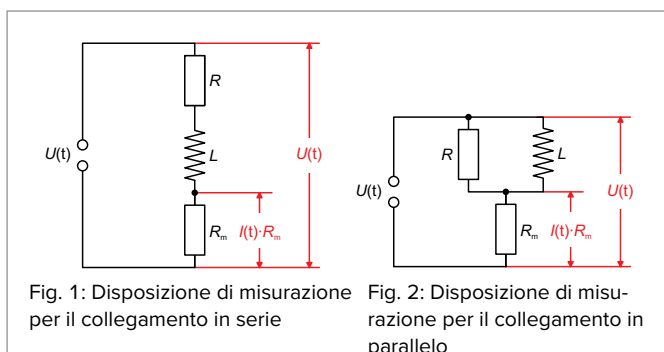


Fig. 3: Impedenza totale con collegamento in serie

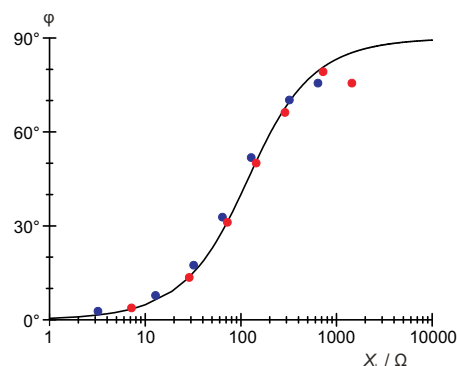


Fig. 4: Spostamento di fase con collegamento in serie

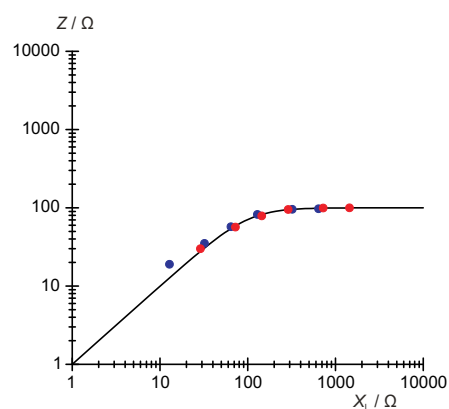


Fig. 5: Impedenza totale con collegamento in parallelo

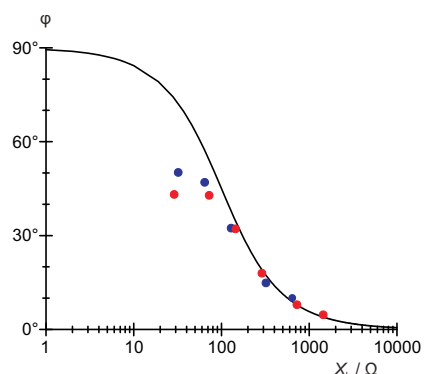
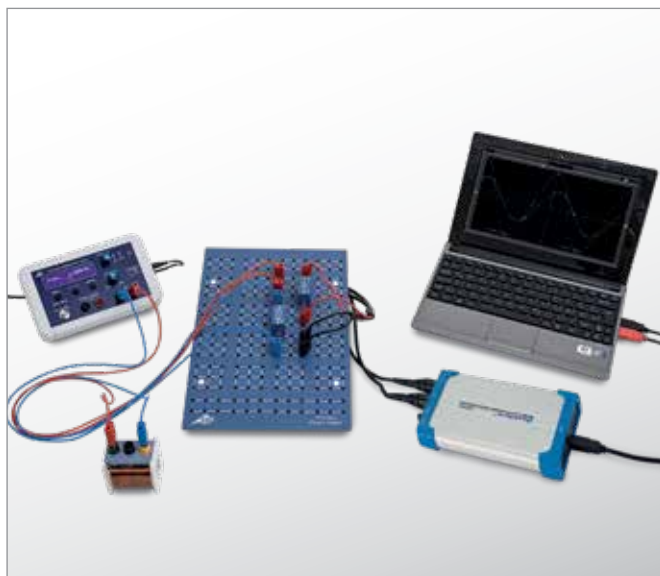


Fig. 6: Spostamento di fase con collegamento in parallelo



> FUNZIONI

- Determinazione dell'impedenza nei collegamenti in serie e in parallelo di una resistenza capacitiva e induttiva in funzione della frequenza
- Determinazione della frequenza di risonanza in funzione di induttanza e capacità.
- Osservazione del cambiamento dello spostamento di fase tra corrente e tensione alla frequenza di risonanza.

SCOPO

Determinazione dell'impedenza in corrente alternata in un circuito con induttori e capacitori induttiva e capacitiva

RIASSUNTO

Circuiti di corrente alternata con induttori e capacitori mostrano un comportamento di risonanza. Alla frequenza di risonanza, la reattanza del collegamento in serie di induttore e capacitore diventa uguale a zero, la reattanza del collegamento in parallelo al contrario diventa infinitamente grande. Nell'esperimento ciò viene analizzato con un oscilloscopio e a tale scopo un generatore di funzione fornisce tensioni alternate comprese tra 50 e 20.000 Hz.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
1	Condensatore 1 μ F, 100 V, P2W19	1012955
1	Condensatore 4,7 μ F, 63 V, P2W19	1012946
1	Bobina S con 800 spire	1001001
1	Bobina S con 1200 spire	1001002
1	Resistenza 10 Ω , 2 W, P2W19	1012904
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840

BASI GENERALI

Le reattanze induttive in circuiti a corrente alternata aumentano con l'aumentare della frequenza della corrente alternata, mentre le reattanze capacitive diminuiscono. Pertanto, i collegamenti in serie o in parallelo di reattanze capacitive e induttive mostrano un comportamento di risonanza. Si parla di circuiti oscillanti in quanto la corrente e la tensione oscillano tra capacità e induttanza. Una resistenza ohmica aggiuntiva smorza questa oscillazione.

Per il calcolo dei collegamenti in serie o in parallelo si attribuisce, per semplicità, ad un'induttanza L la reattanza complessa

$$(1) \quad X_L = i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L$$

f : frequenza della corrente alternata

e ad una capacità C la reattanza complessa

$$(2) \quad X_C = \frac{1}{i \cdot 2\pi \cdot f \cdot C}$$

Per l'impedenza totale in un collegamento in serie senza resistenza ohmica si applica quindi

$$(3) \quad Z_S = i \cdot \left(2\pi \cdot f \cdot L - \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \right)$$

mentre il collegamento in parallelo si calcola come segue.

$$(4) \quad \frac{1}{Z_P} = -i \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} - 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \right)$$

Alla frequenza di risonanza

$$(5) \quad f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

scompare quindi l'impedenza Z_S del collegamento in serie di reattanza induttiva e capacità; ovvero le tensioni su entrambe le reattanze singole sono uguali ed opposte. Il valore dell'impedenza Z_P del collegamento in parallelo diventa al contrario infinitamente grande, ovvero le correnti singole sono uguali e opposte. Alla frequenza di risonanza inoltre lo spostamento di fase tra corrente e tensione varia il suo segno.

Nell'esperimento vengono realizzati circuiti oscillanti collegando in serie o in parallelo capacitori e induttori. Un generatore di funzione funge da sorgente di tensione con frequenza e ampiezza regolabile. Con un oscilloscopio si misurano corrente e tensione in funzione della frequenza impostata. La tensione U e la corrente I vengono rappresentate su un oscilloscopio; I corrisponde alla caduta di tensione su una resistenza dinamica piccola.

ANALISI

Sull'oscilloscopio vengono rilevati per ogni frequenza f lo spostamento di fase ϕ e le ampiezze I_0 e U_0 . Da ciò si calcola il valore dell'impedenza totale $Z_0 = \frac{U_0}{I_0}$.

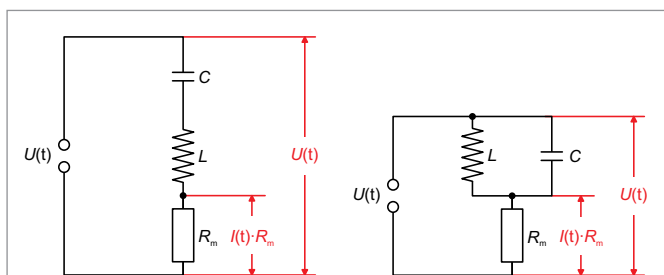


Fig. 1: Disposizione di misurazione per il collegamento in serie

Fig. 2: Disposizione di misurazione per il collegamento in parallelo

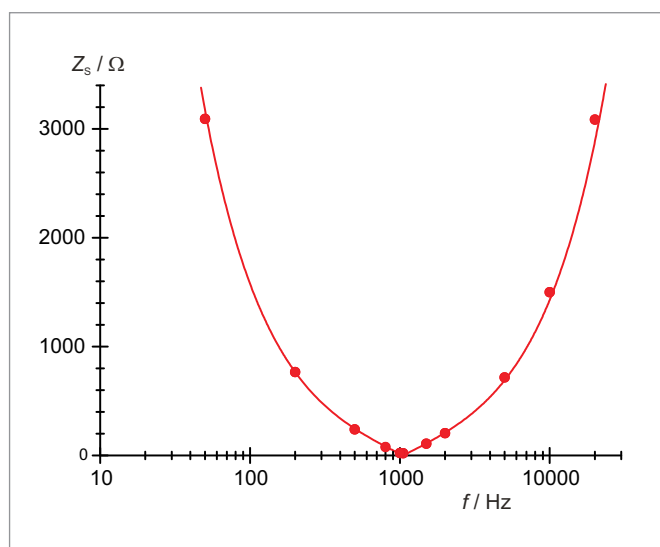


Fig. 3: Impedenza in alternata del collegamento in serie in funzione della frequenza

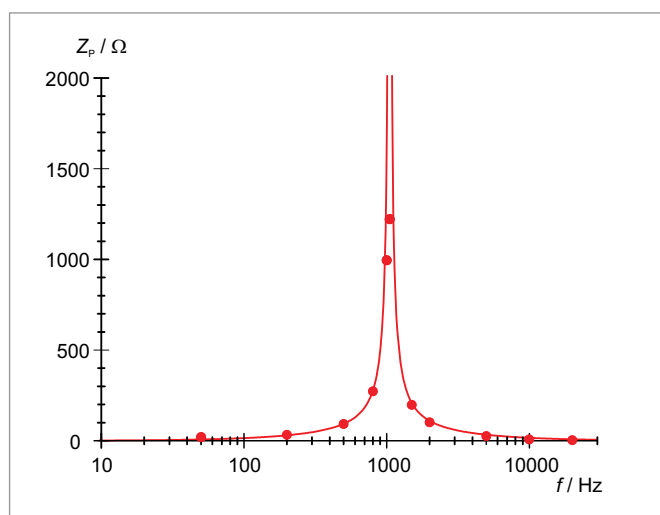


Fig. 4: Impedenza in alternata del collegamento in parallelo in funzione della frequenza

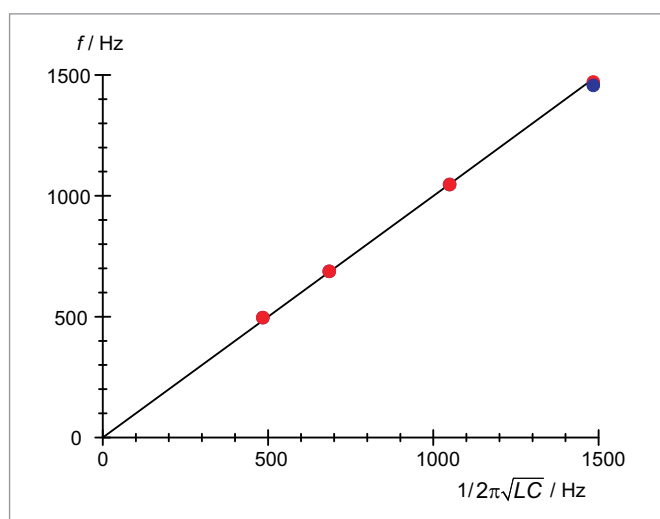


Fig. 5: Confronto tra frequenza di risonanza misurata e calcolata per un collegamento in serie (rosso) e un collegamento in parallelo (blu)

UE3050400 | CIRCUITO OSCILLANTE LC



> FUNZIONI

- Registrazione delle curve di risonanza delle ampiezze di un circuito oscillante LC in serie per diversi smorzamenti.
- Determinazione della frequenza di risonanza di un circuito oscillante LC in serie.

SCOPO

Analisi del comportamento di risonanza di un circuito oscillante LC in serie

RIASSUNTO

Un circuito oscillante elettrico è un collegamento soggetto a risonanza costituito da un induttore e da un condensatore. In questo esperimento, con il generatore di funzione viene prodotta una tensione alternata con cui si genera un circuito oscillante in serie. Viene misurata la curva di risonanza (ampiezza) e la corrente in funzione della frequenza con ampiezza della tensione costante. Dalla frequenza di risonanza, conoscendo la capacità, si calcola l'induttanza sconosciuta.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per esperimenti di base (230 V, 50/60 Hz)	1000573 o
	Scheda per esperimenti di base (115 V, 50/60 Hz)	1000572
1	VinciLab	1021477
1	Sensore di tensione 10 V, differenziale	1022539
1	Cavo del sensore	1021514
1	Sensore di corrente 500 mA	1021679
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840
Ulteriormente necessario:		
1	Coach 7 Licenza	

BASI GENERALI

Un circuito oscillante elettrico è un collegamento soggetto a risonanza formato da una bobina con induttività L e un condensatore con capacità C . Il circuito oscillante produce, attraverso il periodico scambio di energia fra il campo magnetico della bobina e il campo elettrico del condensatore, oscillazioni elettriche. Lo scambio porta alternativamente alla massima intensità di corrente sulla bobina o alla massima tensione sul condensatore.

Se il circuito oscillante non oscilla liberamente, ma viene eccitato dall'esterno da un segnale sinusoidale, esso oscilla con la stessa frequenza dell'eccitazione e le ampiezze della corrente e delle tensioni sui singoli componenti dipendono dalla frequenza. La corrente I si ricava dalla legge di Ohm:

$$(1) \quad I = \frac{U}{Z} = \frac{U_0 \cdot e^{i\omega t}}{Z}$$

U : Tensione in ingresso sinusoidale

U_0 : Ampiezza, ω : Frequenza del circuito

Z : Impedenza complessiva

In un collegamento in serie l'impedenza complessiva è costituita dalla somma delle impedenze dei singoli componenti. Vi è una resistenza ohmica R , che considera le perdite che si presentano in un circuito oscillante reale e che viene eventualmente integrata da una resistenza esterna.

Pertanto si ha

$$(2) \quad Z = R + i\omega L + \frac{1}{i\omega C}$$

Da (1) e (2) per la corrente si ha

$$(3) \quad I(\omega) = \frac{U_0 \cdot e^{i\omega t}}{R + i\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

Il valore della corrente corrisponde alla sua ampiezza, che dipende dalla frequenza:

$$(4) \quad I_0(\omega) = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Diventa massima con la frequenza di risonanza

$$(5) \quad f_r = \frac{\omega_r}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

e raggiunge qui il valore

$$(6) \quad I_0(\omega_r) = \frac{U_0}{R}$$

Il circuito oscillante in serie in caso di risonanza si comporta come se fosse composto solo da una resistenza ohmica. In particolare una capacità e un'induttività collegate in serie in caso di risonanza rappresentano un cortocircuito.

In questo esperimento, con il generatore di funzione viene prodotta una tensione alternata con cui si alimenta il circuito oscillante. La corrente I viene misurata in funzione della frequenza f ad una ampiezza di tensione costante. La corrente viene misurata con un'interfaccia di misurazione e registrata e rappresentata graficamente con un software di misurazione e di valutazione. La curva di risonanza (ampiezza), vale a dire la dipendenza dell'ampiezza della corrente dalla frequenza, viene registrata automaticamente.

ANALISI

Dalla curva di risonanza (ampiezza) viene letta la frequenza della risonanza f_r . Poiché la capacità C è nota, è possibile calcolare l'induttività sconosciuta L tramite l'equazione (5):

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_r^2 \cdot C}$$

Dall'ampiezza della curva di risonanza viene calcolata la resistenza ohmica R tramite l'equazione (6). Nel caso in cui non sia applicata alcuna resistenza esterna, R corrisponde alla perdita ohmica nel circuito oscillante reale.

$$R = \frac{U_0}{I_0(\omega_r)}$$

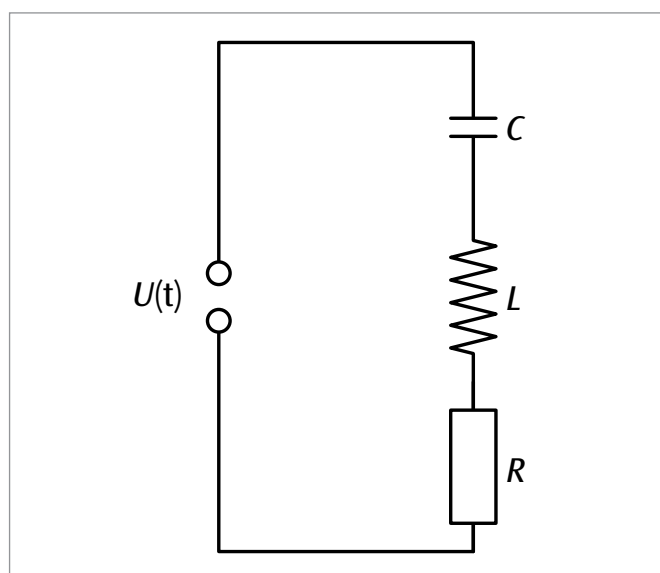


Fig. 1: Schizzo di commutazione per il circuito oscillante LC in serie

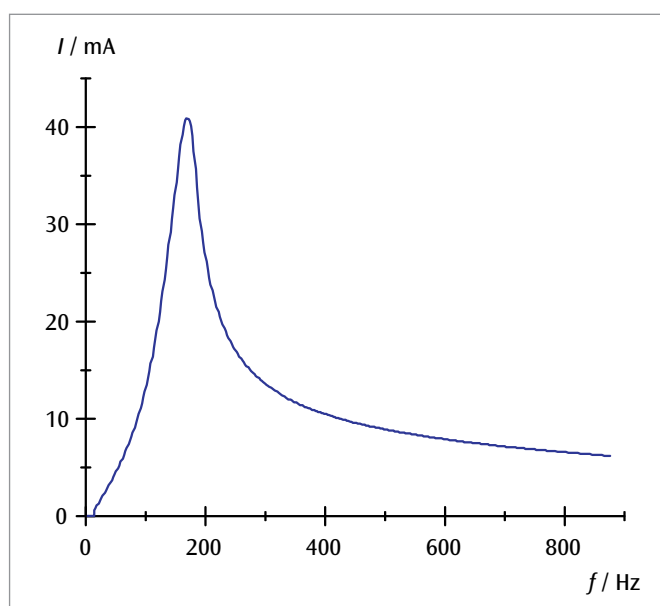
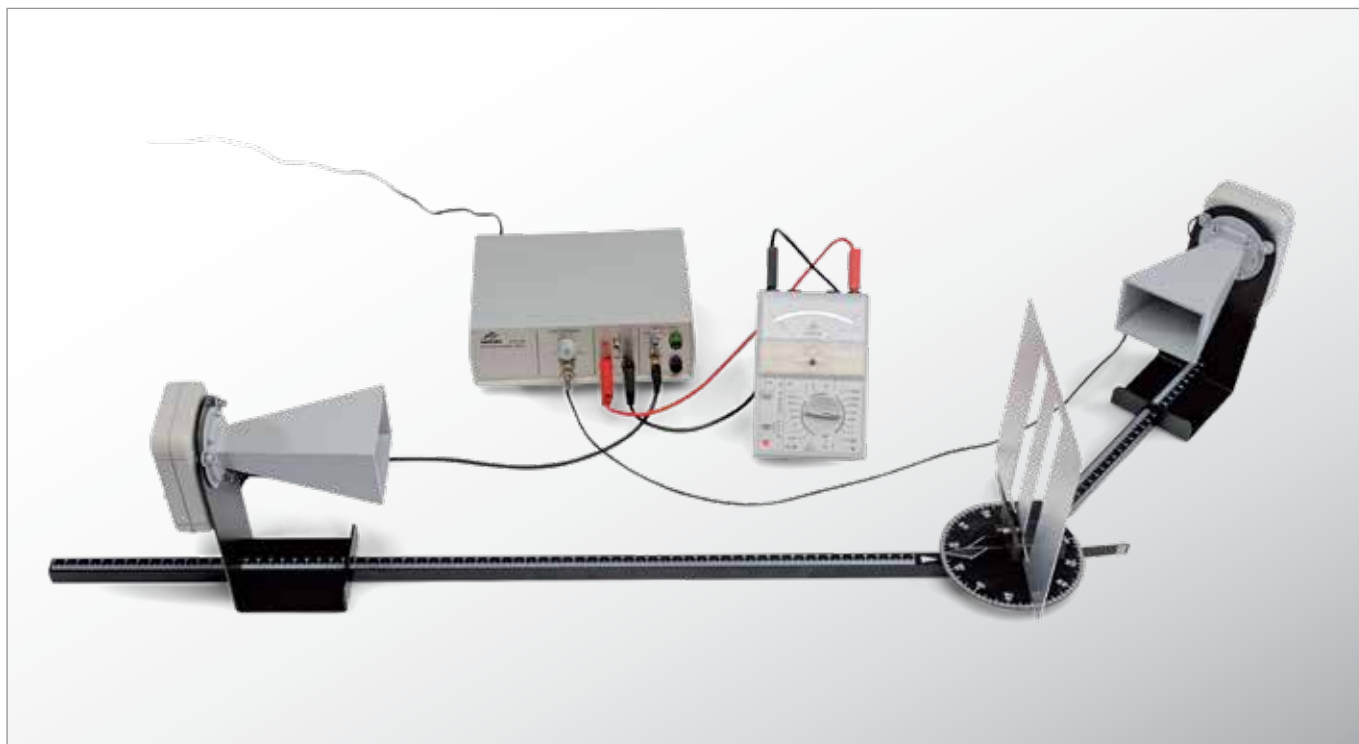


Fig. 2: Curva di risonanza (ampiezza) della corrente ($R_{\text{ext}} = 0$)

UE3060300

OTTICA ONDULATORIA CON MICROONDE



> FUNZIONI

- Misurazione punto per punto dell'intensità nella diffrazione di microonde da doppia fenditura.
- Determinazione dei massimi per diversi ordini di diffrazione.
- Determinazione della lunghezza d'onda conoscendo la distanza tra fenditure.
- Analisi e variazione della polarizzazione delle microonde irradiate.

SCOPO

Dimostrazione e analisi di interferenza, diffrazione e polarizzazione delle microonde

RIASSUNTO

Con le microonde è possibile eseguire numerosi esperimenti su interferenza, diffrazione e polarizzazione con luce visibile. A questo scopo vengono impiegati oggetti di diffrazione e griglie di polarizzazione, la cui struttura interna è riconoscibile a occhio nudo. Così risulta chiaro che, in caso di diffrazione da doppia fenditura, l'intensità massima viene misurata proprio quando il ricevitore non viene irradiato direttamente dal trasmettitore.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Set microonde 9,4 GHz (230 V, 50/60 Hz)	1009951 o
	Set microonde 10,5 GHz (115 V, 50/60 Hz)	1009950
1	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718

BASI GENERALI

L'ottica ondulatoria considera la luce come onda trasversale ed elettromagnetica e ne spiega così l'interferenza, la diffrazione e la polarizzazione. Anche le microonde sono onde elettromagnetiche e presentano gli stessi fenomeni. La loro lunghezza d'onda è tuttavia notevolmente maggiore di quella della luce visibile. Pertanto per esperimenti di ottica ondulatoria con microonde è possibile utilizzare oggetti di diffrazione e griglie di polarizzazione, la cui struttura interna è riconoscibile a occhio nudo.

Nell'esperimento, viene analizzata la diffrazione di microonde della lunghezza d'onda λ su una doppia fenditura, con una distanza tra le fenditure d di diversi centimetri. Si ottiene la distribuzione dell'intensità tipica della diffrazione da doppia fenditura (vedi fig. 1) con massimi al di sotto degli angoli α_m , che soddisfano la condizione.

$$(1) \quad \sin \alpha_m = m \cdot \frac{\lambda}{d}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

L'intensità massima viene misurata esattamente quando il ricevitore si trova dietro il ponte centrale e non può venire irradiato direttamente dal trasmettitore. Questo fenomeno può essere spiegato mediante l'interferenza delle onde separate dalle due fenditure e costituisce una prova significativa della natura ondulatoria delle microonde.

Ruotando il ricevitore nella direzione del fascio, si dimostra la polarizzazione lineare delle microonde irradiate. Allineando in maniera incrociata trasmettitore e ricevitore, l'intensità misurata diminuisce fino a zero. Se nel percorso dei raggi si inserisce a meno di 45° una griglia di polarizzazione, il ricevitore riceve nuovamente un'onda, anche se di ampiezza inferiore. La griglia fa passare la componente del vettore E della microonda in arrivo, che oscilla parallelamente alla griglia di polarizzazione.

Da qui a sua volta viene misurata la componente che oscilla parallelamente al ricevitore.

NOTA

Con la stessa dotazione è possibile eseguire anche esperimenti sull'assorbimento, la riflessione, la rifrazione e la polarizzazione di microonde.

ANALISI

Si riportano gli angoli α_m dei massimi di diffrazione in un diagramma $\sin \alpha_m - m$ inversamente rispetto all'ordine di diffrazione m . I lavori misurati si trovano su una retta di origine, il cui incremento corrisponde al quoziente λ/d .

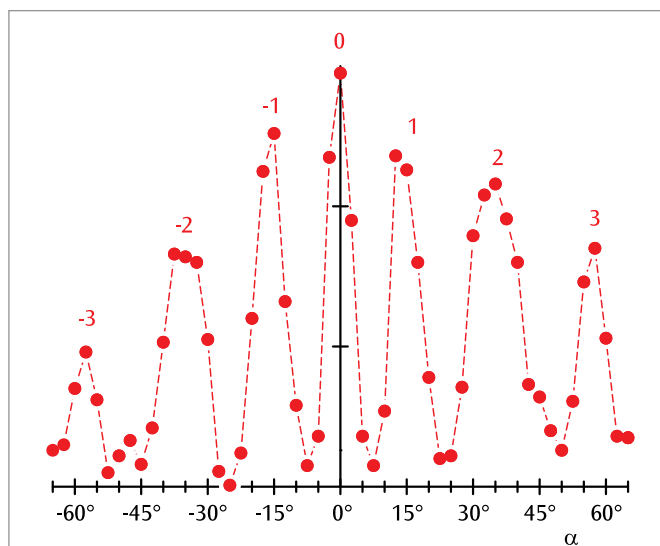


Fig. 1: Distribuzione dell'intensità nella diffrazione delle microonde da doppia fenditura

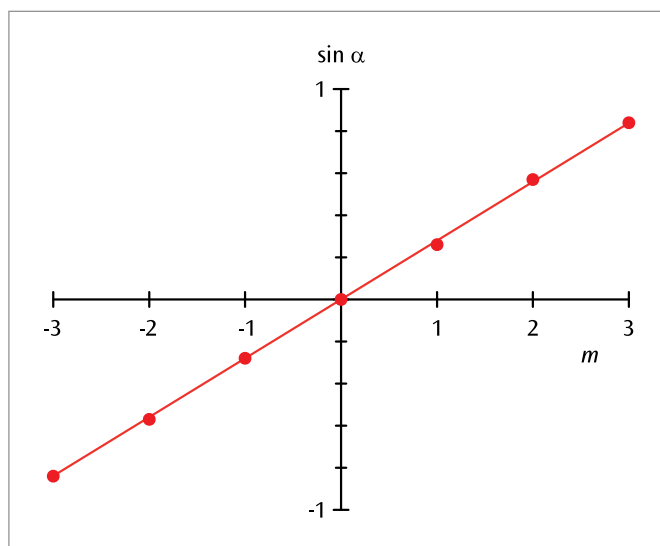


Fig. 2: Posizione dei massimi di intensità in funzione dell'ordine di diffrazione m

UE3070100 | DIODO A TUBO



> FUNZIONI

- Registrazione delle caratteristiche di un diodo a tubo per tre diverse tensioni di riscaldamento del catodo.
- Identificazione dell'area di carica spaziale e di saturazione.
- Conferma della legge di *Schottky-Langmuir*.

SCOPO

Registrazione della caratteristica di un diodo a tubo

RIASSUNTO

In un diodo a tubo scorre una corrente di emissione supportata da elettroni liberi tra catodo incandescente e anodo, se tra catodo e anodo sussiste una tensione positiva. La corrente aumenta con l'incremento della tensione fino alla saturazione, tuttavia diventa nulla in caso di tensione negativa.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Diodo S*	1000613
1	Portatubo S	1014525
1	Alimentatore CC 0 – 500 V (230 V, 50/60 Hz)	1003308 o
	Alimentatore CC 0 – 500 V (115 V, 50/60 Hz)	1003307
1	Multimetro analogico ESCOLA 100	1013527
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

* Richiedete anche un preventivo con i nostri tubi elettronici D.

BASI GENERALI

Un diodo a tubo è un recipiente di vetro evacuato in cui si trovano due elettrodi: un catodo riscaldato, dal quale vengono liberati elettrodi attraverso l'effetto termoionico, e un anodo (vedi fig. 1). Attraverso una tensione positiva tra catodo e anodo si genera una corrente di emissione supportata da elettroni liberi verso l'anodo (corrente anodica). Se questa tensione è ridotta, la corrente anodica viene ostacolata dalla carica spaziale degli elettroni liberati, in quanto questi schermano il campo elettrico nei confronti del catodo. Con l'incremento della tensione anodica, le linee di campo si insinuano più in profondità nello spazio davanti al catodo e la corrente anodica aumenta. L'aumento avviene fino a quando la carica spaziale davanti al catodo viene eliminata e quindi fino al raggiungimento del valore di saturazione della corrente anodica. Al contrario, gli elettroni non possono arrivare all'anodo se su di esso non è presente una tensione negativa sufficientemente elevata e quindi la corrente anodica è nulla.

La dipendenza della corrente anodica I_A dalla tensione anodica U_A viene definita come caratteristica del diodo a tubo (vedi fig. 2). Si opera una distinzione tra area di forza controelettromotrice (a), area di carica spaziale (b) e area di saturazione (c). Nell'area di forza controelettromotrice (a), l'anodo si trova ad un potenziale negativo rispetto al catodo. Gli elettroni non possono avvicinarsi al campo elettrico. Nell'area di carica spaziale, la dipendenza della corrente anodica dalla tensione anodica viene descritta dalla legge *Schottky-Langmuir*:

$$(1) \quad I_A \sim U_A^{\frac{3}{2}}$$

Nell'area di saturazione, la corrente anodica dipende dalla temperatura del catodo. Questa può essere aumentata con un incremento della tensione di riscaldamento U_F .

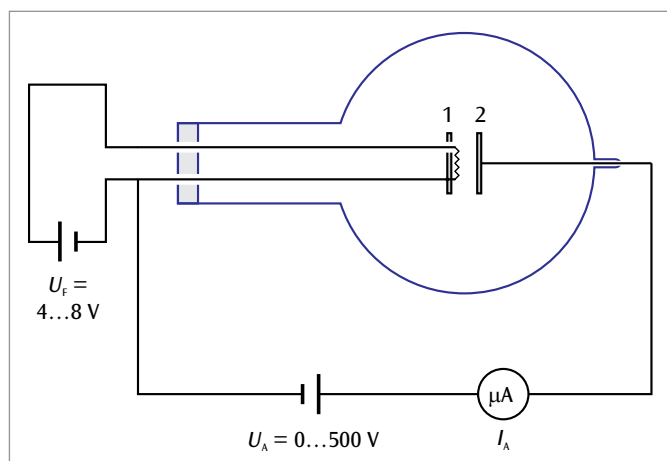


Fig. 1 Collegamento per la registrazione della caratteristica di un diodo a tubo

1: Catodo, 2: Anodo

ANALISI

Area di forza controelettromotrice:

Poiché gli elettroni escono dal catodo con un'energia cinetica $E_{kin} > 0$, scorre una corrente anodica fino a quando la tensione anodica negativa è di entità tale da impedire anche agli elettrodi più veloci di raggiungere l'anodo.

Area di carica spaziale:

In caso di intensità di campo ridotte, non tutti gli elettroni che escono dal catodo incandescente possono proseguire. Circondano il catodo dopo essere usciti come una nuvola e formano una carica spaziale negativa. In caso di tensioni ridotte, le linee di campo che provengono dall'anodo finiscono pertanto sugli elettroni della carica spaziale e non sul catodo stesso. Il campo derivante dall'anodo viene così schermato. Solo con l'incremento della tensione le linee di campo si insinuano sempre più in profondità nello spazio intorno al catodo e la corrente anodica aumenta. L'aumento della corrente avviene fino a quando la carica spaziale intorno al catodo è esaurita. Si raggiunge così il valore di saturazione della corrente anodica.

Area di saturazione:

Nell'area di saturazione, la corrente di emissione è indipendente dalla tensione anodica. Può tuttavia aumentare, incrementando il numero di elettroni che escono dal catodo per ogni unità di tempo. Questo può essere effettuato attraverso un aumento di temperatura del catodo. Il valore della corrente di saturazione dipende quindi dalla tensione di riscaldamento.

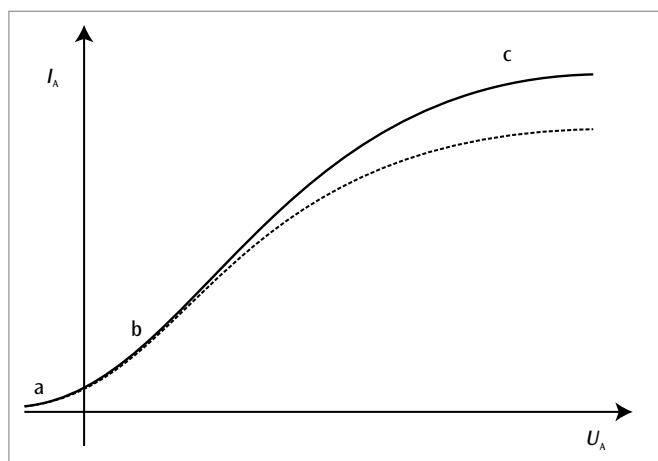


Fig. 2 Caratteristica di un diodo a tubo

a: Area di forza controelettromotrice, b: Area di carica spaziale, c: Area di saturazione

UE3070200 | TRIODO A TUBO



> FUNZIONI

- Registrazione delle caratteristiche della corrente e della tensione anodiche di un triodo a tubo a più tensioni costanti del reticolo.
- Registrazione delle caratteristiche della corrente anodica e della tensione del reticolo di un triodo a tubo a più tensioni anodiche costanti.

SCOPO

Registrazione del campo di caratteristiche di un triodo a tubo

RIASSUNTO

In un triodo a tubo scorre una corrente di emissione supportata da elettroni liberi tra catodo incandescente e anodo, se tra catodo e anodo sussiste una tensione positiva. Questa corrente può essere controllata da una tensione positiva o negativa ridotta tra catodo e reticolo.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Triode S*	1000614
1	Portatubo S	1014525
1	Alimentatore CC 0 – 500 V (230 V, 50/60 Hz)	1003308 o
	Alimentatore CC 0 – 500 V (115 V, 50/60 Hz)	1003307
1	Multimetro analogico ESCOLA 100	1013527
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

* Richiedete anche un preventivo con i nostri tubi elettronici D.

BASI GENERALI

Un triodo a tubo è un recipiente di vetro evacuato in cui si trovano due elettrodi: un catodo riscaldato, dal quale vengono liberati elettrodi attraverso l'effetto termoionico, un anodo e un reticolo tra i due. Se la tensione positiva tra catodo e anodo (tensione anodica) è sufficientemente elevata, gli elettroni liberi passano dal catodo all'anodo attraverso il reticolo. La corrente anodica così generata può essere controllata attraverso la variazione di una tensione supplementare tra catodo e reticolo (tensione del reticolo). A seconda del fatto che il reticolo si trovi su un potenziale positivo o negativo rispetto al catodo, la corrente anodica viene aumentata o diminuita. Un triodo a tubo può pertanto essere utilizzato per l'aumento delle tensioni alternate.

Nell'esperimento, viene registrato il campo delle caratteristiche di un triodo a tubo. Con ciò si intende la dipendenza della corrente anodica I_A dalla tensione anodica U_A e dalla tensione del reticolo U_G . Per la rappresentazione del campo delle caratteristiche sono utili due varianti (vedi fig. 2 e 3): la variante 1 rappresenta la corrente anodica come funzione della tensione anodica a diverse tensioni costanti del reticolo, mentre la variante 2 rappresenta la corrente anodica come funzione della tensione del reticolo a diverse tensioni anodiche costanti.

ANALISI

La corrente anodica aumenta con l'aumentare della tensione anodica e della tensione del reticolo. Anche variazioni della tensione del reticolo nell'ordine di grandezza di solo pochi volt comportano notevoli modificazioni della corrente anodica. La tensione del reticolo può essere pertanto utilizzata per il controllo della corrente anodica.

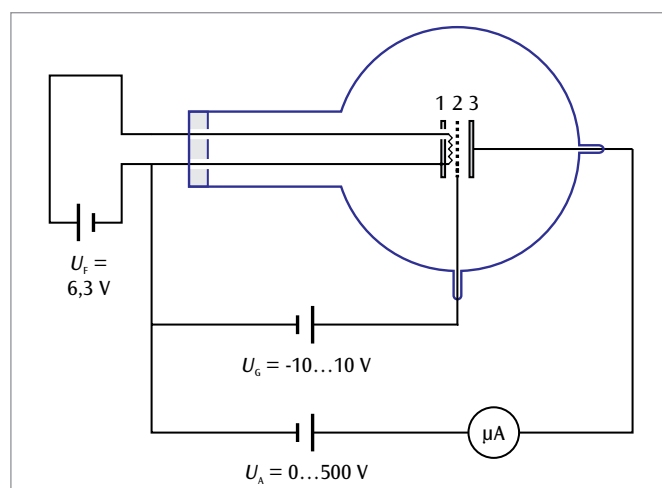


Fig. 1 Collegamento per la registrazione del campo delle caratteristiche di un triodo a tubo. 1: Catodo, 2: Reticolo, 3: Anodo

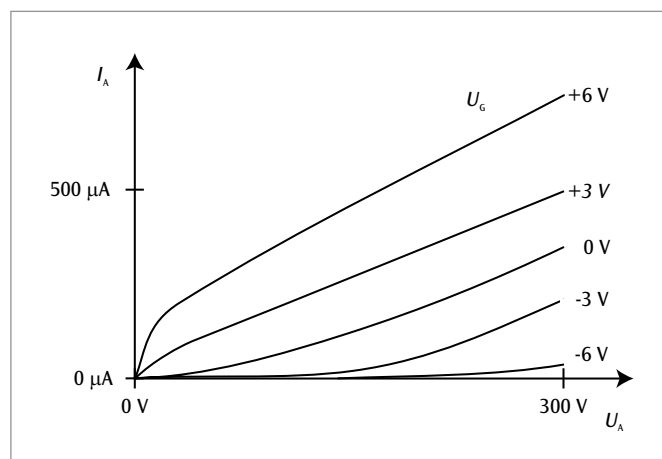


Fig. 2 Caratteristiche della corrente e della tensione anodiche

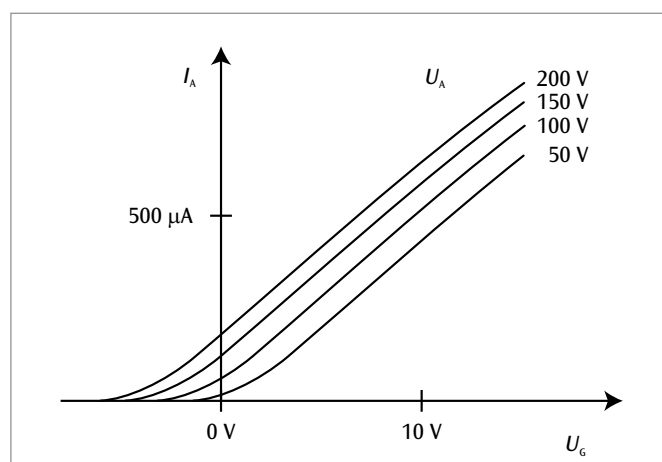
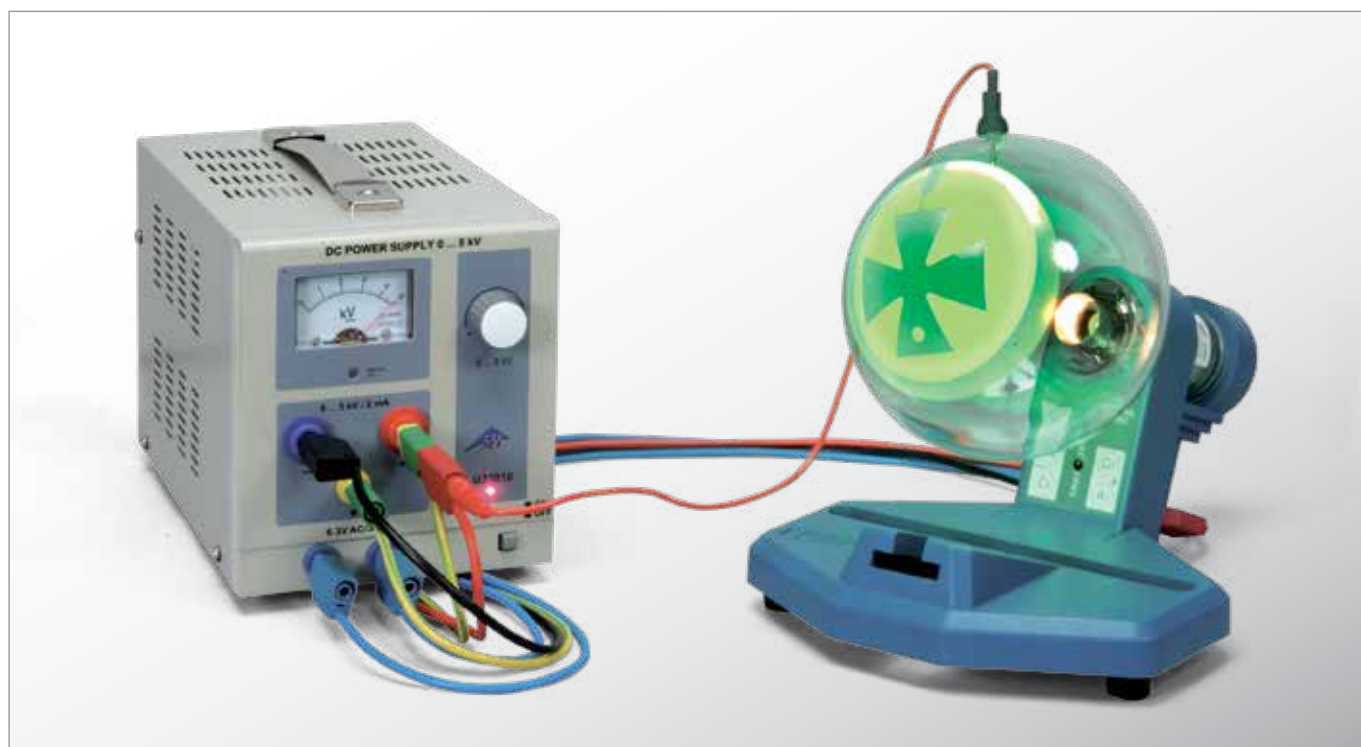


Fig. 3 Caratteristiche della corrente anodica e della tensione del reticolo

UE3070300 | TUBO A CROCE DI MALTA



> FUNZIONI

- Dimostrazione della diffusione rettilinea di elettroni nello spazio privo di campo.
- Dimostrazione della deviazione degli elettroni in un campo magnetico.
- Introduzione all'ottica elettronica.

SCOPO

Dimostrazione della diffusione rettilinea di elettroni nello spazio privo di campo

RIASSUNTO

La diffusione rettilinea di elettroni nello spazio privo di campo viene dimostrata nei tubi a croce di Malta attraverso la congruenza dell'ombra degli elettroni con l'ombra della luce. Un disturbo della diffusione rettilinea, ad es. per l'interposizione di un campo magnetico, si nota sotto forma di spostamento dell'ombra degli elettroni.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo a croce di Malta S*	1000011
1	Portatubo S	1014525
1	Alimentatore ad alta tensione 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	1003310 o
	Alimentatore ad alta tensione 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	1003309
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843
Ulteriormente consigliato per la creazione di un campo magnetico assiale:		
1	Coppia di bobine di Helmholtz S	1000611
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311

* Richiedete anche un preventivo con i nostri tubi elettronici D.

BASI GENERALI

In un tubo a croce di Malta, il fascio elettronico divergente di un cannone elettronico su uno schermo fluorescente viene osservato come luminescenza, in cui un ostacolo impenetrabile per gli elettroni (croce di Malta) crea un'ombra. La posizione dell'ombra varia quando la diffusione rettilinea degli elettroni viene disturbata nel proprio percorso verso lo schermo fluorescente.

Quando anodo e croce di Malta hanno lo stesso potenziale, lo spazio è privo di campo e gli elettroni si diffondono in maniera rettilinea. L'ombra degli elettroni della croce di Malta è quindi congrua a quella della luce che è da ricondursi alla luce emessa dal catodo incandescente. Il disturbo della diffusione rettilinea nello spazio privo di campo può essere dimostrato molto semplicemente attraverso l'interruzione del collegamento di conduzione tra anodo e ostacolo: la carica statica così realizzata dell'ostacolo provoca un'ombra degli elettroni sfuocata sullo schermo fluorescente. Se gli elettroni vengono deviati nel campo magnetico nel loro percorso verso lo schermo fluorescente, si osserva uno spostamento o una rotazione dell'ombra degli elettroni. La forza di deviazione F dipende dalla velocità v e dal campo magnetico B ed è data dalla forza di Lorentz:

$$(1) \quad F = -e \cdot v \times B$$

ANALISI

Nello spazio privo di campo gli elettroni si diffondono in maniera rettilinea. L'ombra degli elettroni della croce di Malta è quindi congrua a quella della luce.

In un campo magnetico, gli elettroni vengono deviati e la loro ombra viene spostata rispetto a quella della luce. La forza di deviazione è ortogonale rispetto alla direzione di movimento degli elettroni e al campo magnetico.

Se il campo magnetico si sposta in direzione assiale, gli elettroni vengono deviati su orbite a spirale e l'ombra degli elettroni viene girata e rimpicciolita.

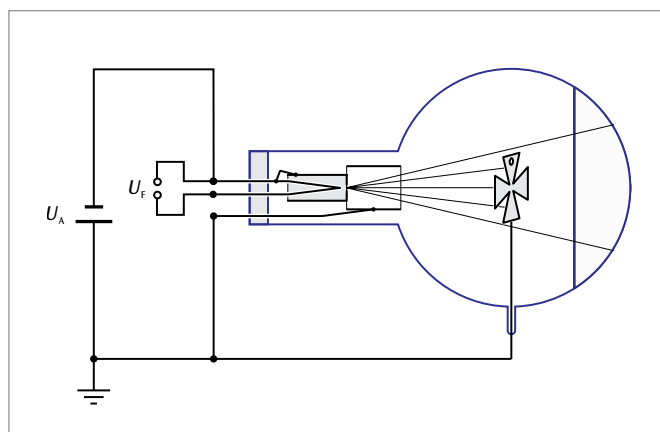


Fig. 1: Rappresentazione schematica del tubo a croce di Malta



Fig. 2: Rotazione dell'ombra degli elettroni tramite deflessione degli elettroni nel campo magnetico

UE3070400 | TUBO DI PERRIN



> FUNZIONI

- Dimostrazione dell'emissione termoelettrica di portatori di carica da un catodo riscaldato.
- Determinazione della polarità dei portatori di carica emessi.
- Valutazione della carica specifica dei portatori di carica.

SCOPO

Determinazione della polarità dei portatori di carica

RIASSUNTO

Nel tubo di Perrin il fascio elettronico viene deviato applicando un campo magnetico omogeneo a una tazza di Faraday. La carica degli elettroni può essere dimostrata mediante un elettroscopio collegato alla tazza di Faraday e analizzata in termini di polarità confrontandola con una carica di segno conosciuto.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo di Perrin S*	1000616
1	Portatubo S	1014525
1	Coppia di bobine di Helmholtz S	1000611
1	Alimentatore ad alta tensione 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	1003310 o
	Alimentatore ad alta tensione 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	1003309
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Elettroscopio di Kolbe	1001027
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

* Richiedete anche un preventivo con i nostri tubi elettronici D.

BASI GENERALI

Nel tubo di Perrin un fascio elettronico focalizzato colpisce uno schermo fluorescente e può qui essere osservato come punto luminoso. A meno di 45° rispetto al fascio elettronico viene applicata una tazza di Faraday nella quale gli elettroni possono essere deviati con l'applicazione di un campo magnetico. La corrente di carica può essere misurata attraverso un collegamento separato.

Nell'esperimento il fascio elettronico viene deviato nella tazza di Faraday dal campo magnetico omogeneo di una coppia di bobine di Helmholtz collegata a un elettroscopio. Dal caricamento o dallo scaricamento dell'elettroscopio da parte del fascio elettronico condotto nella tazza di Faraday è possibile desumere la polarità dei portatori di carica.

Inoltre è possibile valutare la carica specifica dei portatori di carica in quanto il raggio di curvatura r della traiettoria circolare nella tazza di Faraday è noto. Su questa guida circolare la forza centripeta che agisce sui portatori di carica è data dalla forza di Lorentz.

Vale quindi:

$$(1) \quad m \cdot \frac{v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$$

e: Carica, m : Massa dei portatori di carica, B : Campo magnetico dove la velocità v dei portatori di carica dipende dalla tensione anodica U_A :

$$(2) \quad v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_A}$$

Ne consegue, per la carica specifica dei portatori di carica:

$$(3) \quad \frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(B \cdot r)^2}$$

ANALISI

Il raggio di curvatura r della traiettoria circolare verso la tazza di Faraday è di 160 mm. L'alta tensione U_A è nota.

Il campo magnetico B viene generato in una coppia di bobine di Helmholtz ed è proporzionale alla corrente I_H che attraversa una singola bobina. Il fattore di proporzionalità k può essere calcolato sulla base del raggio della bobina $R = 68$ mm e del numero di spire $N = 320$ per bobina:

$$B = k \cdot I_H \quad \text{con} \quad k = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{N}{R}$$

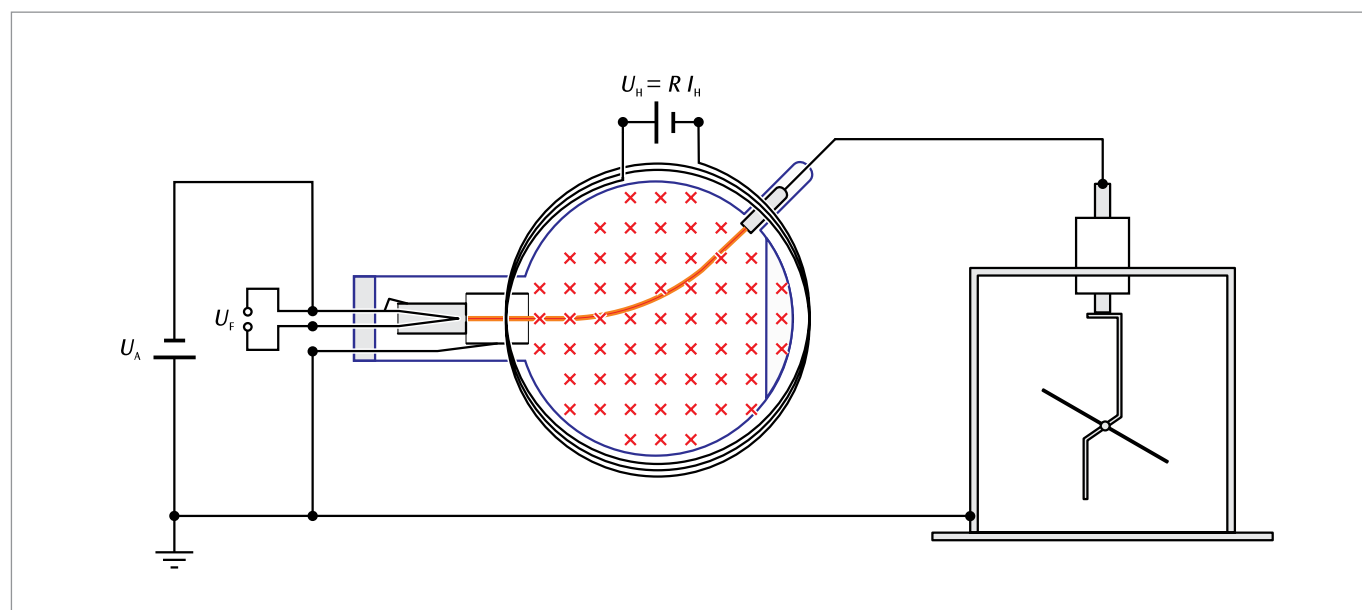


Fig. 1 Rappresentazione schematica del tubo di Perrin

UE3070500 | TUBO DI THOMSON



> FUNZIONI

- Analisi della deviazione di un fascio elettronico in un campo magnetico.
- Valutazione della carica specifica dell'elettrone.
- Analisi della deviazione di un fascio elettronico in un campo elettrico.
- Struttura di un selettore di velocità da un campo elettrico e magnetico incrociato.

SCOPO

Analisi della deviazione degli elettroni nel campo elettrico e magnetico

RIASSUNTO

Nei tubi di Thomson, la deviazione verticale di un fascio elettronico orizzontale risulta visibile su uno schermo fluorescente. La deviazione può essere generata da un campo elettrico verticale o da un campo magnetico orizzontale ortogonale rispetto alla direzione del fascio.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo di Thomon S*	1000617
1	Portatubo S	1014525
1	Coppia di bobine di Helmholtz S	1000611
1	Alimentatore ad alta tensione 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	1003310 o
	Alimentatore ad alta tensione 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	1003309
1	Alimentatore CC 0 – 500 V (230 V, 50/60 Hz)	1003308 o
	Alimentatore CC 0 – 500 V (115 V, 50/60 Hz)	1003307
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

* Richiedete anche un preventivo con i nostri tubi elettronici D.

BASI GENERALI

Nei tubi di Thomson, gli elettroni passano in direzione orizzontale attraverso un diaframma a fessura dietro l'anodo e colpiscono uno schermo fluorescente inclinato nel percorso dei raggi luminosi, sul quale risulta visibile l'andamento del fascio. Dietro al diaframma a fessura è montato un condensatore a piastre, nel cui campo elettrico verticale gli elettroni vengono deviati in direzione verticale. Inoltre, con le bobine di Helmholtz viene generato un campo magnetico ad andamento orizzontale ortogonale rispetto alla direzione del fascio, in cui gli elettroni vengono deviati anche in questo caso in direzione verticale:

Su un elettrone che si sposta nel campo magnetico \mathbf{B} alla velocità \mathbf{v} agisce la forza di Lorentz

$$(1) \quad \mathbf{F} = -e \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

e : Carica fondamentale

ortogonalmente rispetto alla direzione del movimento e al piano creato dal campo magnetico. La deviazione avviene in direzione verticale, se sia la direzione del movimento che il campo magnetico si trovano nel piano orizzontale (vedi fig. 1). Se la direzione di movimento è ortogonale al campo magnetico omogeneo, gli elettroni vengono forzati su una traiettoria circolare, la cui forza centripeta è data dalla forza di Lorentz.

$$(2) \quad m \cdot \frac{v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$$

m : Massa elettronica, r : Raggio della guida circolare

La velocità degli elettroni dipende dalla tensione degli anodi U_A . Ossia:

$$(3) \quad v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_A}$$

In questo modo, dal raggio della traiettoria circolare è possibile determinare la carica specifica dell'elettrone se il campo magnetico omogeneo B e la tensione anodica U_A sono noti. Sulla base di (2) e (3), per la carica specifica dell'elettrodo ne consegue:

$$(4) \quad \frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(B \cdot r)^2}$$

Se sul condensatore a piastre è presente una tensione U_p , nel campo elettrico verticale \mathbf{E} con la forza

$$(5) \quad \mathbf{F} = -e \cdot \mathbf{E}$$

e : Carica fondamentale

gli elettroni vengono deviati anche in questo caso verticalmente (vedi fig. 2). Il campo elettrico può quindi essere scelto in modo che la deviazione nel campo magnetico sia compensata:

$$(6) \quad e \cdot E + e \cdot v \cdot B = 0$$

In questo caso, la velocità degli elettroni può essere facilmente determinata. Ossia:

$$(7) \quad v = \frac{|E|}{|B|}$$

Una disposizione del campo elettrico e magnetico incrociato in cui la deviazione degli elettroni viene compensata rispetto allo zero viene chiamata selettore di velocità.

ANALISI

Il campo magnetico B viene generato in una coppia di bobine di Helmholtz ed è proporzionale alla corrente I_H attraverso una singola bobina. Il fattore di proporzionalità k può essere calcolato sulla base del raggio della bobina $R = 68 \text{ mm}$ e del numero di spire $N = 320$ per bobina:

$$B = k \cdot I_H \quad \text{con} \quad k = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{N}{R}$$

Il campo elettrico può essere calcolato sulla base della tensione U_p e della distanza delle piastre d :

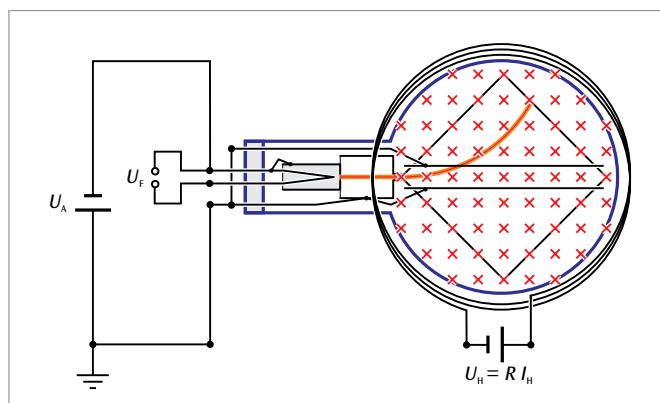


Fig. 1 Rappresentazione schematica per i tubi di Thomson nel campo magnetico

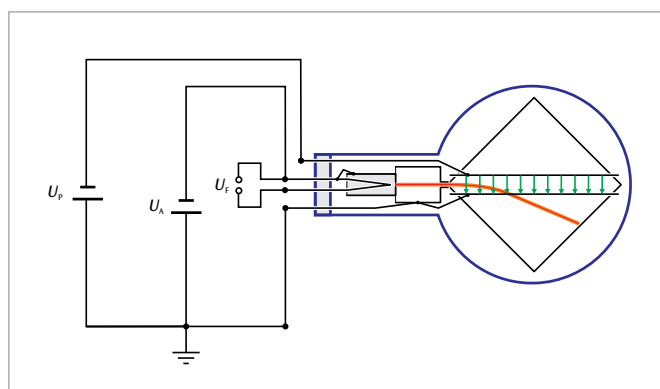


Fig. 2 Rappresentazione schematica per i tubi di Thomson nel campo elettrico

UE3070700 | TUBO A FASCIO FILIFORME



> FUNZIONI

- Dimostrazione della deviazione degli elettroni in un campo magnetico omogeneo su una traiettoria circolare chiusa.
- Determinazione della corrente delle bobine di Helmholtz I_H a seconda della tensione di accelerazione U del cannone elettronico a raggio della traiettoria circolare r costante.

SCOPO

Determinazione della carica specifica dell'elettrone

RIASSUNTO

Nel tubo a fascio filiforme, la traiettoria circolare degli elettroni in un campo magnetico omogeneo è visibile come traccia su oscilloscopio limitata in modo preciso. Pertanto, il raggio della traiettoria circolare può essere misurato direttamente con una scala. Dal raggio della traiettoria r , dal campo magnetico B e dalla tensione di accelerazione U del cannone elettronico è possibile calcolare la carica specifica e/m dell'elettrone.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo a fascio filiforme R	1019957
1	Bobine di Helmholtz da 300 mm	1000906
1	Alimentatore CC 0 – 500 V (230 V, 50/60 Hz)	1003308 o
	Alimentatore CC 0 – 500 V (115 V, 50/60 Hz)	1003307
1	Multimetro analogico ESCOLA 100	1013527
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Nel tubo a fascio filiforme, gli elettroni si spostano in un campo magnetico omogeneo su una traiettoria circolare. I tubi contengono gas neon a pressione precisamente regolata e gli atomi di gas vengono ionizzati lungo la traiettoria circolare tramite gli urti degli elettroni ed eccitati con emissione di luminescenza. In questo modo, la traiettoria circolare degli elettrodi risulta indirettamente visibile e il suo raggio può essere misurato direttamente con una scala. Poiché la tensione di accelerazione U del cannone elettronico e il campo magnetico B sono noti, dal raggio della traiettoria circolare è possibile calcolare la carica specifica e/m dell'elettrone:

Su un elettrone che si sposta perpendicolarmente rispetto ad un campo magnetico omogeneo B alla velocità v , ortogonalmente rispetto alla velocità e al campo magnetico agisce la forza di Lorentz

$$(1) \quad F = e \cdot v \cdot B$$

e : Carica fondamentale

che agisce sull'elettrone come forza centripeta

$$(2) \quad F = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

m : Massa elettronica

su una traiettoria circolare con il raggio r . Pertanto, è vale

$$(3) \quad e \cdot B = \frac{m \cdot v}{r}$$

La velocità v dipende dalla tensione di accelerazione U del cannone elettronico:

$$(4) \quad v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U}$$

Per la carica specifica dell'elettrone vale quindi:

$$(5) \quad \frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U}{(r \cdot B)^2}$$

ANALISI

Il campo magnetico B viene generato in una coppia di bobine di Helmholtz ed è proporzionale alla corrente I_H attraverso una singola bobina. Il fattore di proporzionalità k può essere calcolato sulla base del raggio della bobina $R = 147,5$ mm e del numero di spire $N = 124$ per bobina:

$$B = k \cdot I_H \quad \text{con} \quad k = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{N}{R}$$

Pertanto, tutte le grandezze di determinazione per la carica elettronica specifica sono note.

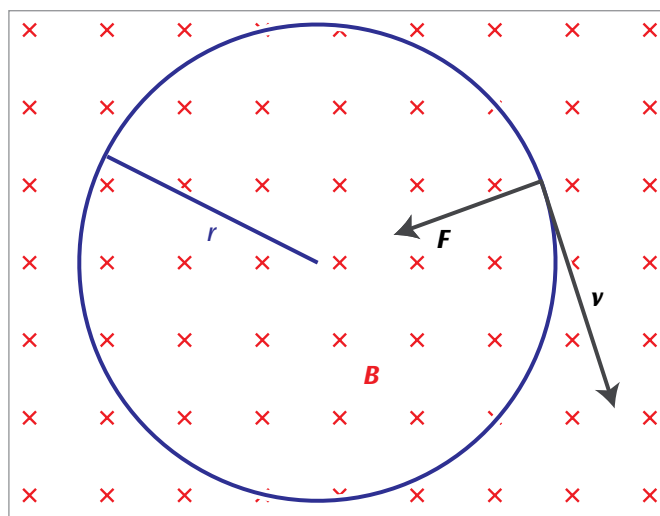


Fig. 1 Deviazione degli elettroni alla velocità v in un campo magnetico B attraverso la forza di Lorentz F su una guida circolare chiusa con il raggio r

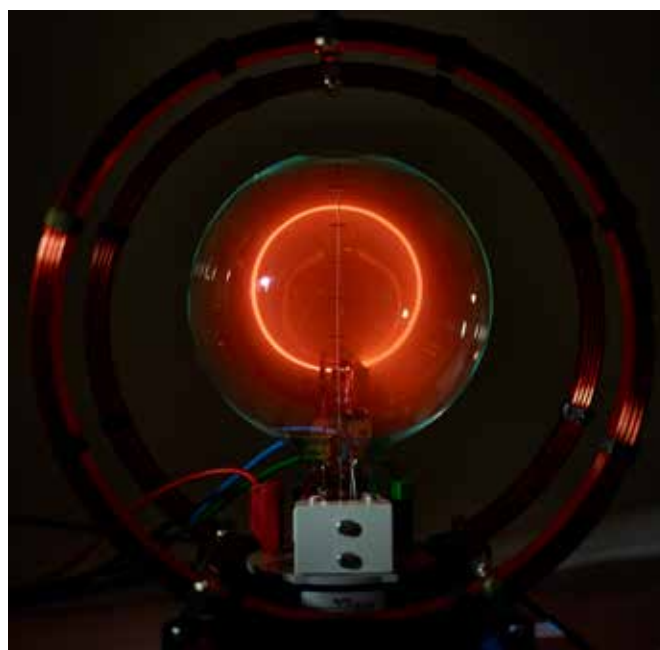
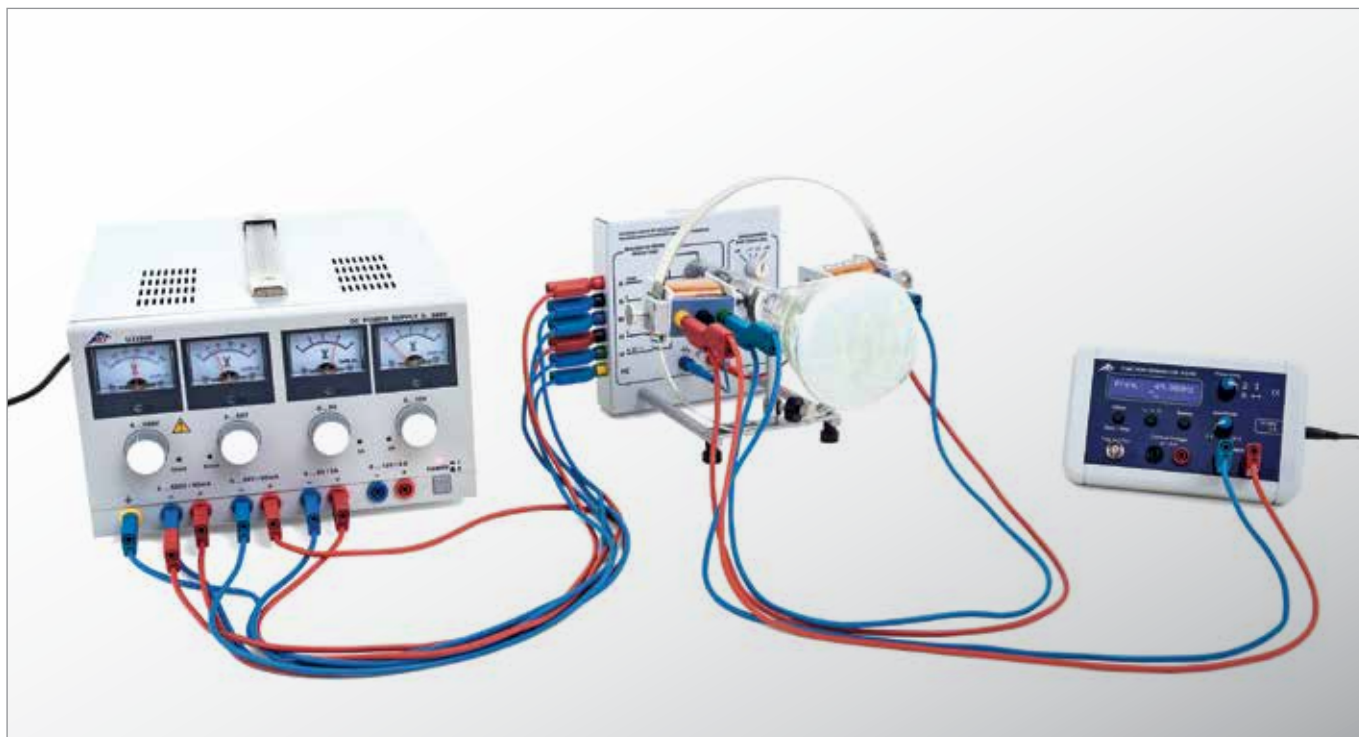


Fig. 2 Tubo a fascio filiforme con traccia luminosa circolare degli elettroni nel campo magnetico

UE3070800 | OSCILLOSCOPIO DIDATTICO I



> FUNZIONI

- Analisi della deviazione di un fascio elettronico in un campo elettrico.
- Analisi della deviazione di un fascio elettronico in un campo magnetico.
- Dimostrazione della rappresentazione oscilloscopica prendendo come esempio i segnali periodici di un generatore di funzione.
- Calibrazione del regolatore di frequenza del generatore a dente di sega.

SCOPO

Analisi dei principi fisici della rappresentazione oscilloscopica con risoluzione temporale dei segnali elettrici

RIASSUNTO

Con l'oscilloscopio didattico è possibile analizzare i principi fisici della rappresentazione di segnali elettrici con risoluzione temporale su uno schermo fluorescente. In un tubo a raggi catodici viene prodotto un fascio elettronico il cui punto di impatto sullo schermo può essere osservato come un punto luminoso verde. Deviato su una coppia di piastre da una tensione a dente di sega, il fascio elettronico si sposta a velocità costante da sinistra a destra per poi "saltare" al punto di partenza. Questo processo si ripete periodicamente con una frequenza regolabile. La tensione in funzione del tempo che deve essere rappresentata viene applicata a una bobina esterna al tubo e determina una deviazione verticale del fascio nel campo magnetico della bobina. La sua dipendenza dal tempo viene risolta dal contemporaneo movimento orizzontale del fascio elettronico e resa visibile sullo schermo fluorescente.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Oscilloscopio didattico	100902
1	Alimentatore CC 0 – 500 V (230 V, 50/60 Hz)	1003308 o
	Alimentatore CC 0 – 500 V (115 V, 50/60 Hz)	1003307
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Un'importante applicazione dell'emissione di elettroni termici in alto vuoto è l'oscilloscopio a raggi catodici, con il tubo a raggi catodici come sua parte costituente fondamentale. Nella versione didattica dell'oscilloscopio, un catodo incandescente circondato dal cosiddetto cilindro di Wehnelt e un disco forato a potenziale anodico costituiscono il sistema ottico elettronico del tubo a raggi catodici esternamente visibile. Una parte degli elettroni accelerati verso l'anodo attraversa il disco forato e forma un raggio visibile sullo schermo fluorescente del tubo sotto forma di un punto luminoso verde. Poiché il tubo è riempito di neon a bassa pressione, il fascio elettronico urta gli atomi di gas e conseguentemente è reso visibile sotto forma di un filo luminoso rossastro. Alla formazione di questo nuovo fascio contribuisce anche l'applicazione di una tensione negativa sul cilindro di Wehnelt. A favore della semplicità e della chiarezza si è rinunciato a dispositivi supplementari per l'accelerazione successiva e la messa a fuoco del raggio, comuni negli oscilloscopi tecnici.

Dietro all'anodo è situata una coppia di piastre orientate parallelamente al fascio elettronico che possono essere collegate a un generatore di tensione a dente di sega (vedi fig. 1). Il campo elettrico della tensione a dente di sega $U_x(t)$ devia orizzontalmente il fascio, che si sposta sullo schermo fluorescente da sinistra a destra a velocità costante, per poi "saltare" al punto di partenza. Questo processo si ripete periodicamente con una frequenza regolabile.

Durante il moto da sinistra a destra, il fascio elettronico può inoltre essere deviato verticalmente in un campo magnetico applicando una tensione $U_y(t)$ alla bobina esterna al tubo. Se questa tensione varia in funzione del tempo, la variazione viene resa visibile con risoluzione temporale sullo schermo fluorescente (vedi fig. 2).

Queste tensioni dipendenti dal tempo possono per esempio essere i segnali di uscita periodici di un generatore di funzione oppure i segnali amplificati di un microfono.

Nell'esperimento vengono analizzati i segnali periodici di un generatore di funzione. Per la rappresentazione ottimale, la frequenza a dente di sega viene scelta con un rapporto a numeri interi rispetto alla frequenza del generatore di funzione.

ANALISI

Se sullo schermo fluorescente viene rappresentato un periodo del segnale proveniente dal generatore di funzione, la sua frequenza corrisponde alla frequenza del dente di sega.

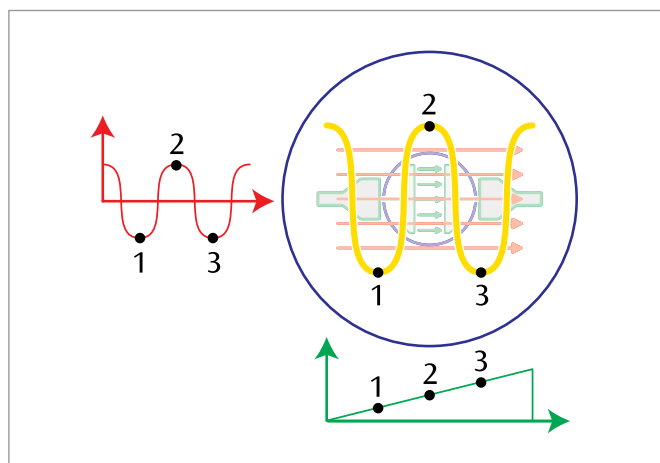


Fig. 2: Rappresentazione con risoluzione temporale di un segnale periodico

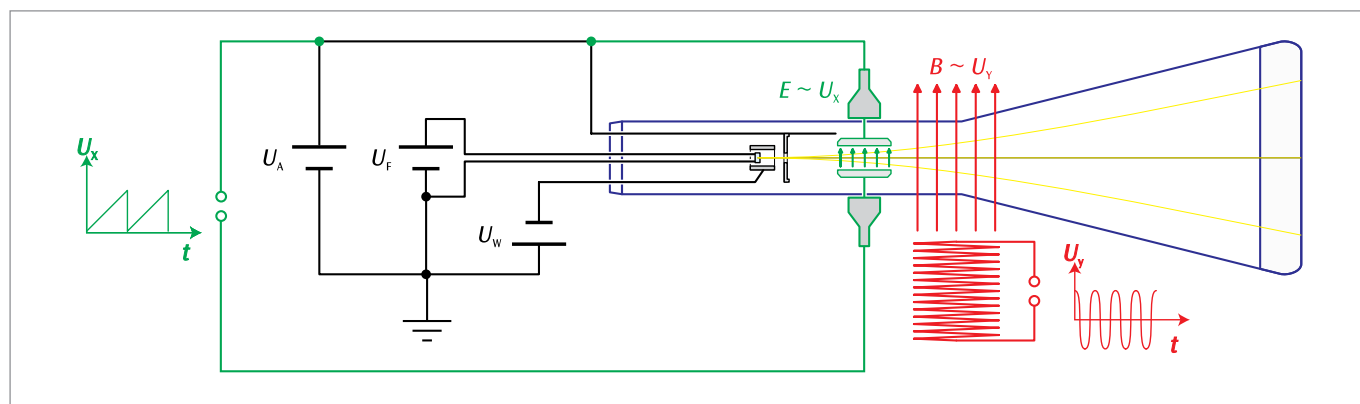
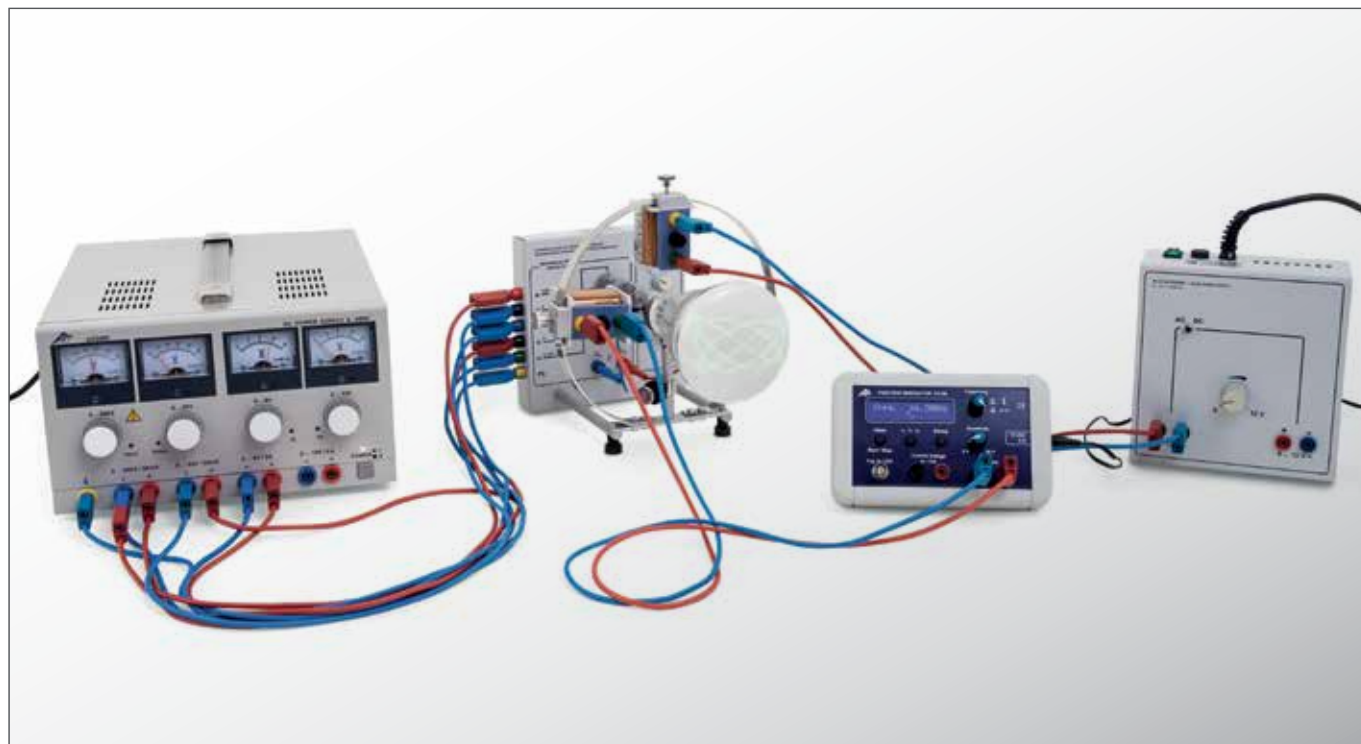


Fig. 1: Rappresentazione schematica dell'oscilloscopio didattico visto dall'alto

UE3070850 | OSCILLOSCOPIO DIDATTICO II



> FUNZIONI

- Sovrapposizione di campi alternati magnetici a frequenza uguale e diversa e osservazione dello spostamento del punto di immagine del tubo.
- Produzione di figure di Lissajous chiuse.
- Verifica della frequenza di rete.

SCOPO

Dimostrazione della sovrapposizione indisturbata di campi magnetici nel vuoto

RIASSUNTO

La sovrapposizione indisturbata di campi magnetici nel vuoto è dimostrata mediante l'uso di un tubo a raggi catodici. A tale scopo si osservano gli spostamenti del punto di immagine sullo schermo fluorescente del tubo. Le verifiche possono essere estese ai campi magnetici con frequenze uguali e diverse. Le figure di Lissajous osservabili sullo schermo fluorescente dipendono fortemente dal rapporto di frequenza dei due campi magnetici e dalla loro posizione di fase.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Oscilloscopio didattico	1000902
1	Alimentatore CC 0 – 500 V (230 V, 50/60 Hz)	1003308 o
	Alimentatore CC 0 – 500 V (115 V, 50/60 Hz)	1003307
1	Generatore di funzione FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	1009957 o
	Generatore di funzione FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	1009956
1	Alimentatore CA/CC 0 – 12 V, 3 A, stab. (230 V, 50/60 Hz)	1001007 o
	Alimentatore CA/CC 0 – 12 V, 3 A, stab. (115 V, 50/60 Hz)	1001006
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Con il tubo a raggi catodici è possibile dimostrare il principio di sovrapposizione per i campi magnetici nel vuoto analizzando la deviazione del fascio elettronico del tubo nel campo magnetico. La verifica può essere eseguita in particolar modo anche per i campi magnetici alternati, in quanto il fascio elettronico segue quasi privo di inerzia le variazioni dei campi magnetici.

Nell'esperimento, due bobine con caratteristiche costruttive identiche percorse da corrente vengono applicate esternamente al tubo a raggi catodici e viene osservata la deviazione del fascio elettronico nei campi magnetici delle bobine sotto forma di spostamenti del punto di immagine sullo schermo fluorescente del tubo. Mentre il campo magnetico della bobina orizzontale determina uno spostamento verticale, la bobina verticale provoca uno spostamento orizzontale. Attraverso un campo magnetico alternato alla frequenza di rete in una delle bobine, il punto di immagine viene allungato in una linea verticale o orizzontale. Se si collegano entrambe le bobine parallelamente alla sorgente di corrente alternata, compare una linea retta a meno di 45°, se le si collega non parallelamente essa compare a meno di -45° rispetto alla verticale, in quanto gli spostamenti del punto di immagine vengono sovrapposti da entrambi i campi magnetici.

Le verifiche possono essere estese anche ai campi magnetici con frequenze diverse. Le figure di Lissajous ora osservabili sullo schermo fluorescente dipendono dal rapporto di frequenza dei due campi magnetici e dalla loro posizione di fase. Se le frequenze hanno tra loro un rapporto semplice e razionale vengono prodotte figure chiuse, la cui forma precisa dipende ancora dalla differenza di fase tra i campi magnetici, come è raffigurato nella Figura 1 per le figure di Lissajous con rapporto di frequenza 5:1.

Se il rapporto di frequenza si discosta solo leggermente da un rapporto razionale semplice, ne deriva una figura chiusa che cambia tanto più lentamente quanto più piccola è la deviazione dal rapporto razionale. Questo fenomeno viene sfruttato nell'esperimento per verificare la frequenza di rete. A tale scopo, la prima bobina viene collegata a un trasformatore funzionante a frequenza di rete e la seconda bobina a un generatore di funzione la cui frequenza di segnale possa essere letta con altissima precisione.

ANALISI

Compatibilmente alla frequenza di rete ν viene cercata la frequenza del generatore ν_5 in corrispondenza della quale la figura di Lissajous da correlare al rapporto di frequenza 5:1 cambia più lentamente.

Le frequenza di rete ν è calcolabile nel momento di osservazione nel modo seguente.

$$\nu = \frac{\nu_5}{5}$$

Questa determinazione è effettuata con una precisione di 0,01 Hz, in quanto ν_5 può essere impostata con una precisione di 0,05 Hz.

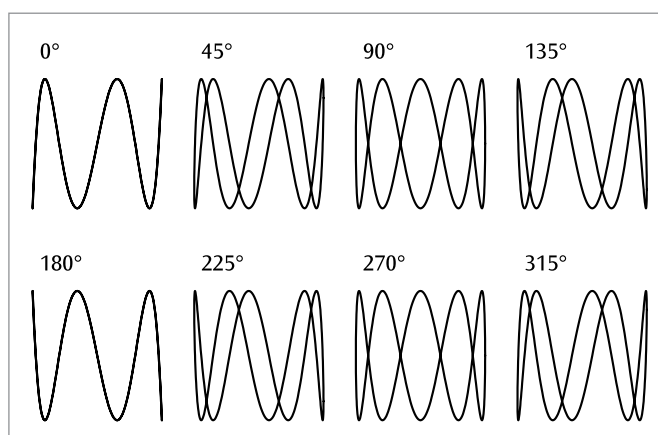
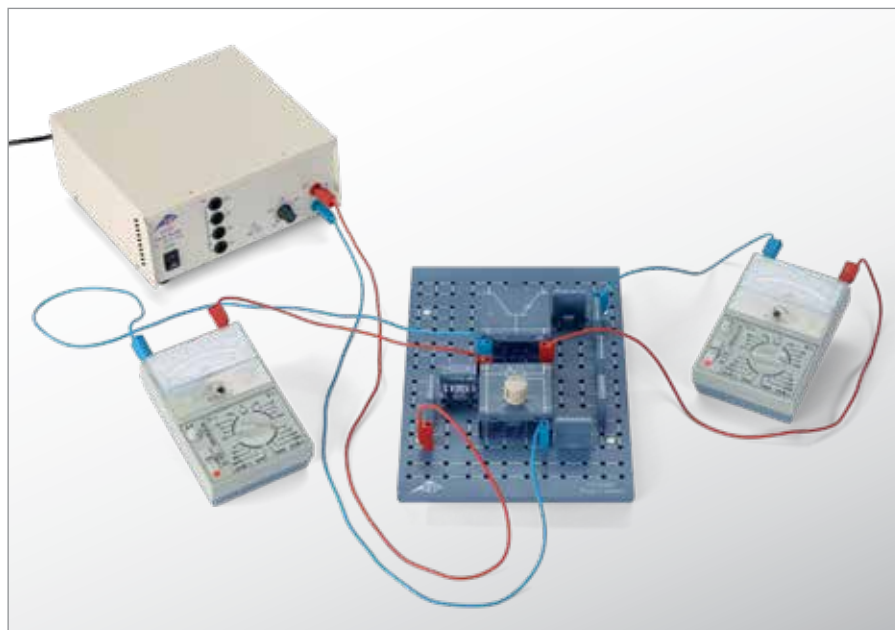


Fig. 1: Figure di Lissajous con rapporto di frequenza 5:1 e differenze di fase 0°, 45°, 90°, ...

UE3080200 | TRANSISTOR BIPOLARE



SCOPO

Misurazione delle caratteristiche rilevanti di un transistor npn

RIASSUNTO

Un transistor bipolare è un componente elettronico costituito da tre strati semiconduttori drogati p e n alternati: la base, il collettore e l'emettitore. In base alla disposizione degli strati si parla di un transistor npn oppure pnp. Il comportamento di un transistor bipolare è caratterizzato, tra le altre cose, dalla caratteristica di ingresso, di controllo e di uscita che nell'esperimento come esempio vengono misurate, rappresentate graficamente e valutate per il transistor npn.

> FUNZIONI

- Misurazione della caratteristica di ingresso, vale a dire la corrente di base I_B in funzione della tensione base-emettitore base U_{BE} .
- Misurazione della caratteristica di controllo, vale a dire la corrente di collettore I_C in funzione della corrente di base I_B con tensione collettore-emettitore fissa U_{CE} .
- Misurazione della caratteristica di uscita, quindi della corrente di collettore I_C in funzione della tensione collettore-emettitore U_{CE} con corrente di base fissa I_B .

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
1	Set di 10 connettori a nastro, P2W19	1012985
1	Resistenza 1 k Ω , 2 W, P2W19	1012916
1	Resistenza 47 k Ω , 0,5 W, P2W19	1012926
1	Potenzimetro 220 Ω , 3 W, P4W50	1012934
1	Potenzimetro 1 k Ω , 1 W, P4W50	1012936
1	Transistor NPN BD 137, P4W50	1012974
1	Alimentatore CA/CC 0 – 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1021091 o
	Alimentatore CA/CC 0 – 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1021092
3	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840

BASI GENERALI

Un transistor bipolare è un componente elettronico costituito da tre strati semiconduttori drogati p e n alternati: la base, il collettore e l'emettitore. La base si trova tra il collettore e l'emettitore e serve per il controllo. In linea di massima il transistor bipolare corrisponde a due diodi collegati contrapposti con un anodo o un catodo comune. La bipolarità è dovuta al fatto che a causa dei diversi tipi di drogaggio, sia gli elettroni, sia le lacune sono coinvolte nel trasporto della carica.

In base alla disposizione degli strati si parla di un transistor npn oppure pnp (Fig. 1). In base al collegamento cui viene applicata la tensione di ingresso e di uscita, il transistor bipolare viene usato come quadripolo in tre configurazioni principali, ovvero le configurazioni a emettitore comune, a collettore comune o a base comune.

A seconda della polarizzazione delle giunzioni base-emettitore e base-collettore in conduzione ($U_{BE}, U_{BC} > 0$) o in interdizione ($U_{BE}, U_{BC} < 0$), si ottengono quattro regioni operative del transistor npn (vedere la tab. 1). Nella modalità attiva diretta del transistor la giunzione BE polarizzata in conduzione ($U_{BE} > 0$) inietta elettroni dall'emettitore nella base e nelle lacune e dalla base nell'emettitore. Poiché l'emettitore ha un drogaggio molto superiore rispetto alla base, nella

base sono iniettati più elettroni rispetto alle lacune iniettate nell'emettitore con ricombinazioni conseguentemente ridotte. Poiché l'ampiezza della base è molto inferiore rispetto alla lunghezza di diffusione degli elettroni, che nella base sono portatori di carica minoritari, gli elettroni si diffondono attraverso la base fino alla barriera di potenziale tra la base e il collettore e diffondono fino al collettore, poiché la barriera di potenziale rappresenta un ostacolo solo per il portatore di carica di maggioranza. Si presenta quindi una corrente di trasporto I_T dall'emettitore nel collettore, che con nella regione attiva rappresenta la parte fondamentale della corrente del collettore I_C . Il transistor può quindi essere considerato come sorgente di corrente controllata dalla tensione; la corrente I_C sull'uscita può essere controllata dalla tensione U_{BE} sull'ingresso. Gli elettroni ricombinati nella base producono una corrente I_B di base, necessaria per garantire una corrente di trasporto I_T costante e quindi la stabilità del transistor. Attraverso una piccola corrente d'ingresso I_B viene quindi controllata una corrente in uscita maggiore I_C ($I_C \approx I_T$) e avviene un'amplificazione di corrente. Il comportamento del transistor bipolare è contraddistinto da quattro caratteristiche: ingresso, controllo, uscita e feedback (vedere Tab. 2). Nell'esperimento sono misurate e rappresentate graficamente come esempio le caratteristiche di ingresso, controllo e uscita per il transistor npn.

Tab. 1: Le quattro regioni operative di un transistor npn

U_{BE}	U_{BC}	Modalità operativa
> 0	< 0	Modalità attiva diretta
> 0	> 0	Saturazione
< 0	> 0	Modalità attiva inversa
< 0	< 0	Interdizione o cutoff

Tab. 2: Le quattro caratteristiche di un transistor npn in modalità di avanzamento

Descrizione	Dipendenza	Parametro
Caratteristica di ingresso	$I_B(U_{BE})$	
Caratteristica di controllo	$I_C(I_B)$	$U_{CE} = \text{cost.}$
Caratteristica di uscita	$I_C(U_{CE})$	$I_B = \text{cost.}$
Caratteristica di feedback	$U_{BE}(U_{CE})$	$I_B = \text{cost.}$

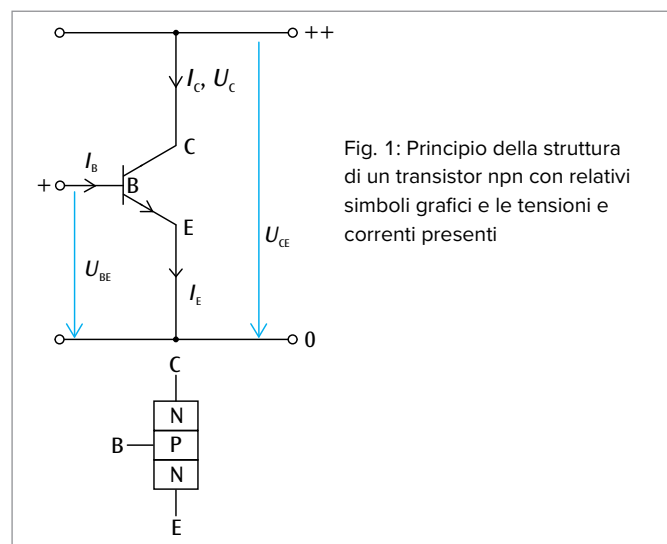


Fig. 1: Principio della struttura di un transistor npn con relativi simboli grafici e le tensioni e correnti presenti

ANALISI

Dalla caratteristica di ingresso è determinata la tensione di soglia U_S , dalla caratteristica di controllo il fattore di amplificazione

$$B = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

e dalla caratteristica di uscita la perdita di potenza

$$P = U_{CE} \cdot I_C$$

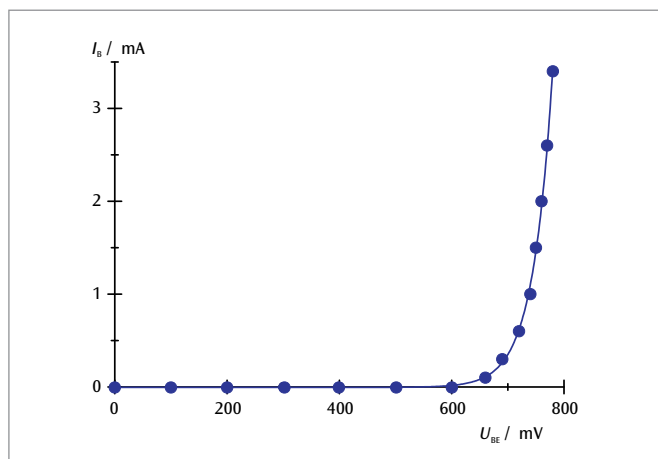


Fig. 2: Caratteristica di ingresso

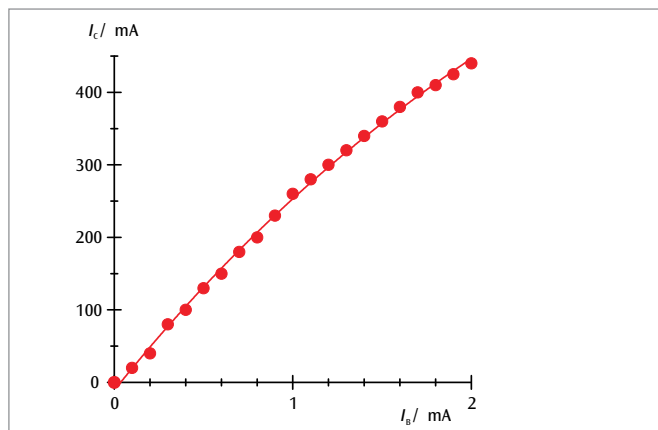


Fig. 3: Caratteristica di controllo per $U_{CE} = 5,2 \text{ V}$

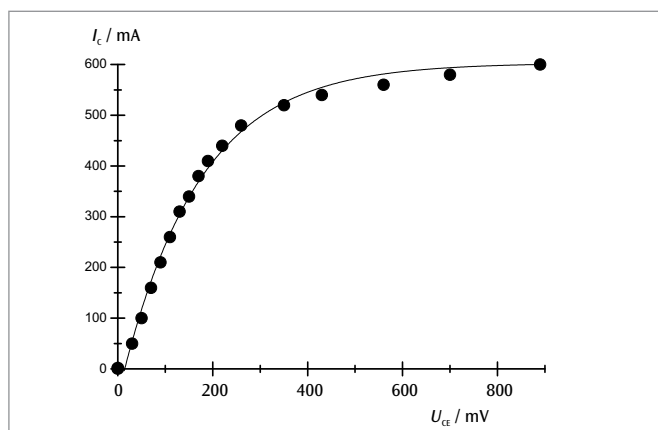
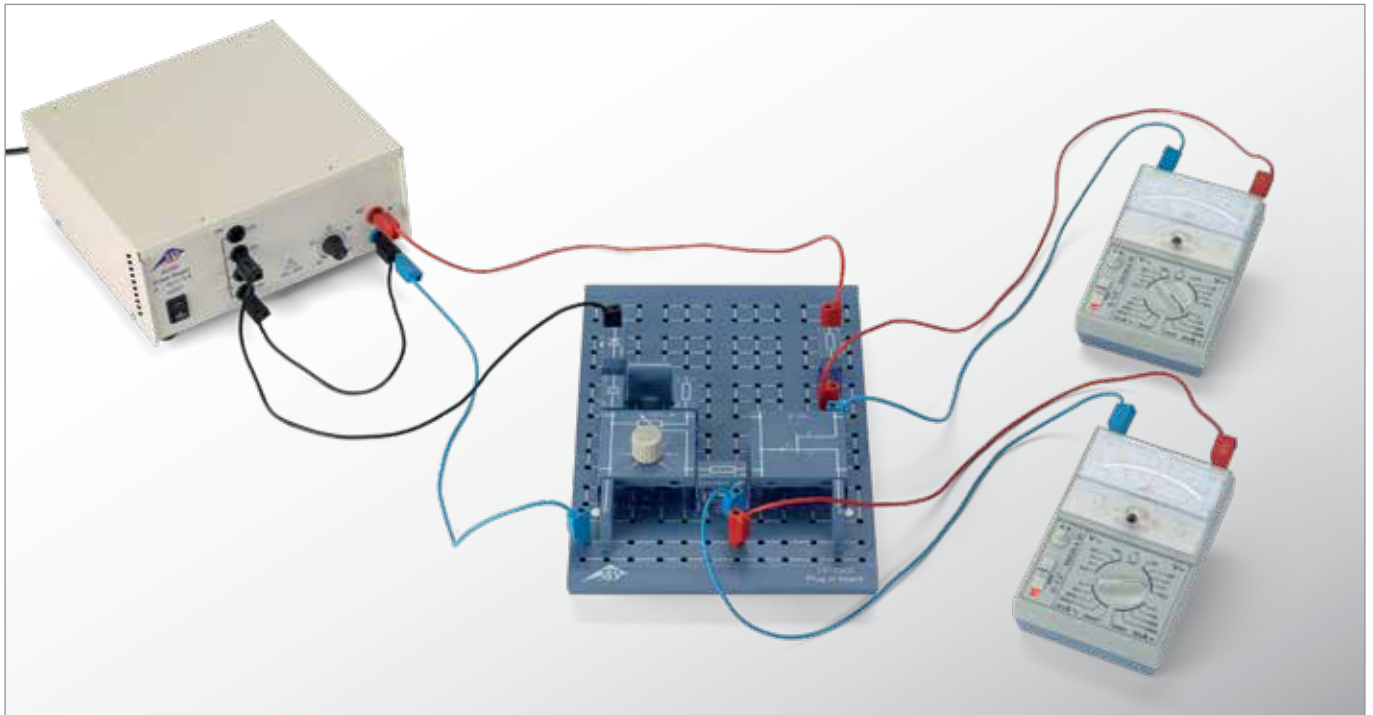


Fig. 4: Caratteristica di uscita per $I_B = 4,2 \text{ mA}$

UE3080300

TRANSISTOR AD EFFETTO DI CAMPO



> FUNZIONI

- Misurazione della tensione Drain in funzione della corrente Drain per diverse tensioni Gate.

SCOPO

Misurazione delle caratteristiche rilevanti di un transistor ad effetto di campo

RIASSUNTO

Un transistor ad effetto di campo (FET) è un elemento semiconduttore con il quale la corrente elettrica che passa attraverso un canale può essere controllata da un campo elettrico perpendicolare rispetto al flusso di corrente. Il FET ha tre collegamenti chiamati Source, Drain e Gate o, rispettivamente, sorgente, pozzo e porta. Se viene applicata una tensione elettrica tra Source e Drain, questa genera nel canale la corrente di Drain. Per piccole tensioni Drain-Source il FET si comporta come una resistenza ohmica e la curva si estende in modo lineare. Con la tensione Drain-Source in aumento si arriva prima ad uno strozzamento e poi ad una interruzione del canale e la curva passa in un'area di saturazione. Per le tensioni di Gate diverse da zero, il valore di saturazione della corrente di Drain si abbassa.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Scheda per componenti	1012902
1	Set di 10 connettori a nastro, P2W19	1012985
1	Resistenza 1 k Ω , 2 W, P2W19	1012916
1	Resistenza 470 Ω , 2 W, P2W19	1012914
1	Resistenza 47 k Ω , 0,5 W, P2W19	1012926
1	Condensatore 470 μ F, 16 V, P2W19	1012960
1	Transistor FET BF 244, P4W50	1012978
1	Diodo Si 1N 4007, P2W19	1012964
1	Potenzimetro 220 Ω , 3 W, P4W50	1012934
1	Alimentatore CA/CC 0 – 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1021091 o
1	Alimentatore CA/CC 0 – 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1021092
2	Multimetro analogico ESCOLA 30	1013526
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840

BASI GENERALI

Un transistor ad effetto di campo (FET) è un elemento semiconduttore con il quale la corrente elettrica che passa attraverso un canale può essere controllata da un campo elettrico perpendicolare rispetto al flusso di corrente.

Il FET ha tre collegamenti chiamati Source (S), Drain (D) e Gate (G) o, rispettivamente, sorgente, pozzo e porta. Il canale è il collegamento di conduzione tra Source e Drain. Se viene applicata una tensione elettrica U_{DS} tra Source e Drain questa genera nel canale la corrente di Drain I_D . La corrente è costituita da portatori di carica di una sola polarità (transistor unipolare), vale a dire elettroni per un canale composto da un semiconduttore n, lacune per un canale composto da un semiconduttore p. La sezione o la conducibilità del canale vengono controllate dal campo elettrico perpendicolare al flusso di corrente. Per la creazione di questo campo trasversale viene applicata una tensione Gate U_{GS} tra Source e Gate. L'isolamento degli elettrodi rispetto al canale può avvenire attraverso una giunzione pn in interdizione (FET a giunzione o J-FET) o tramite uno strato di isolamento (IG-FET, MIS-FET, MOS-FET). Nei FET a giunzione la sezione del canale viene controllata dalla dilatazione della zona di svuotamento e questa a sua volta dal campo trasversale. Per garantire che la giunzione pn sia sempre polarizzata inversamente, quindi che non fluisca corrente di Gate, la tensione Gate U_{GS} e la tensione di Source U_{DS} con un canale FET n devono soddisfare le condizioni

$$(1a) \quad U_{GS} \leq 0, U_{DS} \geq 0$$

e con un canale FET p le condizioni

$$(1b) \quad U_{GS} \geq 0, U_{DS} \geq 0.$$

Per piccole tensioni Drain-Source $|U_{DS}|$ il FET si comporta come una resistenza ohmica e la curva si estende in modo lineare. Aumentando i valori $|U_{DS}|$ avviene uno strozzamento del canale, perché la tensione di interdizione tra Gate e canale aumenta nella direzione del Drain. La zona di svuotamento in prossimità del Drain è più ampia che in prossimità del Source, quindi il canale in prossimità di Drain è più stretto che in prossimità del Source. Con una determinata tensione $U_{DS} = U_p$ la larghezza del canale va verso zero, giunge all'interdizione (pinch-off) del canale e la corrente non aumenta più con un ulteriore aumento della tensione Drain-Source. La curva passa dall'area ohmica in un'area di saturazione.

La dilatazione della zona di svuotamento e quindi la larghezza del canale sono controllabili tramite la tensione di Gate. Se la tensione di Gate è diversa da zero, il canale si restringe ulteriormente, con una conseguente riduzione della corrente di Drain e in particolare della corrente di saturazione. Il canale è sempre bloccato indipendente dalla tensione Drain-Source U_{DS} per $|U_{GS}| \geq |U_p|$.

Nell'esperimento la corrente Drain I_D è misurata in funzione della tensione Drain-Source U_{DS} per diverse tensioni di Gate U_{GS} .

ANALISI

I valori di misurazione per le diverse tensioni Gate sono rappresentati graficamente in un diagramma I_D-U_{DS} (Fig. 1) ed è confermato l'andamento delle curve caratteristiche descritte che si ottiene dal controllo della corrente Drain attraverso la tensione Drain e la tensione Gate.

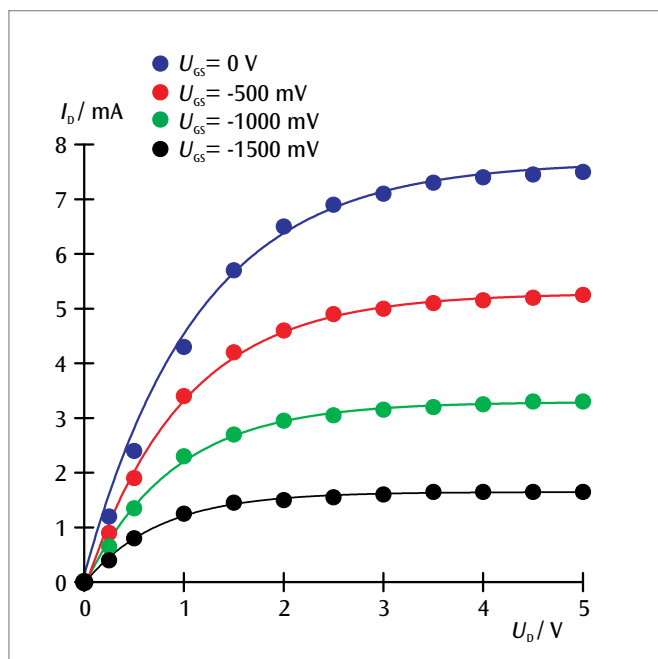
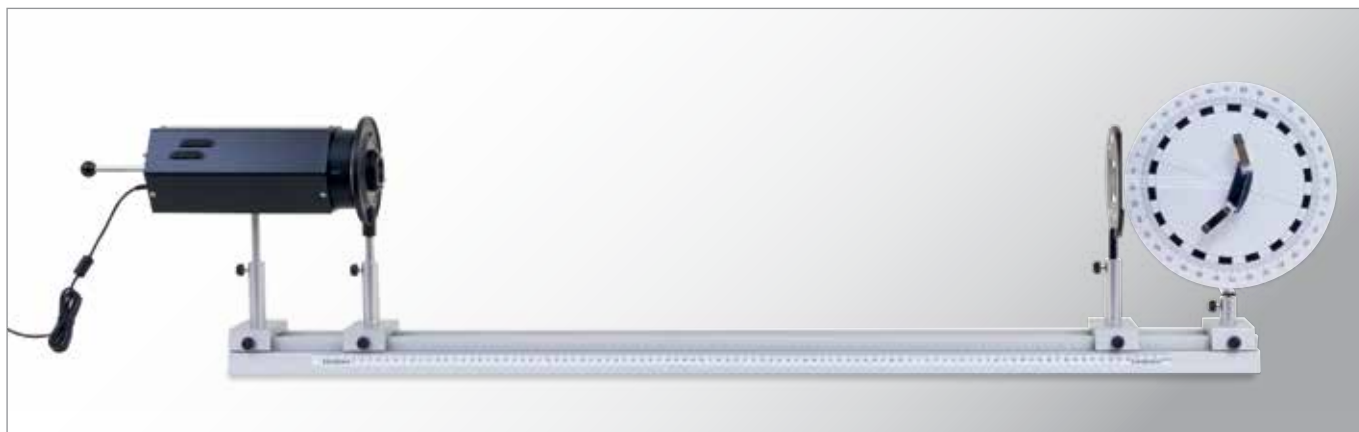


Fig. 1: Curve caratteristiche del transistor ad effetto di campo per le tensioni Gate 0 V (blu), -0,5 V (rosso), -1 V (verde) e -1,5 V (verde-azzurro)

UE4010000 | RIFLESSIONE SU UNO SPECCHIO



> FUNZIONI

- Dimostrazione della legge della riflessione su uno specchio piano.
- Determinazione della distanza focale di uno specchio concavo e dimostrazione della legge della riflessione.
- Determinazione della distanza focale virtuale di uno specchio convesso.

SCOPO

Analisi della riflessione su specchi piani e curvi

RIASSUNTO

I raggi luminosi che incidono su uno specchio vengono riflessi con un angolo di incidenza corrispondente all'angolo di riflessione. Questa legge della riflessione è valida sia per specchi piani, che per specchi curvi. Tuttavia solo su uno specchio piano raggi incidenti paralleli generano raggi riflessi paralleli, poiché in questo caso l'angolo di incidenza è uguale per tutti i raggi luminosi. Gli specchi concavi o convessi non mantengono il parallelismo dei raggi incidenti che, al contrario, vengono concentrati in un unico punto focale.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Banco ottico U, 1000 mm	1002625
3	Cavaliere ottico U, 75 mm	1022450
1	Cavaliere ottico U, 30 mm	1022449
1	Lampada ottica con LED	1020630
1	Diaframma ad iride su asta	1003017
1	Portaoggetti su asta	1000855
1	Disco ottico con accessori	1003036
1	Set di 5 diaframmi di fenditura e di apertura	1000607

BASI GENERALI

I raggi luminosi che incidono su uno specchio vengono riflessi con un angolo di incidenza corrispondente all'angolo di riflessione. Questa legge della riflessione è valida sia per specchi piani, che per specchi curvi. Tuttavia solo su uno specchio piano raggi incidenti paralleli generano raggi riflessi paralleli, poiché solo in questo caso l'angolo di incidenza è uguale per tutti i raggi luminosi.

Se i raggi luminosi paralleli colpiscono uno specchio piano con un angolo α , vengono riflessi con un angolo β in base alla legge della riflessione

$$(1) \quad \alpha = \beta$$

α : angolo di incidenza, β : angolo di riflessione.

Nell'esperimento si dimostra quanto affermato sopra sull'esempio di tre raggi paralleli e si determina l'angolo di riflessione in funzione dell'angolo di incidenza.

Quando un raggio luminoso parallelo all'asse ottico colpisce uno specchio concavo, per la legge della riflessione, esso viene riflesso simmetricamente alla normale alla superficie e taglia l'asse ottico a una distanza dallo specchio pari a:

$$(2) \quad f_{\alpha} = r - \overline{MF} = r \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot \cos \alpha} \right)$$

(vedere fig. 1 Percorso del raggio sul lato sinistro). Per i raggi prossimi all'asse si ha approssimativamente $\cos \alpha = 1$ e quindi

$$(3) \quad f = \frac{r}{2}$$

indipendentemente dalla loro distanza dall'asse ottico. Quindi, dopo essere stati riflessi dallo specchio, tutti i raggi paralleli vicini all'asse si incontrano in un punto focale sull'asse ottico che giace a una distanza f dallo specchio concavo. Se i raggi paralleli incontrano l'asse ottico con un angolo α , vengono riflessi in un punto comune esterno all'asse ottico.

I rapporti geometrici con lo specchio convesso corrispondono a quelli con lo specchio concavo, con la differenza che, dopo essere stati riflessi dallo specchio, i raggi luminosi divergono; i loro prolungamenti immaginari convergono in un punto focale virtuale f' posto dietro allo specchio (vedere fig. 1 Percorso dei raggi sul lato destro). Per la distanza focale virtuale f' di uno specchio concavo vale:

$$(4) \quad f' = -\frac{r}{2}$$

Nell'esperimento vengono determinate la distanza focale dello specchio concavo e la distanza focale dello specchio convesso in base ai comportamenti dei raggi luminosi su un disco ottico. Viene verificata la validità della legge della riflessione per il raggio mediano.

ANALISI

I raggi luminosi paralleli che colpiscono uno specchio piano vengono riflessi come raggi paralleli. In questo caso è valida la legge della riflessione. Nella riflessione di un fascio di raggi luminosi paralleli che incidono su uno specchio concavo, l'angolo di incidenza di ogni singolo raggio varia in modo che tutti i raggi vengono focalizzati in un unico punto focale. Analogamente, nella riflessione su uno specchio convesso, i prolungamenti dei raggi convergono in un punto focale che giace dietro allo specchio.

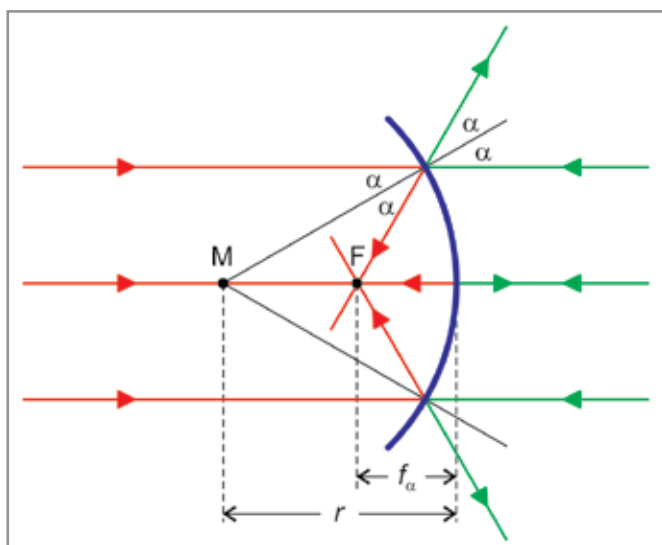


Fig. 1: Rappresentazione schematica della determinazione della distanza focale dello specchio concavo e dello specchio convesso



Fig. 2: Riflessione di tre raggi paralleli su uno specchio piano

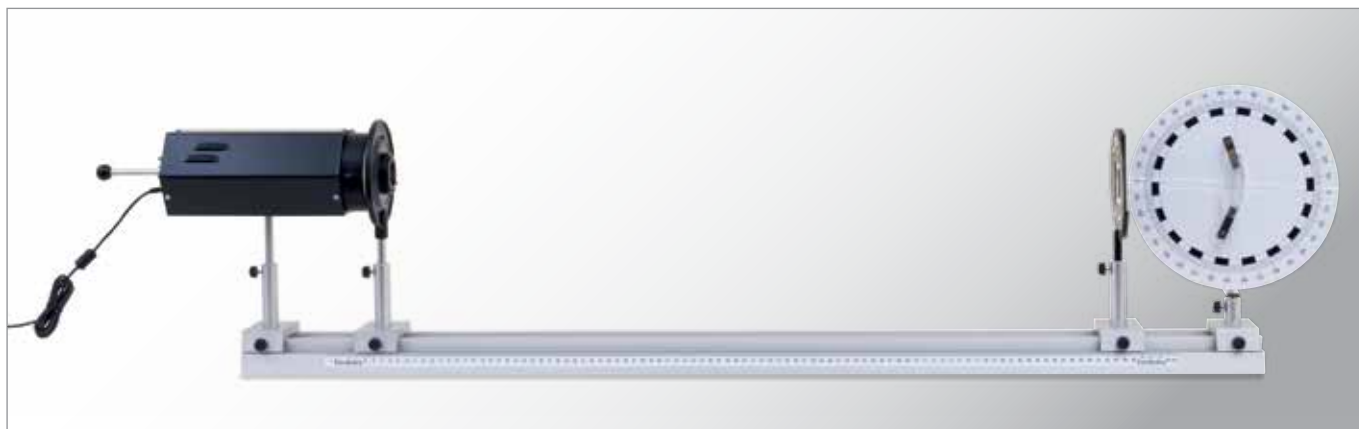


Fig. 3: Riflessione di tre raggi paralleli su uno specchio concavo



Fig. 4: Riflessione di tre raggi paralleli su uno specchio convesso

UE4010020 | RIFRAZIONE DELLA LUCE



> FUNZIONI

- Dimostrazione della legge di rifrazione di Snell.
- Determinazione dell'indice di rifrazione e dell'angolo limite della riflessione totale per il plexiglas.
- Osservazione e misurazione dell'andamento dei raggi sfalsati parallelamente nel caso di rifrazione in una lastra piano-parallela.
- Osservazione dell'andamento dei raggi attraverso un prisma di deviazione e inversione.
- Osservazione dell'andamento dei raggi attraverso una lente convessa e una lente concava.

SCOPO

Analisi della rifrazione della luce in diversi elementi ottici

RIASSUNTO

La luce si propaga in mezzi diversi con diverse velocità di propagazione. La velocità di propagazione della luce attraverso un mezzo a bassa densità ottica è superiore a quella attraverso un mezzo a densità ottica maggiore. Pertanto, quando un raggio luminoso colpisce diagonalmente la superficie di separazione dei due mezzi, si genera una deviazione, la quale dipende dal rapporto degli indici di rifrazione dei mezzi interessati e viene descritta dalla legge di Snell. Nell'esperimento si prende in esame questo fenomeno utilizzando elementi ottici in plexiglas.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Banco ottico U, 1000 mm	1002625
3	Cavaliere ottico U, 75 mm	1022450
1	Cavaliere ottico U, 30 mm	1022449
1	Lampada ottica con LED	1020630
1	Diaframma ad iride su asta	1003017
1	Portaoggetti su asta	1000855
1	Disco ottico con accessori	1003036
1	Set di 5 diaframmi di fenditura e di apertura	1000607

BASI GENERALI

La luce si propaga in mezzi diversi con diverse velocità di propagazione. La velocità di propagazione della luce attraverso un mezzo a bassa densità ottica è superiore a quella attraverso un mezzo ottico a densità ottica maggiore.

Il rapporto fra la velocità della luce c_0 nel vuoto e la velocità della luce in un mezzo viene definito indice di rifrazione assoluto n . Per la velocità della luce c in un mezzo vale quindi:

$$(1) \quad c = \frac{c_0}{n}$$

Quando un fascio luminoso passa da un mezzo con indice di rifrazione n_1 a un altro mezzo con indice di rifrazione n_2 , si verifica una deviazione in corrispondenza della superficie di separazione, la quale viene descritta dalla legge di rifrazione di Snell:

$$(2) \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{c_2}{c_1}$$

α, n_1, c_1 : angolo di incidenza, indice di rifrazione e velocità di propagazione nel mezzo 1

β, n_2, c_2 : angolo di rifrazione, indice di rifrazione e velocità di propagazione nel mezzo 2

Pertanto, nel passaggio da un mezzo ottico a uno più denso, il raggio luminoso rifratto si avvicina alla normale, mentre nel passaggio da un mezzo ottico a un altro meno denso, il raggio luminoso rifratto si allontana dalla normale. Nel secondo caso esiste un angolo limite α_T in cui il raggio rifratto si propaga sulla superficie di separazione fra i due mezzi. Con un angolo di incidenza ancora maggiore non si ha più alcuna rifrazione dei raggi e la luce incidente viene totalmente riflessa. Nell'esperimento si prende in esame il fenomeno della rifrazione in un corpo semicircolare, una lastra piano-parallela, un prisma, una lente convessa e una lente concava in plexiglas. Il corpo semicircolare è particolarmente adatto per la dimostrazione della legge di rifrazione poiché, se il raggio incide al centro della faccia piana con un angolo a piacere, il raggio rifratto è sempre perpendicolare alla superficie semicircolare e non viene nuovamente rifratto in uscita (vedere fig. 1). Nel caso della doppia rifrazione su due facce opposte della lastra piano-parallela, ha luogo nel complesso uno spostamento parallelo di una certa distanza d che dipende dall'angolo di incidenza α . Vale (vedere fig. 1):

$$(3) \quad d = h \cdot \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}, \quad h: \text{spessore della lastra}$$

Un prisma di 90° funge da prisma di deviazione quando i raggi luminosi incidono perpendicolarmente attraverso un cateto. Vengono riflessi sull'ipotenusa e fuoriescono dal prisma con un angolo di 90° . Disponendolo diversamente (prisma di inversione) i raggi luminosi incidono parallelamente attraverso l'ipotenusa e vengono riflessi su entrambi i cateti. Fuoriescono dal prisma parallelamente al raggio luminoso incidente nella direzione opposta (vedere fig. 1). Una lente convessa devia i raggi luminosi incidenti, facendoli convergere, mentre una lente concava li fa divergere. (vedere Fig. 1) I raggi luminosi si incontrano in un punto focale F che giace dietro alla lente oppure sembrano divergere dal punto focale virtuale F' davanti alla lente.

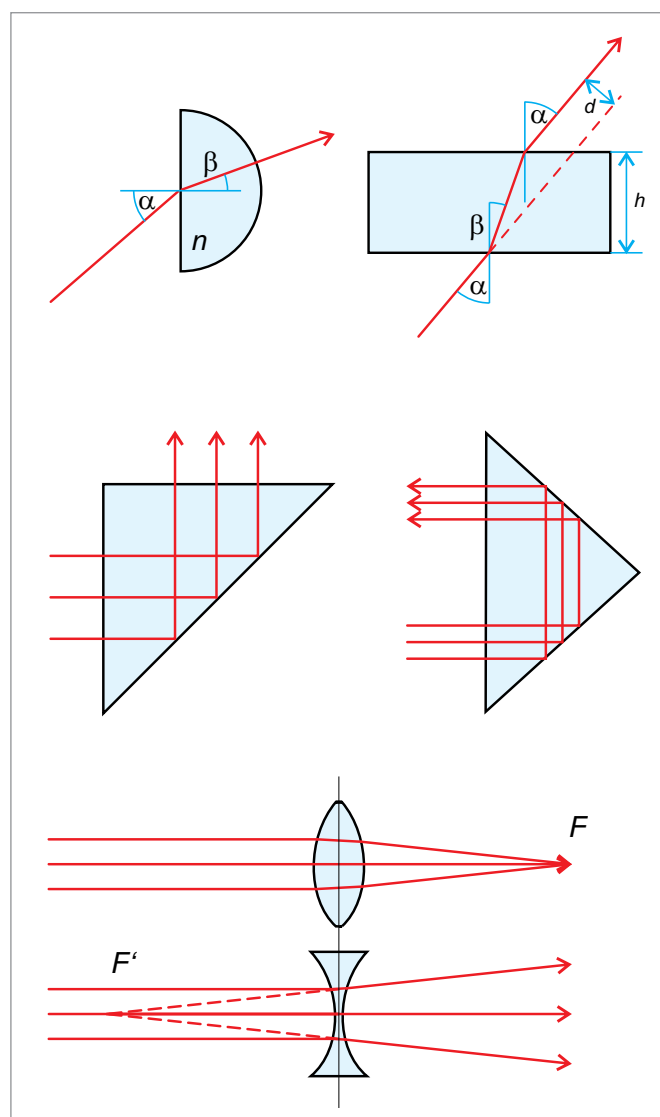


Fig. 1: Rifrazione in un corpo semicircolare, andamento dei raggi attraverso una lastra piano-parallela, prisma di deviazione e inversione, andamento dei raggi attraverso una lente convessa e attraverso una lente concava

ANALISI

Nell'esperimento, per il mezzo aria si assume con sufficiente precisione $n_1 = 1$.

Se l'angolo di incisione corrisponde all'angolo limite α_T della riflessione totale, l'angolo di rifrazione è $\beta = 90^\circ$. Pertanto da (2) è derivabile l'indice di rifrazione n del plexiglas.

$$\sin \alpha_T = \frac{1}{n}$$

Per la rifrazione sulla lastra piano-parallela si ottiene in base a (2) e (3):

$$d = h \cdot (\sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \tan \beta) = h \cdot \sin \alpha \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right)$$

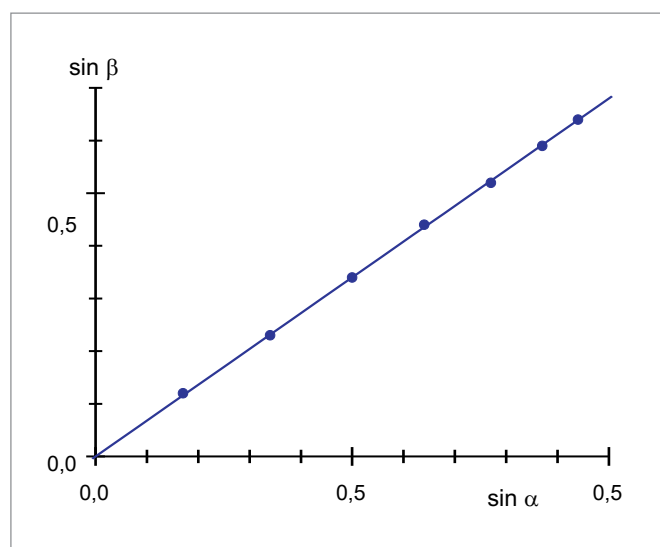
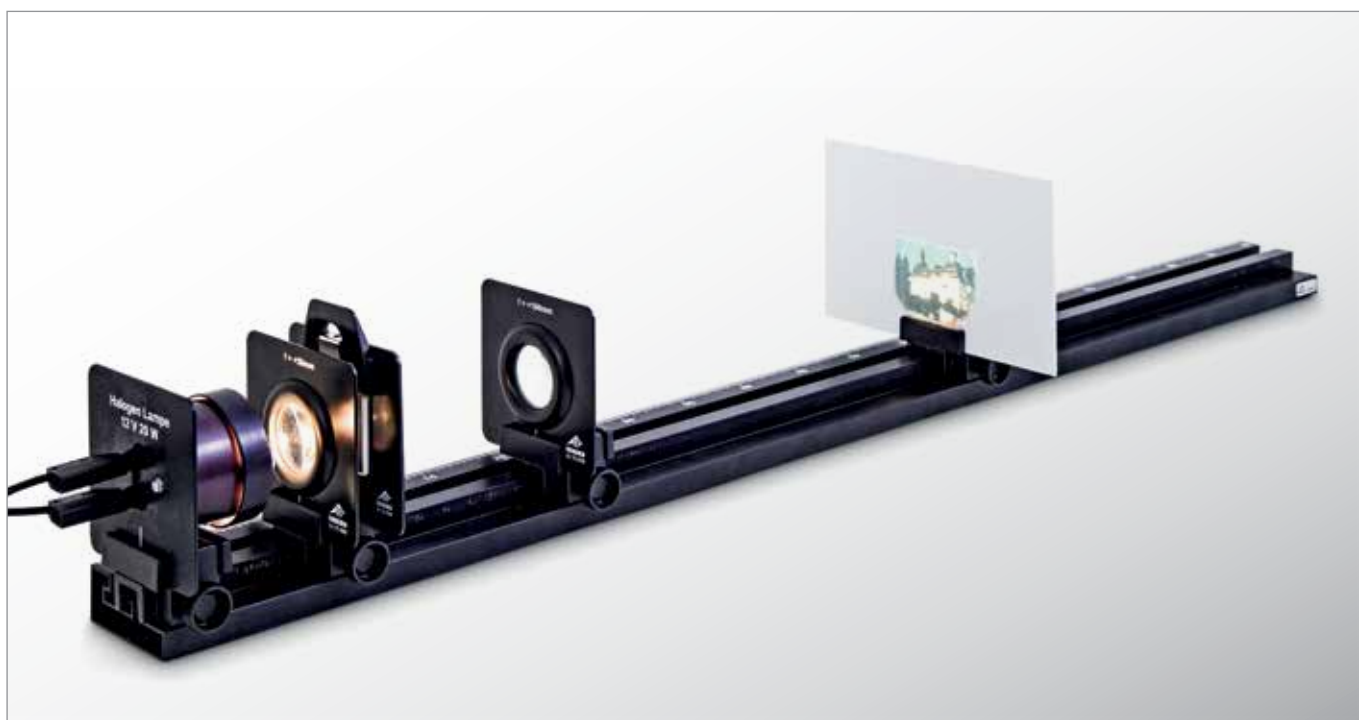


Fig. 2: Definizione per via grafica dell'indice di rifrazione n

UE4010100 | EQUAZIONI DELLE LENTI



> FUNZIONI

- Determinazione delle due posizioni di una lente sottile che forniscono un'immagine nitida.
- Determinazione della distanza focale di una lente sottile.

SCOPO

Determinazione della distanza focale di una lente secondo il metodo di Bessel

RIASSUNTO

Su un banco ottico è possibile disporre una lente, una sorgente luminosa, uno schermo e un oggetto di proiezione in modo che sullo schermo venga prodotta un'immagine nitida. Tramite i rapporti geometrici dei cammini ottici di una lente sottile è possibile determinare la sua distanza focale.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Banco ottico K, 1000 mm	1009696
4	Cavaliere ottico K	1000862
1	Lampada ottica K	1000863
1	Trasformatore 12 V, 25 VA (230 V, 50/60 Hz)	1000866 o
	Trasformatore 12 V, 25 VA (115 V, 50/60 Hz)	1000865
1	Lente collettrice K, $f = 50$ mm	1000869
1	Lente collettrice K, $f = 100$ mm	1010300
1	Supporto di fissaggio K	1008518
1	Set di 4 oggetti per immagine	1000886
1	Schermo di proiezione K, bianco	1000879

BASI GENERALI

La distanza focale f di una lente indica la distanza tra il piano principale della lente e il punto focale, vedere fig.1. È possibile definirla conformemente al metodo Bessel (da Friedrich Wilhelm Bessel). Per questo vengono misurate le diverse distanze tra gli elementi del banco ottico.

In base alle fig. 1 e fig. 2 si riconosce che per una lente sottile deve valere il rapporto geometrico

$$(1) \quad a = b + g$$

a : Distanza tra l'oggetto G e l'immagine B
 b : Distanza tra la lente e l'immagine B
 g : Distanza tra l'oggetto G e la lente

Inserendolo nell'equazione delle lenti

$$(2) \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

f : Distanza focale della lente

si ottiene:

$$(3) \quad \frac{1}{f} = \frac{a}{a \cdot g - g^2}$$

Ciò corrisponde a un'equazione quadratica con le soluzioni

$$(4) \quad g_{1,2} = \frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - a \cdot f}$$

Risulta un'immagine nitida per entrambe le distanze dell'oggetto g_1 e g_2 . Dalla loro differenza è possibile definire la distanza focale della lente:

$$(5) \quad e = g_1 - g_2 = \sqrt{a^2 - 4af}$$

La differenza e è la distanza tra entrambe le posizioni delle lenti P_1 e P_2 che rendono un'immagine nitida.

ANALISI

Dall'equazione (4) emerge la formula per la distanza focale della lente sottile

$$f = \frac{a^2 - e^2}{4a}$$

secondo il metodo di Bessel.

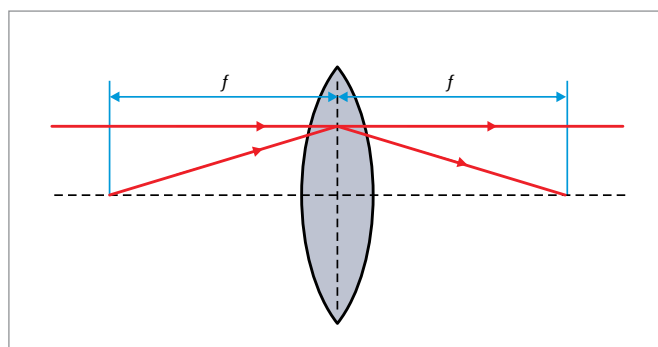


Fig. 1: Rappresentazione schematica per la definizione della distanza focale di una lente sottile

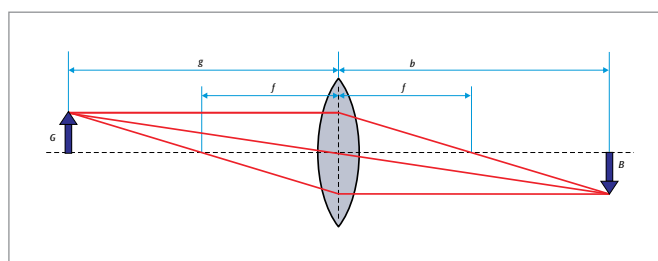


Fig. 2: Cammino ottico schematico attraverso una lente

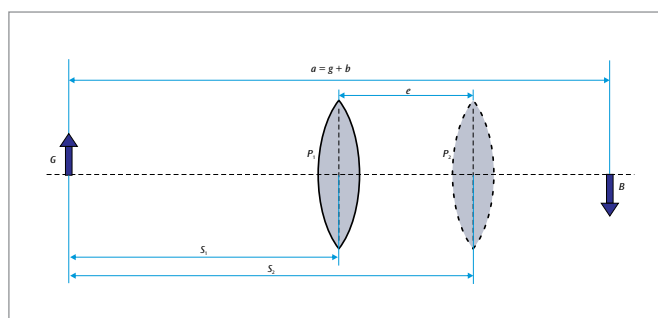
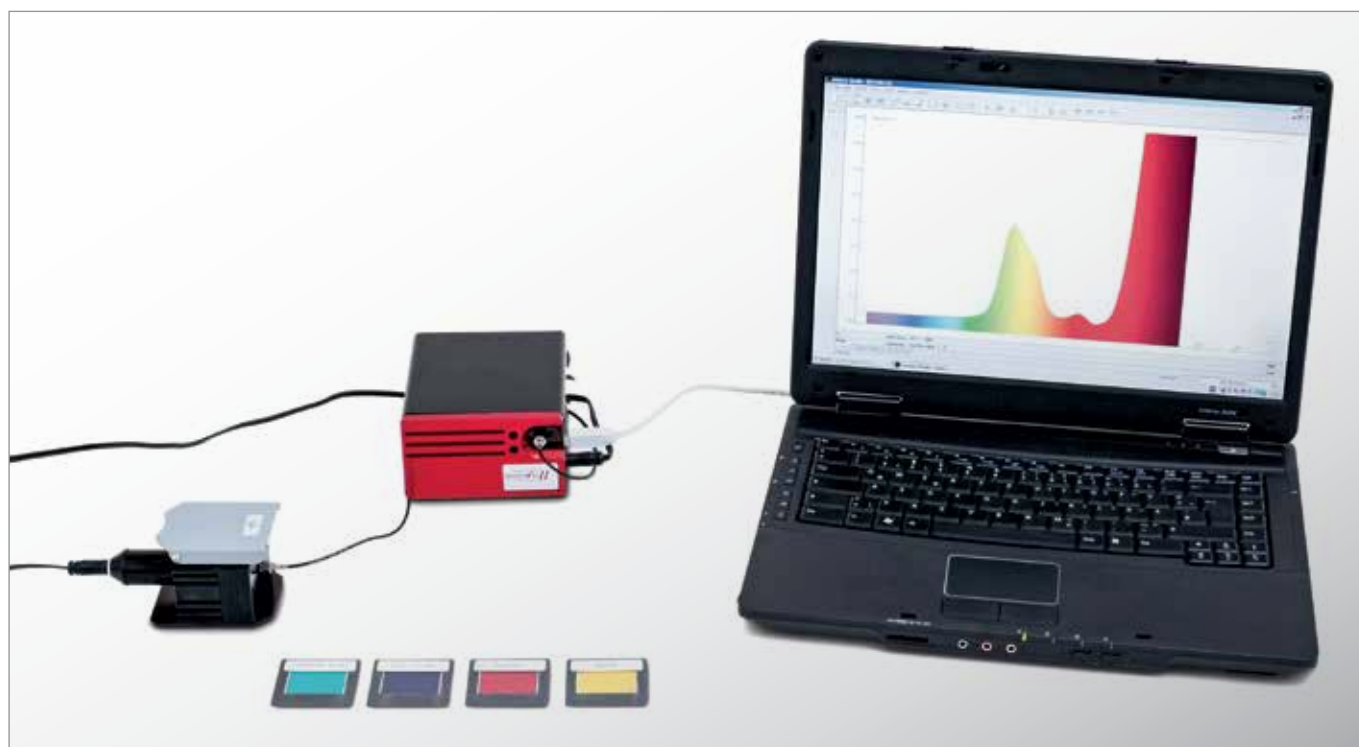


Fig. 3: Disposizione schematica di due posizioni di lenti che producono un'immagine nitida sullo schermo

UE4020400 | SPETTRI DI TRASMISSIONE



> FUNZIONI

- Misurazione e confronto degli spettri di trasmissione dei corpi solidi.
- Misurazione e confronto degli spettri di trasmissione dei liquidi.

SCOPO

Registrazione e valutazione degli spettri di trasmissione di corpi trasparenti

RIASSUNTO

Per la misurazione di spettri di trasmissione viene utilizzato uno spettrofotometro digitale. Al suo interno, la luce trasmessa rilevata con una fibra ottica viene scomposta nel proprio spettro attraverso un reticolo di riflessione secondo il principio di Czerny-Turner e rappresentata mediante due specchi di riflessione su un rivelatore CCD. Lo spettro di trasmissione si ottiene, mediante normalizzazione automatica, sullo spettro della luce incidente rilevato in precedenza.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Spettrometro LD con modulo di assorbimento	1019196
1	Set di 7 filtri colore	1003084
1	Cuvette macro, 4 ml	1018106

Ulteriormente consigliato:

Clorofilla

Permanganato di potassio

BASI GENERALI

Il colore con cui viene percepito un corpo irradiato con luce bianca dipende dal suo potere riflettente. Se si osserva il corpo attraversato dalla luce, l'impressione di colore è determinata dalla capacità di trasmissione del corpo. Così, nel passaggio attraverso il corpo, si forma ad es. l'impressione di colore rosso se il corpo lascia penetrare la luce rossa, mentre vengono indebolite le altre componenti della luce. In questo caso, la trasmissione spettrale è massima per la luce rossa.

L'occhio umano non è in grado di distinguere chiaramente se un'impressione di colore è generata da luce spettrale pura o dalla somma dei colori adiacenti. Pertanto dal colore osservato non è possibile risalire direttamente allo spettro di trasmissione. Questo può essere determinato chiaramente solo con l'aiuto di uno spettrometro.

Nell'esperimento, per rilevare gli spettri di trasmissione viene impiegato lo spettrofotometro digitale. Al suo interno la luce trasmessa rilevata con una fibra ottica viene scomposta nel proprio spettro attraverso un reticolo di riflessione secondo il principio di Czerny-Turner e rappresentata mediante due specchi di riflessione su un rivelatore CCD. Gli spettri di trasmissione si ottengono, mediante normalizzazione automatica, sullo spettro della luce incidente rilevato in precedenza.

ANALISI

Dalla capacità di trasmissione spettrale $T(\lambda)$ di un corpo è possibile calcolare direttamente, senza tenere conto della riflessione, il grado di assorbimento spettrale $A(\lambda)$.

Vale:

$$A(\lambda) = 1 - T(\lambda)$$

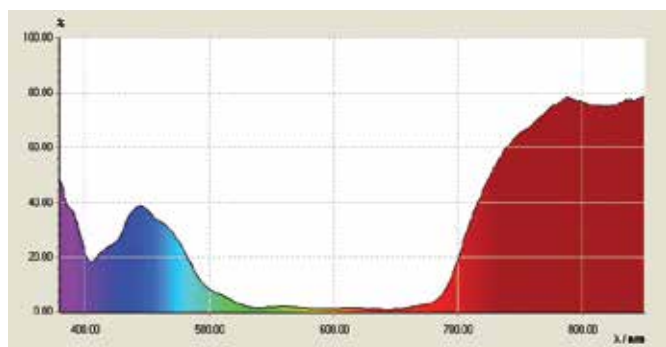


Fig. 1: Spettro di trasmissione di filtro colore azzurro

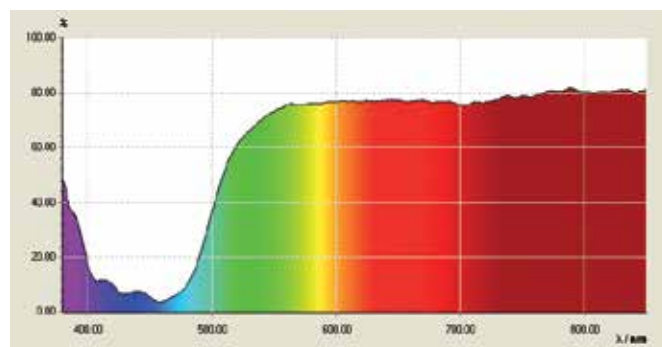


Fig. 2: Spettro di trasmissione di filtro colore giallo

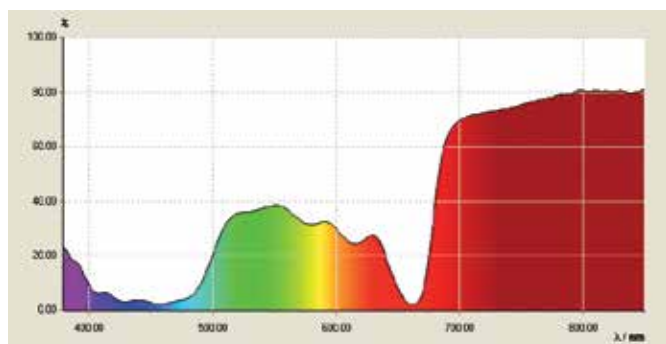


Fig. 3: Spettro di trasmissione di una soluzione di clorofilla

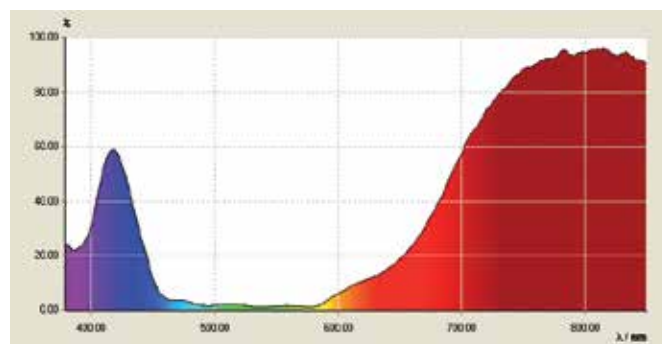


Fig. 4: Spettro di trasmissione di una soluzione di permanganato di potassio

UE4030100

DIFFRAZIONE DA SINGOLA FENDITURA



> FUNZIONI

- Analisi della diffrazione da singola fenditura con fenditure di larghezza diversa.
- Analisi della diffrazione da singola fenditura con diverse lunghezze d'onda.
- Analisi della diffrazione da singola fenditura e ponte (principio di Babinet).

SCOPO

Dimostrazione della natura ondulatoria della luce e determinazione della lunghezza d'onda

RIASSUNTO

È possibile descrivere la diffrazione della luce da una fenditura singola mediante la sovrapposizione di onde elementari coerenti che, secondo il principio di Huygens, si propagano da ogni punto illuminato della fenditura. A seconda dell'angolo di propagazione, le onde dietro alla fenditura interferiscono in maniera costruttiva o distruttiva. A partire dalla distanza tra due frange scure del modello di interferenza e conoscendo la distanza tra le fenditure nonché la distanza dallo schermo di osservazione, è possibile calcolare la lunghezza d'onda della luce.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Diodo laser, rosso 230V	1003201 o
	Diodo laser, rosso 115V	1022208
1	Modulo laser, verde	1003202
1	Banco ottico K, 1000 mm	1009696
2	Cavaliere ottico K	1000862
1	Fenditura impostabile	1008519
1	Supporto K per diodo laser	1000868

Ulteriormente necessario:

Filo

BASI GENERALI

È possibile descrivere la diffrazione della luce da una fenditura singola mediante la sovrapposizione di onde elementari coerenti che, secondo il principio di Huygens, si propagano da ogni punto illuminato della fenditura. La sovrapposizione in determinate direzioni porta a un'interferenza costruttiva o distruttiva. Dietro la fenditura si osserva un sistema di frange chiare e scure su uno schermo.

L'estinzione completa, quindi l'oscurità massima, si osserva quando per ogni onda elementare emessa da un punto di metà della fenditura c'è un'onda elementare emessa da un punto dell'altra metà della fenditura che interferisce con essa distruttivamente. Tale condizione è soddisfatta se il ritardo ottico Δs_n tra il raggio che origina dal punto centrale e il raggio che origina dal bordo è un multiplo intero n di mezza lunghezza d'onda λ :

$$(1) \quad \Delta s_n = n \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{b}{2} \cdot \sin \alpha_n$$

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$: ordine di diffrazione
 b : larghezza fenditura,
 α_n : angolo di propagazione

I punti di massima oscurità si trovano in posizione simmetrica rispetto al raggio primario (v. Fig. 1). La distanza dal raggio primario, misurata nel piano di osservazione, è uguale a

$$(2) \quad x_n = L \cdot \tan \alpha_n$$

L : distanza tra fenditura e superficie di osservazione

Ne consegue per angoli piccoli

$$(3) \quad \alpha_n = x_n = \frac{\lambda \cdot L}{b} \cdot n = \Delta \cdot n \quad \text{con} \quad \Delta = \frac{\lambda \cdot L}{b}$$

Δ : distanza tra i minimi

Una fenditura ed un ponte di uguale larghezza sono oggetti di diffrazione complementari. Secondo il principio di Babinet, la diffrazione su questi oggetti genera immagini di diffrazione identiche al di fuori del fascio di luce indisturbato. I minimi di diffrazione si trovano quindi in entrambe le immagini di diffrazione negli stessi punti.

L'esperimento prende in esame la diffrazione da singola fenditura con fenditure di larghezza diversa e diverse lunghezze d'onda. Esso mostra inoltre che, nella diffrazione da singola fenditura e ponte di identica larghezza, si ottengono immagini di diffrazione complementari.

ANALISI

Nella direzione del raggio primario la luminosità è massima. La grandezza Δ è calcolabile come incremento lineare rappresentando le distanze x_n in funzione di n in un grafico. Essendo Δ inversamente proporzionale alla larghezza fenditura b , è possibile riportare il quoziente Δ/L in relazione a $1/b$ in un diagramma e ottenere la lunghezza d'onda λ dall'incremento lineare dei dati misurati.

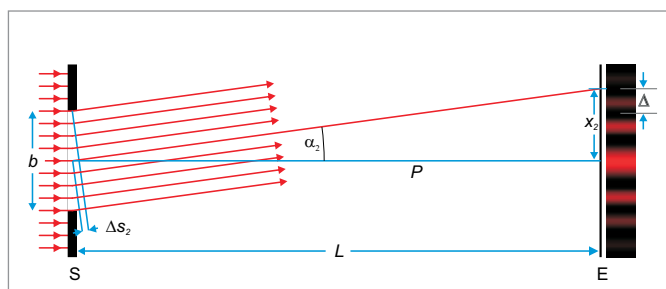


Fig. 1: Rappresentazione schematica della diffrazione della luce da singola fenditura (S: fenditura, b : larghezza fenditura, E: piano di osservazione, P : raggio primario, L : distanza dello schermo di osservazione rispetto alla fenditura, x_2 : distanza del secondo minimo dal centro, α_2 : direzione di osservazione per il secondo minimo, Δs_n : ritardo ottico tra raggio del punto centrale e raggio del bordo).

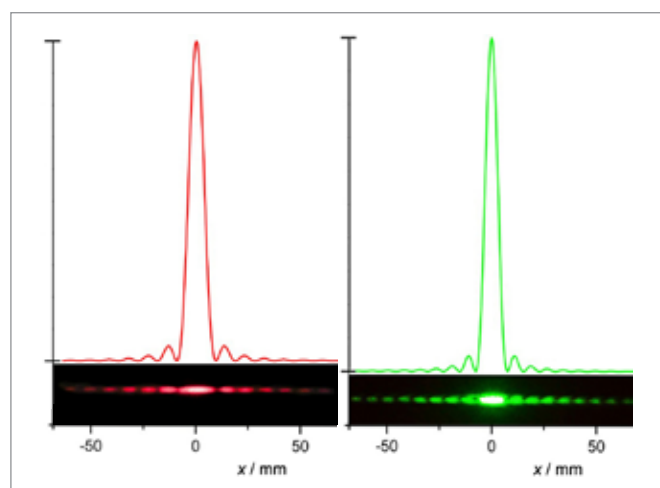


Fig. 2: Intensità calcolata e osservata nella diffrazione da fenditura con larghezza 0,3 mm per $\lambda = 650$ nm e per $\lambda = 532$ nm.

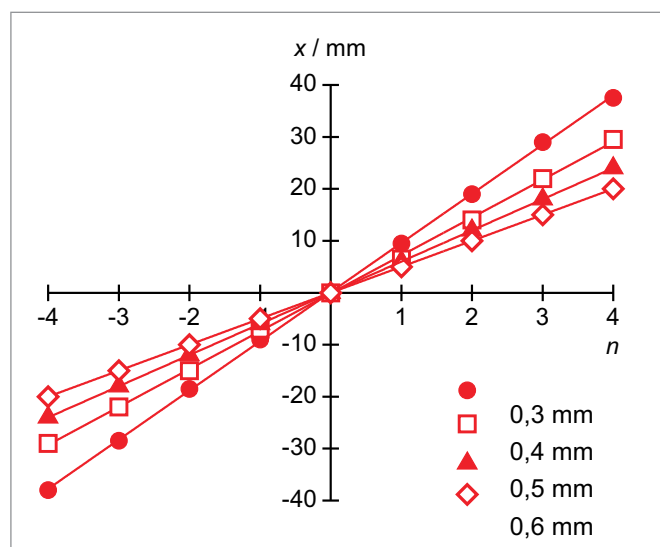


Fig. 3: Distanze x_n in funzione dell'ordine di diffrazione n per diverse larghezze fenditura b per $\lambda = 650$ nm.

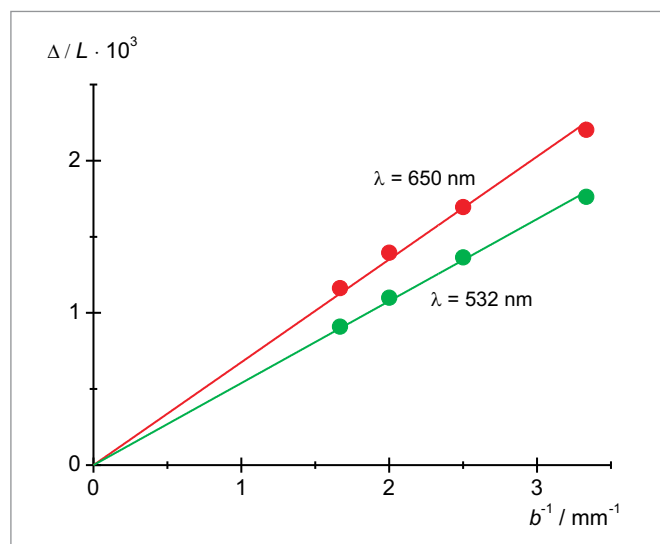


Fig. 4: Quoziente tra la distanza relativa Δ dei minimi e la distanza L in relazione al reciproco della larghezza della fenditura $1/b$.

UE4030200 | DIFFRAZIONE DA FENDITURE MULTIPLE E RETICOLI



> FUNZIONI

- Analisi della diffrazione da doppie fenditure con fenditure a distanze diverse.
- Analisi della diffrazione da doppie fenditure con fenditure di larghezza diversa.
- Analisi della diffrazione da fenditure multiple con numero diverso di fenditure.
- Analisi della diffrazione da reticolo inciso e da reticolo a croce.

SCOPO

Dimostrazione della natura ondulatoria della luce e determinazione della lunghezza d'onda

RIASSUNTO

È possibile descrivere la diffrazione della luce da fenditure multiple e reticoli mediante la sovrapposizione di onde elementari coerenti che, secondo il principio di Huygens, si propagano da ogni punto illuminato di una fenditura multipla. L'interferenza di onde elementari spiega il sistema di frange chiare e scure osservato dietro la fenditura multipla. A partire dalla distanza tra due frange chiare e conoscendo la distanza tra le fenditure nonché la distanza dallo schermo di osservazione, è possibile calcolare la lunghezza d'onda della luce.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Diodo laser, rosso 230V	1003201 o
1	Diodo laser, rosso 115V	1022208
1	Banco ottico K, 1000 mm	1009696
2	Cavaliere ottico K	1000862
1	Supporto di fissaggio K	1008518
1	Supporto K per diodo laser	1000868
1	Diaframma con 3 doppie fenditure di larghezza diversa	1000596
1	Diaframma con 4 doppie fenditure a distanze diverse	1000597
1	Diaframma con 4 fenditure multiple e reticolo	1000598
1	Diaframma con 3 reticoli incisi	1000599
1	Diaframma con 2 reticoli a croce	1000601

BASI GENERALI

È possibile descrivere la diffrazione della luce da fenditure multiple e reticoli mediante la sovrapposizione di onde elementari coerenti che, secondo il principio di Huygens, si propagano da ogni punto illuminato di una fenditura multipla. La sovrapposizione in determinate direzioni porta a un'interferenza costruttiva o distruttiva e spiega pertanto il sistema di frange chiare e scure osservato dietro la fenditura multipla.

Dietro la fenditura doppia, da un angolo di osservazione α_n l'intensità è massima se per ogni onda elementare dalla prima fenditura vi è esattamente un'onda elementare dalla seconda fenditura che si sovrappone in modo costruttivo. Tale condizione è soddisfatta se il ritardo ottico Δs_n tra le onde elementari provenienti dal centro delle fenditure corrisponde ad un multiplo intero della lunghezza d'onda λ della luce (vedere la Fig. 1).

$$(1) \quad \Delta s_n(\alpha_n) = n \cdot \lambda$$

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$: Ordine di diffrazione

Ad una grande distanza L dalla doppia fenditura, per piccoli angoli di osservazione α_n tra il ritardo ottico Δs_n e la coordinata di spazio x_n dei massimi di intensità vale la relazione

$$(2) \quad \frac{\Delta s_n}{d} = \sin \alpha_n \approx \tan \alpha_n = \frac{x_n}{L}$$

d : Distanza tra fenditure

Pertanto i massimi si trovano ad un intervallo regolare. l'uno accanto all'altro.

$$(3) \quad a = x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda}{d} \cdot L$$

Questo vale anche per la diffrazione da una fenditura multipla con più di 2 fenditure equidistanti. L'equazione (1) indica la condizione di interferenza costruttiva delle onde elementari da tutte le fenditure N . È quindi possibile ricorrere alle equazioni (2) e (3) anche per le fenditure multiple.

La determinazione dei minimi di intensità è invece matematicamente più complessa: Mentre per una doppia fenditura tra due massimi di intensità si trova esattamente un minimo di intensità, nel caso di una fenditura multipla tra l' n -esimo e l' $(n+1)$ -esimo massimo si trova un minimo, se le onde elementari dalle fenditure N interferiscono in modo tale che l'intensità totale si azzera. Questo avviene quando il ritardo ottico tra le onde elementari provenienti dal centro delle fenditure soddisfa la condizione.

$$(4) \quad \Delta s = n \cdot \lambda + m \frac{\lambda}{N}$$

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, m = 1, \dots, N - 1$

Si trovano quindi i minimi $N-1$ e tra questi i cosiddetti massimi secondari $N-2$, la cui intensità è inferiore a quella dei cosiddetti massimi principali.

All'aumentare del numero N delle fenditure scompare il contributo dei massimi secondari. Non si parla più di fenditura multipla bensì di reticolo inciso. Un reticolo a croce infine può essere inteso come una disposizione di due reticoli incisi contrapposti di 90° l'uno all'altro. I massimi di diffrazione diventano punti di una rete rettangolare in cui l'ampiezza delle maglie è data da (3). La luminosità nei massimi principali è modulata dalla distribuzione della luminosità a partire dalla diffrazione sulla fenditura singola ed è concentrata in modo tanto più intenso su piccoli angoli α quanto maggiore è la larghezza della fenditura b . Per un calcolo preciso si sommano le ampiezze di tutte le onde elementari, tenendo conto dei ritardi ottici, a formare l'ampiezza totale A . In un qualsiasi punto x dello schermo si ha quindi

$$(5) \quad I = A^2 \propto \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot b \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)}{\frac{\pi \cdot b \cdot x}{\lambda \cdot L}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin\left(N \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)}{\sin\left(\frac{\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)} \right)^2$$

ANALISI

È possibile determinare la lunghezza d'onda della luce diffratta a partire dalla distanza a dei massimi principali. Vale:

$$\lambda = d \cdot \frac{a}{L}$$

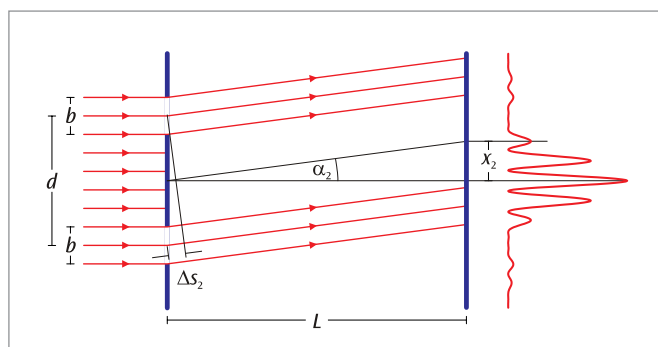


Fig. 1: Rappresentazione schematica della diffrazione della luce su una fenditura doppia

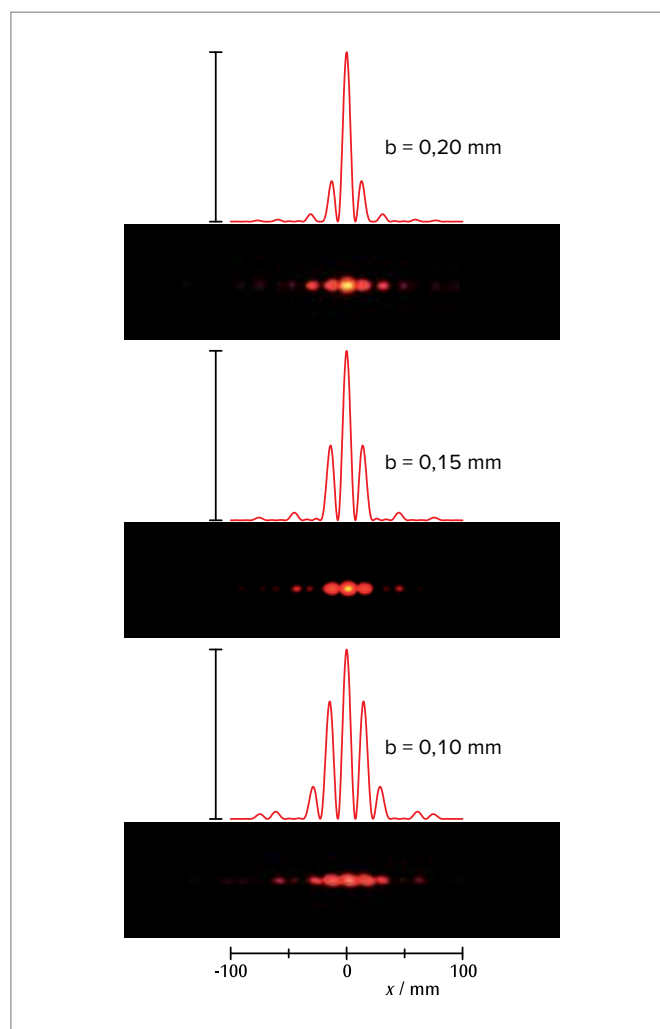


Fig. 2: Intensità calcolata e osservata nella diffrazione da doppie fenditure con distanze diverse tra fenditure

UE4030300 | BIPRISMA DI FRESNEL



> FUNZIONI

- Utilizzo di un biprisma di Fresnel per la creazione di due sorgenti luminose coerenti virtuali da una sorgente luminosa puntiforme.
- Osservazione dell'interferenza tra due raggi di entrambe le sorgenti luminose virtuali.
- Determinazione della lunghezza d'onda di una luce laser elio-neon dalla distanza delle frange di interferenza.

SCOPO

Creazione di un'interferenza fra due raggi con un biprisma Fresnel

RIASSUNTO

Grazie alla rifrazione di un fascio di luce divergente su un biprisma vengono creati due fasci parziali che per via della loro coerenza interferiscono l'uno con l'altro. La lunghezza d'onda della luce utilizzata può essere determinata dalla distanza delle sorgenti luminose virtuali e o dalla distanza di due frange di interferenza.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Biprisma di Fresnel	1008652
1	Piano per prisma su asta	1022379
1	Laser elio-neon	1003165
1	Obiettivo acromatico 10x/ 0,25	1005408
1	Lente convergente su asta f = 200 mm	1003025
3	Cavaliere ottico D, 90/50	1002635
1	Banco ottico di precisione D,500 mm	1002630
1	Schermo di proiezione	1000608
1	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
1	Metro a nastro tascabile, 2 m	1002603

BASI GENERALI

In un dei suoi esperimenti sull'interferenza **August Jean Fresnel** ha utilizzato un biprisma per la creazione di un'interferenza fra due raggi. Ha scomposto un fascio di luce divergente tramite una rifrazione sul biprisma in due fasci parziali che sembrano provenire da due sorgenti luminose coerenti e pertanto interferiscono l'uno con l'altro. Su uno schermo di osservazione ha potuto osservare una serie di massimi di intensità a distanza costante.

La generazione di un massimo di intensità dipende dal ritardo ottico Δ fra i percorsi ottici dei fasci parziali. In presenza di una grande distanza L fra la sorgente luminosa e lo schermo di osservazione si ha in buona approssimazione

$$(1) \quad \Delta = A \cdot \frac{x}{L}$$

dove x è la coordinata del punto osservato sullo schermo perpendicolare all'asse di simmetria e A la distanza ancora da calcolare delle due sorgenti luminose virtuali. I massimi di intensità si manifestano esattamente quando il ritardo ottico coincide con un multiplo della lunghezza d'onda λ :

$$(2) \quad \Delta_n = n \cdot \lambda, \text{ con } n = 0, 1, 2, \dots$$

Un confronto tra (1) e (2) mostra che i massimi di intensità si trovano sulle coordinate

$$(3) \quad x_n = n \cdot D$$

e presentano la distanza costante D . Si applica inoltre la correlazione

$$(4) \quad \lambda = A \cdot \frac{D}{L}$$

L'equazione (4) può essere considerata come equazione condizionale per la lunghezza d'onda λ della luce utilizzata. Si applica in linea di massima per l'interferenza fra due raggi.

Tuttavia è ancora da dimostrare come misurare la distanza A di entrambe le sorgenti luminose virtuali. In questo caso è utile un semplice schema ottico in cui vengono rappresentate entrambe le sorgenti luminose con l'ausilio di una lente colletttrice sullo schermo di osservazione e viene misurata la distanza B delle immagini di queste sorgenti luminose (vedere Fig. 2). Vale:

$$(5) \quad A = B \cdot \frac{a}{b}$$

a : distanza dell'oggetto, b : distanza focale.

NOTA

Al posto di un biprisma è possibile utilizzare anche uno specchio di Fresnel (1002649) per creare entrambe le sorgenti luminose virtuali. L'elenco accessori corrispondente è disponibile al numero UE4030320.

ANALISI

Nell'esperimento viene utilizzato un laser come sorgente luminosa il cui raggio viene ampliato con una lente. La posizione della sorgente luminosa e quindi anche la distanza a dell'oggetto a non sono pertanto note con esattezza. Esse devono essere pertanto calcolate con l'ausilio della legge di rappresentazione

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

dalla distanza focale f della lente colletttrice e dalla distanza focale facilmente accessibile a livello sperimentale b . Si tratta quindi

$$A = a \cdot \frac{B}{b} = \frac{f \cdot B}{b - f}$$

Le distanze D e L vengono misurate direttamente. In questo modo, tutte le grandezze risultano note dall'equazione condizionale (3) per la lunghezza d'onda.

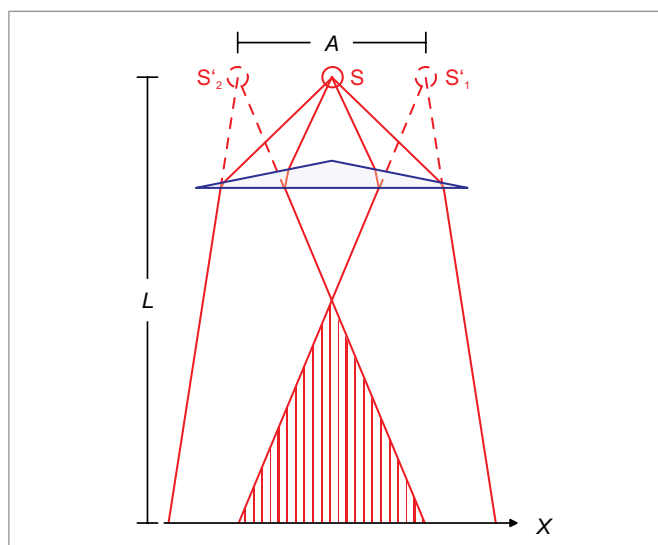


Fig. 1: Rappresentazione schematica del percorso del raggio sul biprisma

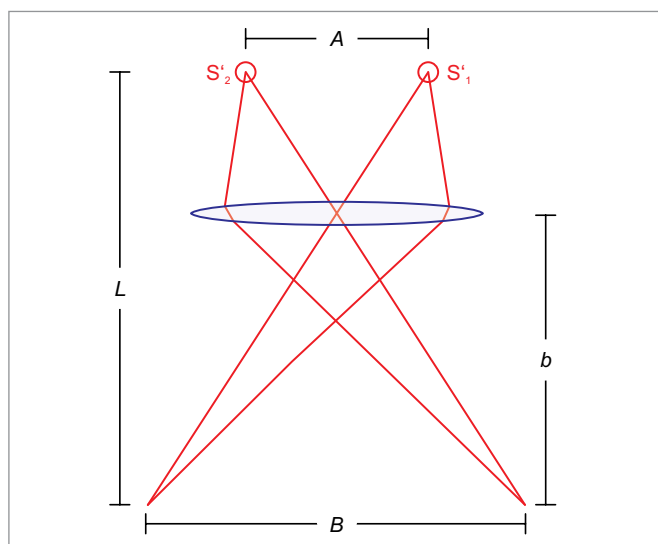
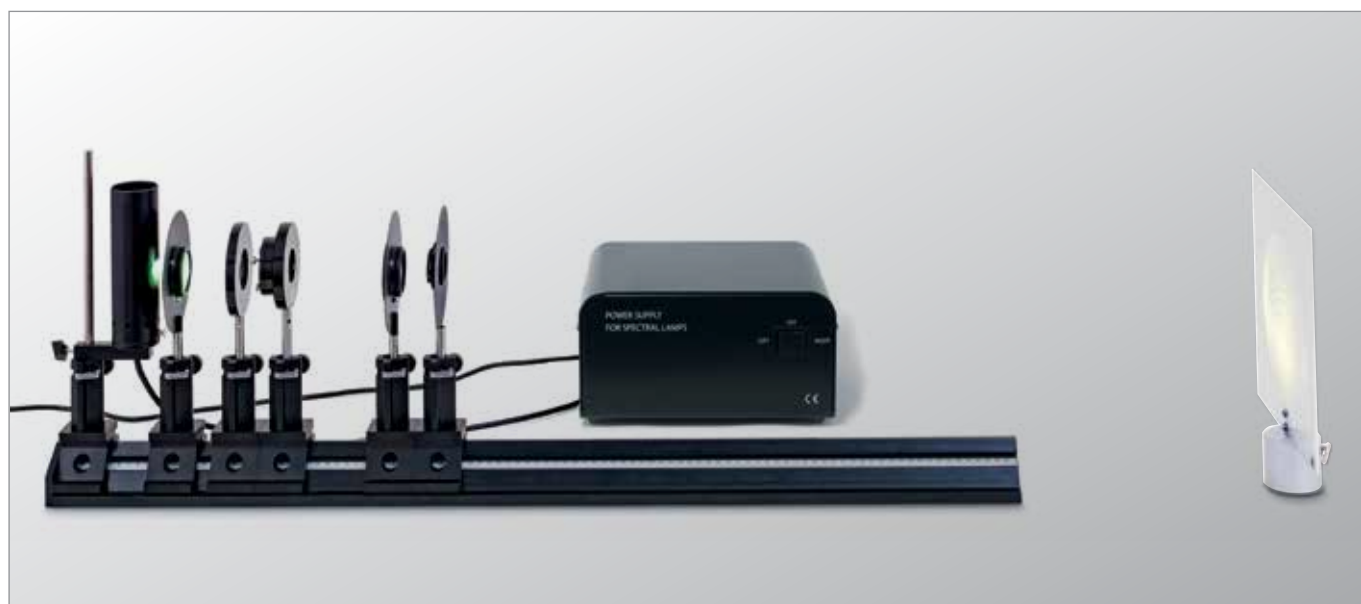


Fig. 2: Percorso del raggio per la rappresentazione di entrambe le sorgenti luminose virtuali sullo schermo

UE4030350 | ANELLI DI NEWTON



> FUNZIONI

- Osservazione di anelli di Newton in trasmissione con illuminazione in luce monocromatica.
- Misurazione del raggio degli anelli e determinazione del raggio di curvatura della struttura.
- Valutazione dell'appiattimento per schiacciamento.

SCOPO

Osservazione di anelli di Newton in luce monocromatica

RIASSUNTO

Per generare gli anelli di Newton si utilizza una struttura formata da una lastra di vetro piana e un corpo sferico con raggio di curvatura molto ampio. Se la luce monocromatica parallela incide perpendicolarmente su tale struttura, si forma una serie di anelli di interferenza concentrici, alternatamente chiari e scuri, in prossimità del punto di contatto tra le superfici. Nell'esperimento si analizzano gli anelli di Newton utilizzando luce monocromatica in trasmissione. Dai raggi r degli anelli di interferenza si determina, nota la lunghezza d'onda λ della luce utilizzata, il raggio di curvatura R del corpo sferico.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Banco ottico di precisione D, 1000 mm	1002628
6	Cavaliere ottico D, 90/50	1002635
1	Bobina di reattanza per lampade spettrali (230 V, 50/60 Hz)	1021409 o
	Bobina di reattanza per lampade spettrali (115 V, 50/60 Hz)	1022541
1	Lampada spettrale Hg 100	1003545
1	Lente convergente su asta $f = 50$ mm	1003022
1	Lente convergente su asta $f = 100$ mm	1003023
1	Diaframma ad iride su asta	1003017
1	Vetri per anelli di Newton	1008669
1	Supporto componenti	1003203
1	Filtro interferenziale 578 nm	1008672
1	Filtro interferenziale 546 nm	1008670
1	Schermo di proiezione	1000608
1	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
1	Metro a nastro tascabile, 2 m	1002603

BASI GENERALI

Gli anelli di Newton sono un fenomeno, osservabile anche nella vita quotidiana, generato dall'interferenza della luce riflessa sulla superficie limite superiore e inferiore di un cuneo di aria fra due superfici pressoché parallele. Nel caso di luce bianca i fenomeni di interferenza sono colorati, poiché la condizione di interferenza dipende dalla lunghezza d'onda.

Per generare gli anelli di Newton in maniera mirata si utilizza una struttura formata da una lastra di vetro piana e un corpo sferico con raggio di curvatura molto ampio. Il corpo sferico tocca la lastra di vetro piana formando un cuneo di aria. Se la luce monocromatica parallela incide perpendicolarmente su tale struttura, si forma una serie di anelli di interferenza concentrici, alternatamente chiari e scuri, in prossimità del punto di contatto. Gli anelli scuri sono prodotti da interferenza distruttiva, quelli chiari da interferenza costruttiva. Le onde della luce riflesse sulla superficie limite nel passaggio dal corpo sferico verso l'aria, interferiscono con le onde riflesse sulla superficie limite verso la lastra di vetro. Questi anelli di interferenza sono osservabili in riflessione e in trasmissione. In trasmissione si ha interferenza costruttiva al centro, indipendentemente dalla lunghezza d'onda della luce incidente. La distanza degli anelli di interferenza non è costante. Lo spessore d del cuneo di aria varia con la distanza r dal punto di contatto tra la lastra di vetro e il corpo sferico. Dalla Fig. 1 si ricava

$$(1) \quad R^2 = r^2 + (R-d)^2$$

R : raggio di curvatura

Per piccoli spessori d e anelli di interferenza chiari vale pertanto

$$(2) \quad d = \frac{r^2}{2 \cdot R} = (n-1) \cdot \frac{\lambda}{2},$$

e i raggi degli anelli chiari corrispondono quindi a

$$(3) \quad r^2 = (n-1) \cdot R \cdot \lambda.$$

Si consideri che il corpo sferico viene leggermente compresso presso il punto di contatto. Ciò è descrivibile modificando l'equazione (2) in maniera approssimativa con la relazione

$$(4) \quad d = \frac{r^2}{2 \cdot R} - d_0 \text{ per } r^2 \geq 2 \cdot R \cdot d_0$$

Per i raggi r degli anelli di interferenza chiari si ricava:

$$(5) \quad r_i^2 = (n-1) \cdot R \cdot \lambda + 2 \cdot R \cdot d_0$$

Nell'esperimento si analizzano gli anelli di Newton in trasmissione, monocromatizzando la luce di una lampada a vapori di mercurio tramite l'inserimento di filtri di interferenza. L'immagine di interferenza viene rappresentata nitidamente su uno schermo attraverso una lente.

ANALISI

Per determinare il raggio r si calcola la media dei raggi misurati per il punto di taglio sinistro e destro considerando il fattore di ingrandimento attraverso la lente.

In un diagramma si rappresenta r^2 in funzione di $n-1$ di modo che i punti di misurazione si trovino su rette con pendenza $a = R \cdot \lambda$ e intercetta $b = 2 \cdot R \cdot d_0$. Dato che la lunghezza d'onda è nota, è possibile calcolare il raggio di curvatura R , che equivale a circa 45 m. L'appiattimento d_0 per pressione è nettamente inferiore a un micrometro.

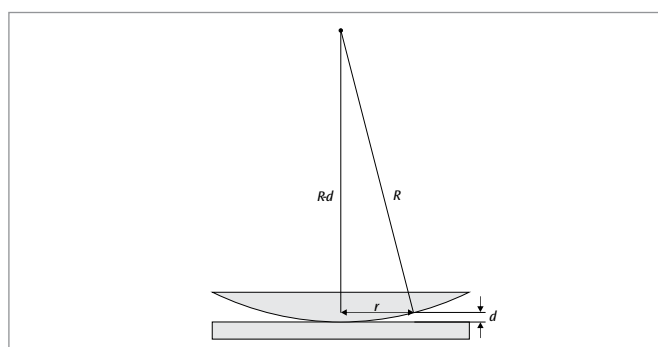


Fig. 1: Rappresentazione schematica del cuneo di aria fra la lente convessa e la lastra di vetro piana

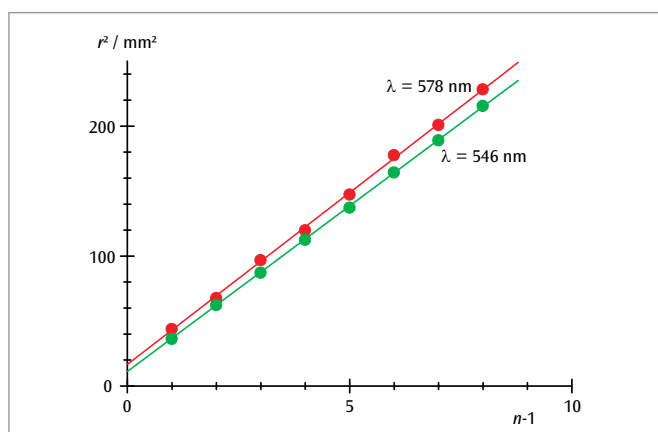


Fig. 2: Relazione tra i raggi r^2 degli anelli di interferenza chiari e il rispettivo numero d'ordine n

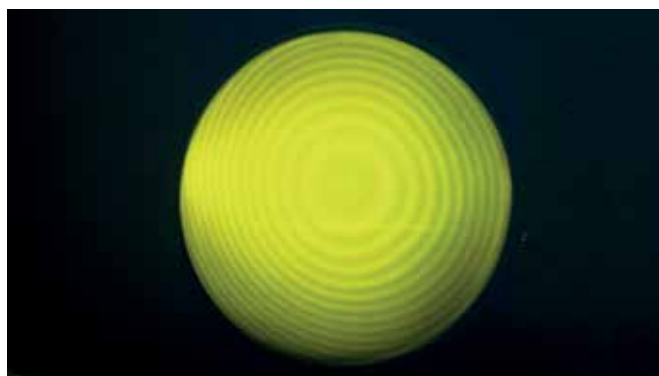


Fig. 3: Anelli di Newton con luce gialla

UE4030410 | INTERFEROMETRO DI MICHELSON



> FUNZIONI

- Determinazione della lunghezza d'onda della luce laser.
- Determinazione dell'indice di rifrazione dell'aria a seconda della pressione atmosferica.
- Determinazione dell'indice di rifrazione del vetro.
- Valutazione della qualità superficiale di una striscia adesiva.

SCOPO

Dimostrazione e analisi del funzionamento di un interferometro di Michelson

RIASSUNTO

In un interferometro di Michelson, un fascio di luce coerente viene diviso da uno specchio semitrasparente in due parti, che prendono percorsi diversi, sono riflessi e infine si riuniscono. Sullo schermo di osservazione viene generata una figura di interferenza che cambia in maniera già nettamente riconoscibile quando il percorso ottico di un fascio parziale si modifica della frazione di una lunghezza dell'onda luminosa.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Interferometro	1002651
1	Set aggiuntivo per l'interferometro	1002652
1	Laser elio-neon	1003165
1	Pompa manuale per vuoto	1012856
1	Tubo di silicone 6 mm	1002622



Lastra di vetro sul percorso dei raggi dell'interferometro di Michelson



Camera evacuabile sul percorso dei raggi dell'interferometro di Michelson

BASI GENERALI

L'interferometro di Michelson fu originariamente progettato da **A. A. Michelson** per dimostrare gli effetti dell'esistenza dell'etere luminifero. Il suo principio di costruzione (vedi fig. 1) è tuttavia d'importanza fondamentale, in quanto può essere utilizzato per la misurazione interferometrica ad es. delle variazioni di lunghezza, degli spessori degli strati o degli indici di rifrazione. Un fascio di luce divergente viene diviso da uno specchio semitrasparente in due fasci parziali che prendono vie diverse. I due fasci parziali si riflettono e infine si riuniscono per sovrapporsi su uno schermo di osservazione. Qui viene creata un'immagine d'interferenza che reagisce in maniera sensibile alle variazioni di lunghezza ottica del percorso, quindi del prodotto dell'indice di rifrazione e della lunghezza geometrica del percorso, di un fascio parziale. Se l'indice di rifrazione viene mantenuto costante, possono essere quindi determinate variazioni del percorso geometrico, ad es. variazioni di lunghezza dei materiali attraverso la loro dilatazione termica. Se invece il percorso geometrico viene mantenuto costante, possono essere rilevate le variazioni degli indici di rifrazione dovute a variazioni di pressione, di temperatura o di densità.

A seconda del fatto che la lunghezza ottica del percorso aumenti o diminuisca, al centro dell'immagine di interferenza compaiono o scompaiono frange di interferenza. Tra la variazione Δs della lunghezza ottica del percorso e la lunghezza dell'onda luminosa λ vale la relazione

$$(1) \quad 2 \cdot \Delta s = z \cdot \lambda$$

in cui il numero intero positivo o negativo z indica il numero di frange di interferenza che compaiono o scompaiono sullo schermo di osservazione.

Se per la misurazione della lunghezza dell'onda luminosa uno dei due specchi viene spostato nell'aria di un percorso Δx ben definito con un meccanismo di regolazione di precisione, come indice di rifrazione può essere impiegato in una buona approssimazione $n = 1$. Pertanto, la variazione del percorso ottico è:

$$(2) \quad \Delta s = \Delta x$$

La situazione è diversa se una camera evacuata di lunghezza d viene portata in un fascio parziale. Introducendo aria e quindi aumentandone la pressione nella camera al valore p , la lunghezza ottica del percorso varia di

$$(3) \quad \Delta s = (n(p) - 1) \cdot d = A \cdot p \cdot d$$

in quanto la dipendenza della pressione dell'indice di rifrazione dell'aria a temperatura costante viene rappresentata nella forma

$$(4) \quad n(p) = 1 + A \cdot p$$

NOTA

La dotazione integrativa comprende anche una lastra di vetro. Se questa viene portata in un fascio parziale e ruotata lentamente di un angolo definito, il percorso della luce aumenta nel vetro e diminuisce all'esterno del vetro. Dalla variazione derivante del percorso ottico è possibile determinare l'indice di rifrazione del vetro. Inoltre, la valutazione della qualità di una superficie può essere dimostrata sulla base dell'esempio di una striscia adesiva che è stata applicata sulla lastra di vetro. Nella pratica questo si esegue mediante un interferometro di Twyman-Green, una variante dell'interferometro di Michelson.

ANALISI

Determinazione della lunghezza dell'onda luminosa: da (1) e (2) come equazione condizionale per il calcolo della lunghezza dell'onda luminosa dal percorso di traslazione dello specchio si ottiene:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta x}{z}$$

Determinazione dell'indice di rifrazione dell'aria: per la costante A indicata in (4) si ottiene l'equazione condizionale

$$A = \frac{z \cdot \lambda}{2 \cdot d \cdot p}$$

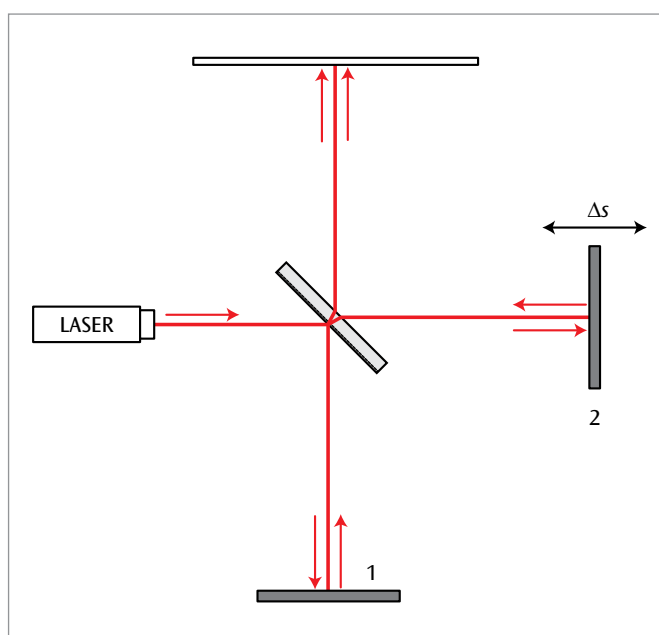


Fig. 1: Percorso dei raggi luminosi in un interferometro di Michelson con specchio mobile

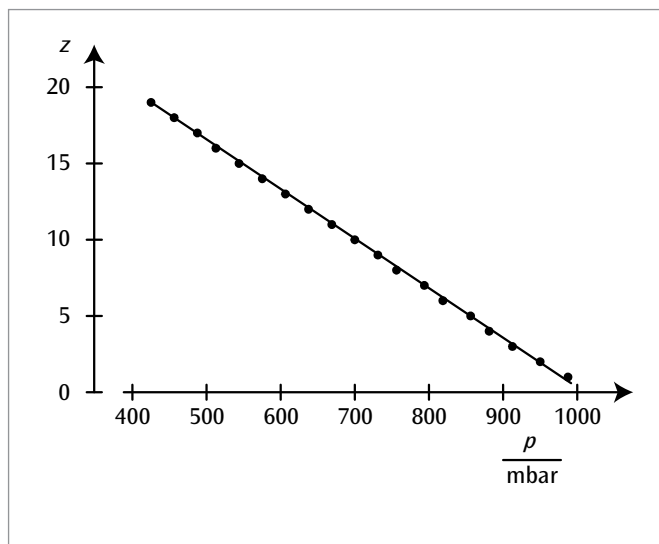


Fig. 2: Numero delle frange di interferenza come funzione della pressione atmosferica

UE4030520

INTERFEROMETRO DI MACH-ZEHNDER



> FUNZIONI

- Messa a punto e regolazione di un interferometro di Mach-Zehnder.
- Osservazione del cancellatore di interferenza con informazione sul percorso non presente, presente e cancellata.

SCOPO

Illustrazione del cancellatore quantistico in un esperimento analogico

RIASSUNTO

Nella meccanica quantistica, anche la luce viene descritta con l'ausilio delle funzioni d'onda, dalle quali è possibile calcolare la distribuzione spaziale della densità di probabilità come quadrato del valore della funzione d'onda. La luce è pertanto adatta ad illustrare per analogia fenomeni di meccanica quantistica. Per illustrare il cosiddetto cancellatore quantistico si realizza un interferometro di Mach-Zehnder osservando l'interferenza di entrambi i fasci parziali su uno schermo. Se nei percorsi dei raggi luminosi dei fasci parziali si trovano due polarizzatori perpendicolari tra loro, l'interferenza scompare, in quanto, da un punto di vista di meccanica quantistica, si è riusciti a sapere quale percorso ha preso un fotone. Con un terzo polarizzatore regolato a 45° direttamente davanti allo schermo, è possibile eliminare questa informazione sul percorso e osservare di nuovo l'interferenza.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Interferometro di Mach-Zehnder	1014617
1	Laser elio-neon	1003165

BASI GENERALI

Nella meccanica quantistica, anche la luce viene descritta con l'ausilio delle funzioni d'onda, dalle quali è possibile calcolare la distribuzione spaziale della densità di probabilità come quadrato del valore della funzione d'onda. La convergenza di due percorsi dei raggi luminosi corrisponde ad una sovrapposizione di due funzioni d'onda. La densità di probabilità contiene quindi un termine misto che descrive la figura di interferenza. La luce è pertanto adatta ad illustrare per analogia fenomeni di meccanica quantistica.

Per illustrare il cancellatore quantistico viene messo a punto un interferometro di Mach-Zehnder. Come fascio luminoso coerente viene utilizzato il fascio ingrandito di un laser. Con l'ausilio di un divisore di fascio BS1, esso viene diviso in due fasci parziali, mentre un polarizzatore P assicura la stessa intensità in entrambi i fasci parziali (veded fig. 1). I fasci parziali percorrono percorsi diversi per essere di nuovo sovrapposti con un secondo divisore BS2.

Qui si sommano – come si osserva nell'immagine classica dell'onda – i campi elettrici E_1 e E_2 di entrambi i fasci parziali

$$(1) \quad \mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$$

e – dal punto di vista della meccanica quantistica – le rispettive funzioni d'onda Ψ_1 e Ψ_2

$$(2) \quad \Psi = \Psi_1 + \Psi_2$$

Vale pertanto

$$(3) \quad |E|^2 = |E_1|^2 + |E_2|^2 + 2 \cdot E_1 \cdot E_2$$

e

$$(4) \quad |\Psi|^2 = |\Psi_1|^2 + |\Psi_2|^2 + 2 \cdot \langle \Psi_1 | \Psi_2 \rangle$$

laddove il termine misto presente in (3) e (4) descrive la figura di interferenza osservabile su uno schermo. L'equazione 4 descrive il comportamento di un singolo fotone. Esso interferisce con se stesso, finché non viene osservato tramite un processo di misurazione "quale percorso compie". Si dice in questo contesto che il fotone, in assenza di informazioni sul percorso, si comporta come un'onda presentando interferenze. In caso di presenza di informazioni sul percorso, tuttavia, il fotone si comporta come una classica particella e non presenta alcuna interferenza.

Tramite due polarizzatori aggiuntivi P1 e P2 nei fasci parziali 1 e 2 viene influenzato il modello di interferenza. Con polarizzatori perpendicolari tra loro, scompare nella descrizione classica (3) il prodotto scalare $E_1 E_2$ e nella descrizione di meccanica quantistica (4) il termine di interferenza $\langle \Psi_1 | \Psi_2 \rangle$ e quindi anche la figura di interferenza. Nell'analogia con la meccanica quantistica sulla base della polarizzazione, è possibile definire in modo univoco se il fotone ha percorso il cammino 1 o 2.

Se ora viene posizionato un terzo polarizzatore regolato a 45° A dietro il secondo divisore di fascio, ricompare la figura di interferenza. Nell'analogia con la meccanica quantistica il polarizzatore A "cancella" l'informazione sul percorso, ovvero dietro il polarizzatore A non è più individuabile il percorso che segue il fotone. Nel modello d'onda classica della luce, il terzo polarizzatore assicura che i fasci parziali polarizzati siano indeboliti ma abbiano tuttavia di nuovo la stessa polarizzazione.

ANALISI

Senza i due polarizzatori P1 e P2 non è presente alcuna informazione sul percorso; si verifica un'interferenza.

Utilizzando i due polarizzatori è possibile ottenere un'informazione sul percorso; l'interferenza non ha luogo.

Il terzo polarizzatore A cancella l'informazione sul percorso; l'interferenza si presenta di nuovo.

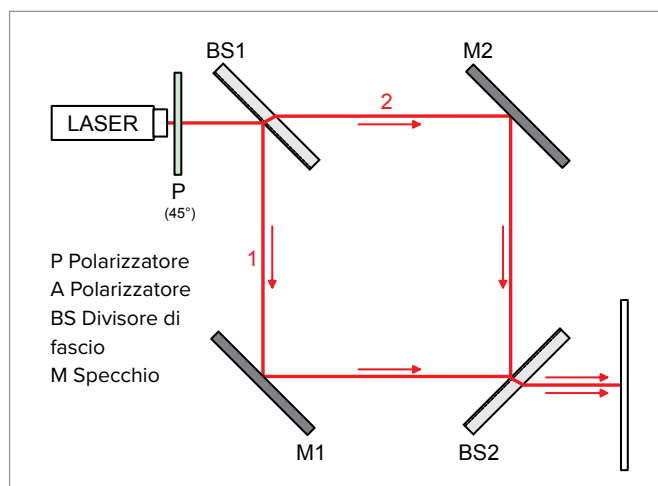


Fig. 1: Percorso dei raggi luminosi nell'interferometro di Mach-Zehnder (senza informazione sul percorso)

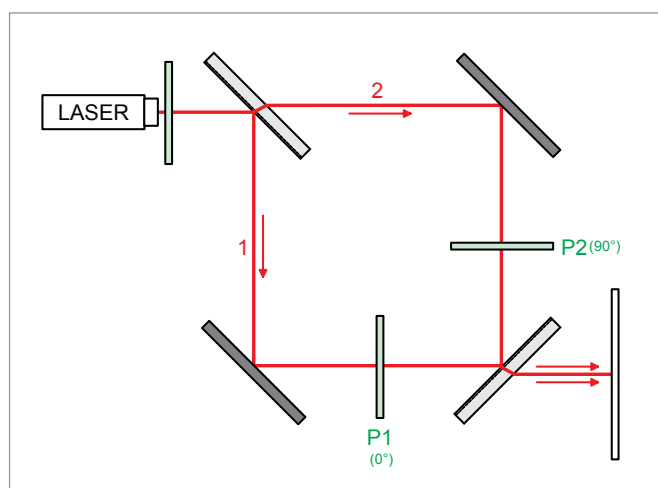


Fig. 2: Percorso dei fasci luminosi nell'interferometro di Mach-Zehnder (con polarizzatori P1 e P2 nei fasci parziali per il conseguimento dell'informazione sul percorso)

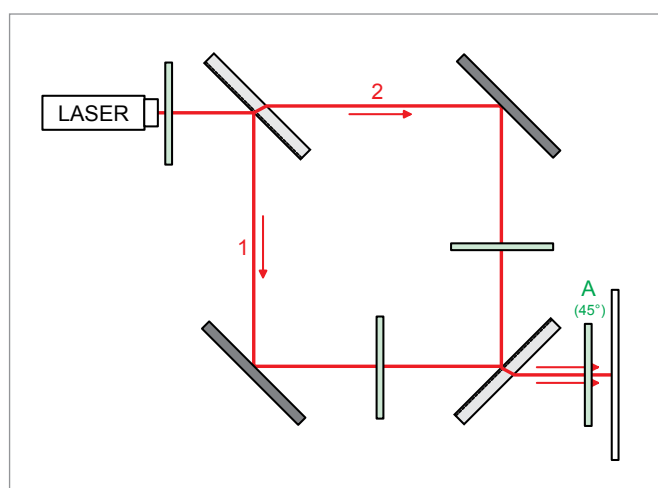


Fig. 3: Percorso dei fasci luminosi nell'interferometro di Mach-Zehnder (con polarizzatore A per la cancellazione dell'informazione sul percorso)

UE4040100 | LEGGE DI MALUS



> FUNZIONI

- Misurazione dell'intensità I della luce trasmessa attraverso il filtro di polarizzazione in funzione dell'angolo di rotazione dei filtri.
- Conferma della legge di Malus.

SCOPO

Conferma della legge di Malus per luce polarizzata linearmente

RIASSUNTO

La legge di Malus descrive l'intensità I della luce polarizzata, di intensità iniziale I_0 , dopo il passaggio attraverso un analizzatore, in funzione dell'angolo di rotazione. L'intensità della luce viene misurata con un sensore di luce.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Banco ottico di precisione D,500 mm	1002630
4	Cavaliere ottico D, 90/50	1002635
1	Lampada ottica con lampadina LED	1020630
1	Sensore di luce, tre range	1021502
1	WiLab *	1022284
1	Supporto per sensore di luce	1022269
2	Filtro di polarizzazione su asta	1008668
1	Cavo del sensore	1021514

Ulteriormente consigliato:

1	Coach 7 Licenza
---	-----------------

* Alternative: 1 VinciLab 1021477

BASI GENERALI

La luce è polarizzabile come onda trasversale, facendola passare ad esempio attraverso un filtro di polarizzazione. In un'onda luminosa polarizzata linearmente, il campo elettrico E e il campo magnetico B oscillano ciascuno su un piano fisso. La direzione di oscillazione del campo elettrico viene definita come direzione di polarizzazione.

Nell'esperimento la luce colpisce in modo consecutivo un polarizzatore e un analizzatore, ruotati l'uno rispetto all'altro dell'angolo ϕ . Il polarizzatore si lascia attraversare solo da una porzione linearmente polarizzata della luce. L'ampiezza del campo elettrico dell'onda trasmessa dal polarizzatore sia E_0 .

Nella direzione di polarizzazione dell'analizzatore tale componente oscilla con l'ampiezza

$$(1) \quad E = E_0 \cdot \cos \phi$$

Solo questa frazione può attraversare l'analizzatore.

L'intensità della luce corrisponde al quadrato dell'intensità del campo elettrico. Pertanto l'intensità dietro l'analizzatore è pari a

$$(2) \quad I = I_0 \cdot \cos^2 \phi$$

se I_0 è l'intensità dietro il polarizzatore.

L'equazione (2) è conosciuta come Legge di Malus, e viene confermata nell'esperimento misurando l'intensità con un sensore di luce. In questa misurazione il valore di intensità misurato con $\phi = 90^\circ$ corrisponde alla luce ambientale. Viene quindi sottratto dall'intensità misurata.

ANALISI

Dopo la sottrazione dell'intensità della luce ambientale i valori misurati vengono rappresentati come funzione di ϕ . L'andamento corrisponde all'equazione (2).

In un altro diagramma viene rappresentata l'intensità I come funzione di $\cos^2 \phi$. In questo caso i valori misurati si trovano su una retta passante per l'origine con pendenza I_0 .

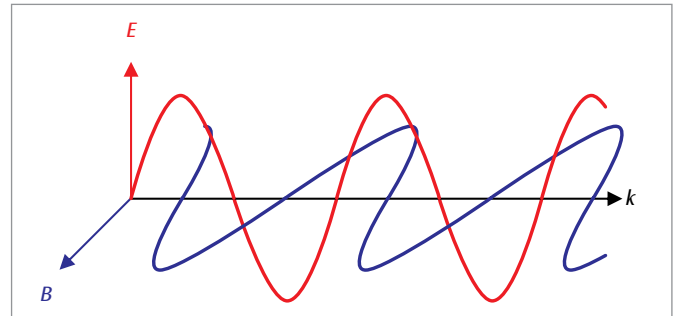


Fig. 1: Rappresentazione per la definizione della direzione di polarizzazione

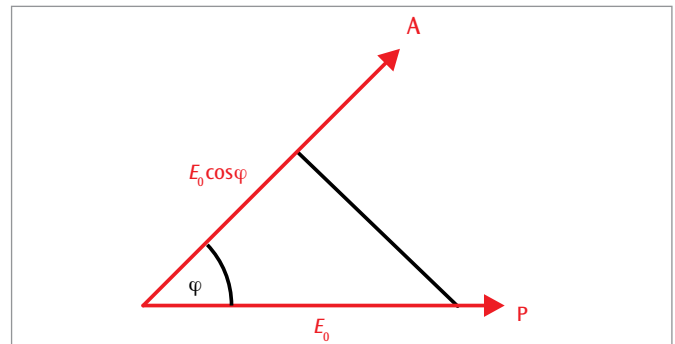


Fig. 2: Rappresentazione per il calcolo dell'intensità del campo magnetico dietro l'analizzatore

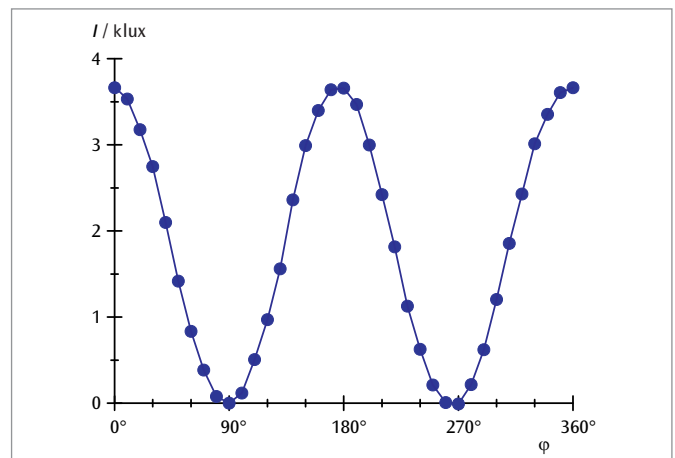


Fig. 3: Intensità di luce I in funzione dell'angolo ϕ tra polarizzatore e analizzatore

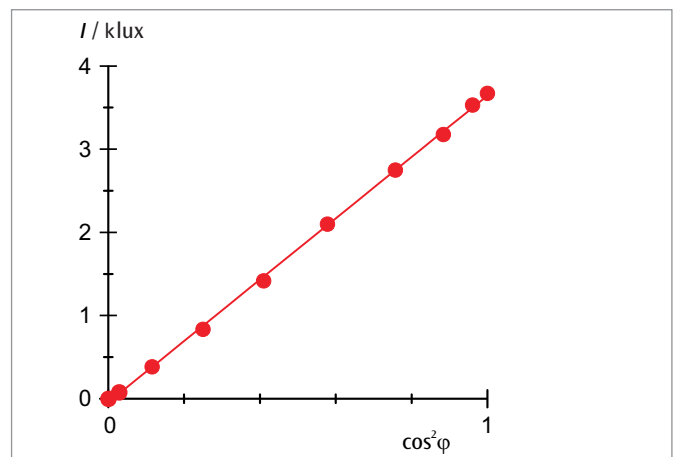


Fig. 4: Intensità di luce I in funzione di $\cos^2 \phi$

UE4040300 | ATTIVITÀ OTTICA



> FUNZIONI

- Misurazione dell'angolo di rotazione in funzione della lunghezza del tubo.
- Misurazione dell'angolo di rotazione in funzione della concentrazione della massa.
- Determinazione dell'angolo di rotazione specifico in funzione della lunghezza d'onda.
- Confronto dei sensi di rotazione e dell'angolo di rotazione di fruttosio, glucosio e saccarosio.
- Misurazione dell'angolo di rotazione durante l'inversione del saccarosio in una miscela equimolare di glucosio e fruttosio.

SCOPO

Rotazione del piano di polarizzazione attraverso soluzioni zuccherine

RIASSUNTO

Le soluzioni zuccherine sono attive otticamente, ossia ruotano il piano di polarizzazione della luce a polarizzazione lineare che le attraversa. Il senso di rotazione dipende dal tipo dello zucchero: le soluzioni di glucosio e saccarosio ruotano il piano di polarizzazione verso destra e le soluzioni di fruttosio verso sinistra, come indica la misurazione dell'angolo di rotazione con un polarimetro. Con la misurazione dell'angolo di rotazione si segue inoltre il comportamento di una soluzione di saccarosio dopo l'aggiunta di acido cloridrico. Si osserva una lenta inversione del senso di rotazione da destra verso sinistra, in quanto la struttura a doppio anello delle molecole di saccarosio viene scissa e si viene a formare una miscela equimolare di glucosio e fruttosio. Il senso di rotazione della miscela è pari alla somma degli angoli di rotazione del glucosio, destrorsa, e del fruttosio, sinistrorsa e maggiore.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Polarimetro con 4 LED (230 V, 50/60 Hz)	1001057
1	Cilindro graduato, 100 ml	1002870
1	Becher, di	1002872
1	Bilancia elettronica Scout SKX 420 g	1020859

Ulteriormente consigliato:

Fruttosio, 500 g

Glucosio, 500 g

Saccarosio, 500 g

BASI GENERALI

Si definisce **attività ottica** la rotazione del piano di polarizzazione della luce a polarizzazione lineare al passaggio attraverso determinate sostanze. Questa rotazione si verifica nelle soluzioni di molecole chirali, come per es. le soluzioni zuccherine, e in determinati corpi solidi, come i quarzi. Si parla di sostanza con **rotazione destrorsa** quando il piano di polarizzazione, considerato nel senso opposto alla direzione di propagazione della luce, ruota verso destra, e di sostanze a **rotazione sinistrorsa** nel caso opposto. Le soluzioni di glucosio e saccarosio sono a rotazione destrorsa e le soluzioni di fruttosio a rotazione sinistrorsa.

L'angolo α , attorno al quale viene ruotato il piano di polarizzazione, dipende dalla sostanza in soluzione ed è proporzionale alla concentrazione della massa c e alla lunghezza d del tubo. Si scrive

$$(1) \quad \alpha = [\alpha] \cdot c \cdot d$$

e si definisce $[\alpha]$ l'angolo di rotazione specifico della sostanza. L'angolo di rotazione specifico dipende nella formula

$$(2) \quad [\alpha] = \frac{k(T)}{\lambda^2}$$

dalla lunghezza d'onda λ della luce e dalla temperatura T del campione. Nelle tabelle esso viene nella maggior parte dei casi indicato per la luce gialla al sodio e una temperatura di 25°C. Quando è noto, con la misurazione dell'angolo di rotazione in un polarimetro è possibile determinare la concentrazione della soluzione.

Nell'esperimento vengono esaminate in un polarimetro diverse soluzioni zuccherine e ne vengono confrontati i rispettivi angoli di rotazione. A tale scopo, può essere scelta la luce di quattro LED di diverso colore. Inoltre, una soluzione di comune zucchero di canna (saccarosio) viene scissa nella sua struttura a doppio anello con una lenta reazione mediante l'aggiunta di acido cloridrico e trasformata in una miscela equimolare di glucosio e fruttosio. In tal modo il senso di rotazione viene "invertito" da destra verso sinistra, in quanto al termine della reazione l'angolo di rotazione risultante è pari alla somma dell'angolo di rotazione destrorsa del glucosio e dell'angolo di rotazione sinistrorsa del fruttosio, che è maggiore.

ANALISI

In base all'equazione (1) l'angolo di rotazione di una determinata sostanza è proporzionale alla lunghezza del campione quando la concentrazione è fissa ed è proporzionale alla concentrazione quando la lunghezza della prova è fissa. Partendo dalla pendenza delle rette passanti per l'origine rappresentate nella Fig. 1 è possibile determinare la rotazione specifica per le quattro lunghezze d'onda del polarimetro.

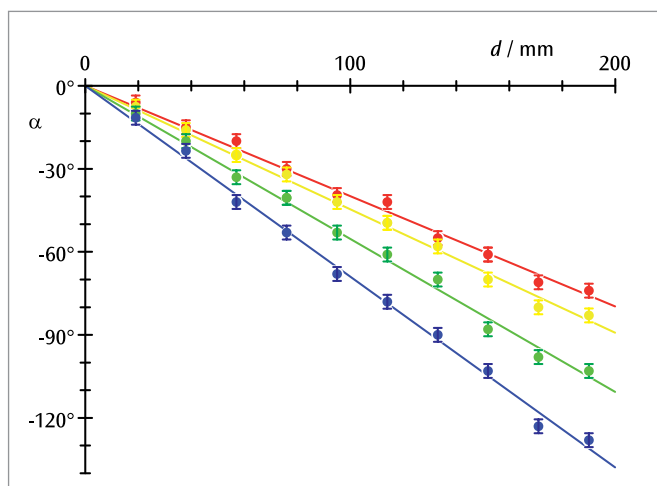


Fig. 1: Angolo di rotazione di una soluzione di fruttosio ($c = 0,5 \text{ g/cm}^3$) in funzione della lunghezza del tubo, per quattro diverse lunghezze d'onda luminosa

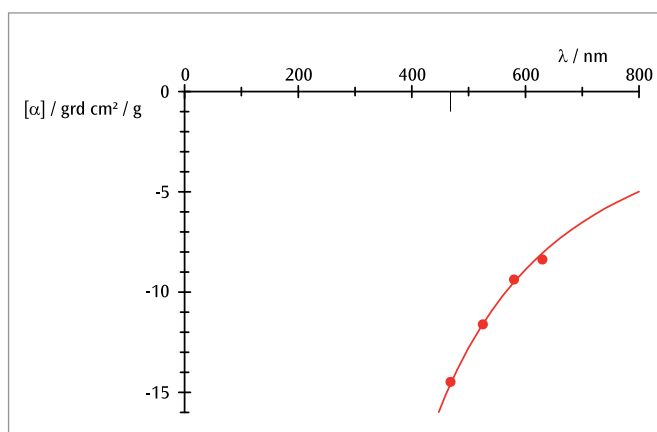


Fig. 2: Dipendenza dell'angolo di rotazione specifico dalla lunghezza d'onda

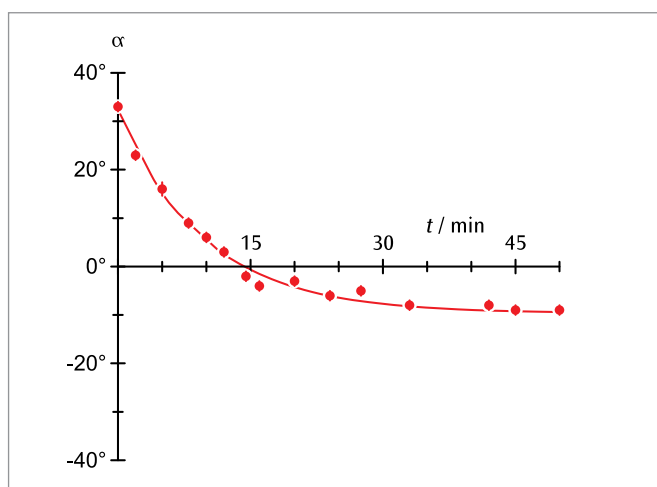


Fig. 3: Angolo di rotazione di una soluzione di saccarosio ($c = 0,3 \text{ g/cm}^3$, $d = 190 \text{ mm}$) durante l'inversione in funzione del tempo

UE4040500 | EFFETTO POCKELS



> FUNZIONI

- Dimostrazione della birifrangenza in un fascio conoscopico.
- Variazione del fenomeno di birifrangenza mediante l'applicazione di un campo elettrico.
- Determinazione della tensione di semionda.

SCOPO

Dimostrazione dell'effetto Pockels in un fascio conoscopico

RIASSUNTO

L'effetto Pockels consiste nell'effetto elettro-ottico per il quale, in un materiale idoneo, un campo elettrico divide un fascio luminoso in due fasci parziali polarizzati perpendicolarmente l'uno rispetto all'altro. Tale capacità di birifrangenza deriva dalla variabilità dell'indice di rifrazione in funzione della direzione di propagazione e polarizzazione della luce. Nel caso dell'effetto Pockels, essa aumenta in maniera lineare con l'intensità del campo elettrico e, nell'esperimento, viene dimostrata su un cristallo di niobato di litio (LiNbO_3) posizionato in un fascio conoscopico. La figura di interferenza è composta da due fasci di iperboli dalle quali si ricava direttamente la posizione dell'asse ottico della doppia rifrazione.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Cella di Pockels su asta	1013393
1	Banco ottico di precisione D, 1000 mm	1002628
3	Cavaliere ottico D, 90/50	1002635
2	Cavaliere ottico D, 90/36	1012401
1	Laser elio-neon	1003165
1	Obiettivo acromatico 10x / 0,25	1005408
1	Filtro di polarizzazione su asta	1008668
1	Lente convergente su asta $f = 50$ mm	1003022
1	Schermo di proiezione	1000608
1	Alimentatore ad alta tensione E 5kV (230 V, 50/60 Hz)	1013412 o
	Alimentatore ad alta tensione E 5kV (115 V, 50/60 Hz)	1017725
1	Coppia di cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002849

BASI GENERALI

L'effetto Pockels consiste nell'effetto elettro-ottico per il quale, in un materiale idoneo, un campo elettrico divide un fascio luminoso in due fasci parziali polarizzati perpendicolarmente l'uno all'altro. Tale capacità di birifrangenza deriva dalla variabilità dell'indice di rifrazione in funzione della direzione di propagazione e polarizzazione della luce. Nel caso dell'effetto Pockels, essa aumenta in maniera lineare con l'intensità del campo elettrico e , nell'esperimento, viene dimostrata su un cristallo di niobato di litio (LiNbO_3) posizionato in un fascio conoscopico.

Il cristallo è situato in una cella di Pockels trasversale nella quale viene applicato un campo elettrico in direzione dell'asse ottico della birifrangenza (v. Fig. 1). Il raggio luminoso che attraversa perpendicolarmente il cristallo si scinde in un fascio parziale ordinario e uno straordinario, cioè un fascio parziale polarizzato in direzione dell'asse ottico della doppia rifrazione e uno polarizzato ad esso perpendicolare. Effettuando la misurazione alla lunghezza d'onda del laser He-Ne $\lambda = 632,8 \text{ nm}$, l'indice di rifrazione del fascio parziale ordinario in niobato di litio risulta pari a $n_o = 2,29$ e quello del fascio straordinario a $n_e = 2,20$. Il ritardo ottico tra il fascio ordinario e quello straordinario risulta

$$(1) \quad \Delta = d \cdot (n_o - n_e)$$

dove $d = 20 \text{ mm}$ corrisponde allo spessore del cristallo in direzione del fascio.

Per la dimostrazione della birifrangenza si utilizza un percorso luminoso classico, proposto a tal fine in numerosi libri di testo di ottica. Si illumina il cristallo con un fascio luminoso divergente polarizzato lineare e si osserva la luce trasmessa dietro un analizzatore ortogonale. L'asse ottico della birifrangenza emerge chiaramente nell'immagine di interferenza, poiché la sua simmetria genera un contrasto evidente. Nell'esperimento, è disposto parallelamente alla superficie di entrata e di uscita, perciò l'immagine di interferenza è formata da due fasci di iperboli ruotati di 90° l'uno rispetto all'altro. L'asse di simmetria del primo fascio di iperboli ha andamento parallelo, quello del secondo è invece perpendicolare all'asse ottico della birifrangenza.

Le frange scure dei fasci di iperboli sono generate da raggi luminosi per i quali la differenza dei percorsi ottici del fascio parziale ordinario e straordinario nel cristallo rappresenta un multiplo intero della lunghezza d'onda. Tali raggi luminosi mantengono dopo il passaggio attraverso il cristallo la propria polarizzazione lineare originaria e vengono eliminati dall'analizzatore.

Il ritardo ottico corrisponde a circa 2800 lunghezze d'onda della luce laser utilizzata. Tuttavia, in generale Δ non è esattamente un multiplo intero di λ , bensì si porrà piuttosto tra i due valori $\Delta_m = m \cdot \lambda$ e $\Delta_{m+1} = (m + 1) \cdot \lambda$. Alle frange scure del primo fascio di iperboli vanno associati i ritardi ottici $\Delta_{m+1}, \Delta_{m+2}, \Delta_{m+3}$, ecc., a quelle del secondo fascio di iperboli i ritardi ottici $\Delta_m, \Delta_{m-1}, \Delta_{m-2}$, ecc. (v. Fig. 2). La posizione delle frange scure, e più esattamente la loro distanza dal centro, dipende dall'entità della differenza tra Δ e $m \cdot \lambda$. L'effetto Pockels aumenta o riduce la differenza degli indici di rifrazione principali $n_o - n_e$ a seconda del segno della tensione applicata. Ciò va a variare la differenza $\Delta - m \cdot \lambda$ e dunque anche la posizione delle frange di interferenza scure. Andando ad applicare la cosiddetta tensione di semionda U_{π} , Δ varia di una mezza lunghezza d'onda. Le frange di interferenza scure migrano nella posizione delle chiare e viceversa. Il processo si ripete ad ogni ulteriore aumento della tensione del valore U_{π} .

ANALISI

Ad una tensione U_1 , le frange di interferenza scura di ordine +1 si trovano esattamente al centro, alla tensione successiva U_2 quelle di ordine +2. La tensione di semionda è quindi

$$U_{\pi} = \frac{U_2 - U_1}{2}$$

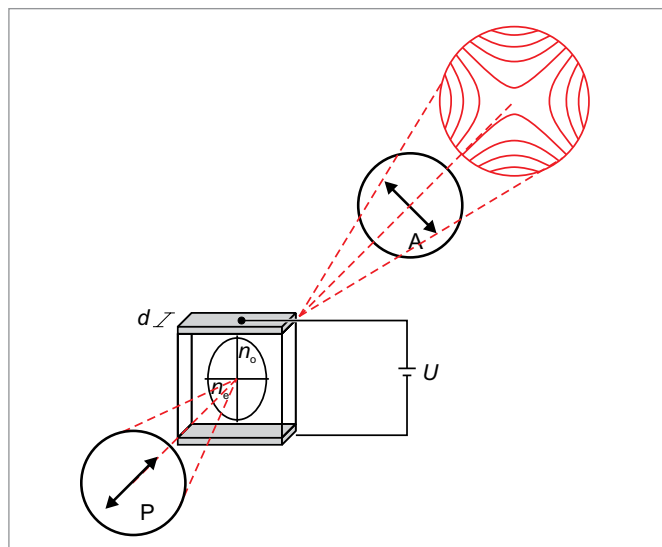


Fig. 1: Rappresentazione schematica della cella di Pockels in un fascio conoscopico fra polarizzatore e analizzatore

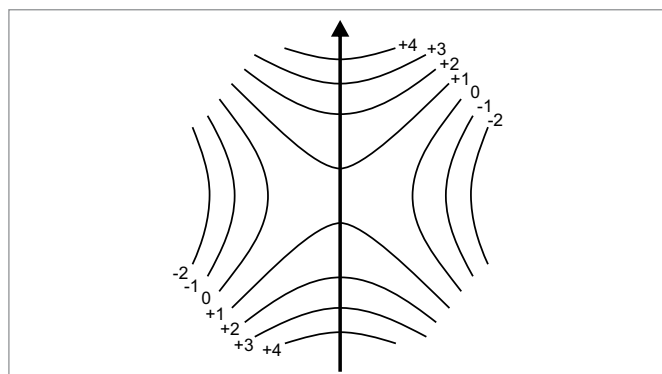


Fig. 2: Figura di interferenza con asse ottico del cristallo nella direzione della freccia. L'indice delle frange di interferenza scure corrisponde al ritardo ottico fra il raggio ordinario e straordinario in unità di lunghezza d'onda.

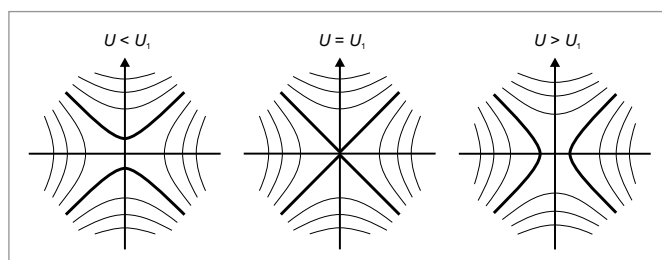


Fig. 3: Variazione della figura di interferenza mediante l'effetto Pockels. Le iperboli in grassetto sono quelle di ordine +1.

UE4040600 | EFFETTO FARADAY



SCOPO

Dimostrazione dell'effetto Faraday e determinazione della costante di Verdet per il vetro flint

RIASSUNTO

Sostanze otticamente isotrope, trasparenti, non magnetiche diventano otticamente attive in un campo magnetico. Ruotano il piano di polarizzazione di una luce polarizzata linearmente che proceda in direzione del campo magnetico attraverso la sostanza, poiché i tempi di transito della parte polarizzata circolare destra e sinistra sono diversi. Questo effetto è noto come effetto Faraday. Nell'esperimento viene misurato l'effetto Faraday nel vetro flint. Questo vetro si distingue per un'elevata e regolare dispersione ottica. È possibile riprodurre la dipendenza di frequenza dell'indice di rifrazione n con una buona approssimazione tramite una formula di Cauchy.

> FUNZIONI

- Dimostrazione dell'effetto Faraday nel vetro flint.
- Misurazione dell'angolo di rotazione del piano di polarizzazione nel campo magnetico.
- Determinazione della costante di Verdet per luce rossa e verde.
- Determinazione del coefficiente Cauchy b dell'indice di rifrazione.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Banco ottico di precisione D, 100 mm	1002628
4	Cavaliere ottico D, 90/50	1002635
1	Piede ottico D	1009733
1	Diodo laser, rosso 230V	1003201 o
	Diodo laser, rosso 115 V	1022208
1	Modulo laser, verde	1003202
2	Filtro di polarizzazione su asta	1008668
1	Schermo di proiezione	1000608
1	Nucleo del trasformatore D	1000976
2	Coppia di espansioni polari	1000978
2	Bobina D, 900 spire	1012859
1	Parallelepipedo in vetro flint per effetto Faraday	1012860
1	Accessori per effetto Faraday	1012861
1	VinciLab	1021477
1	Sensore di campo magnetico FW \pm 2000 mT	1021766
1	Cavo del sensore	1021514
1	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
1	Morsetto universale	1002833
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840
1	Alimentatore CC 1 – 32 V, 0 – 20 A (230 V, 50/60 Hz)	1012857 o
	Alimentatore DC 1 – 30 V, 0 – 20 A (115 V, 50/60 Hz)	1022289
Ulteriormente consigliato:		
1	Coach 7 Licenza	

BASI GENERALI

Sostanze otticamente isotrope, trasparenti, non magnetiche diventano otticamente attive in un campo magnetico. Ruotano il piano di polarizzazione di una luce polarizzata linearmente che procede in direzione del campo magnetico attraverso la sostanza, poiché i tempi di transito della parte polarizzata circolare destra e sinistra sono diversi. Questo effetto è noto come effetto Faraday.

È possibile spiegare le differenze dei tempi di transito con un semplice modello tramite la modifica della frequenza che subisce la luce polarizzata circolare nel campo magnetico. In caso di luce polarizzata destra, la frequenza f aumenta leggermente della frequenza di Larmor

$$(1) \quad f_L = \frac{e}{4\pi \cdot m_e} \cdot B$$

$e = 1,6021 \cdot 10^{-19}$ As : Carica fondamentale

$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg : Massa a riposo dell'elettrone

la frequenza della luce polarizzata sinistra si riduce dello stesso valore. Pertanto si ha

$$(2) \quad f_{\pm} = f \pm f_L$$

Alle diverse frequenze devono essere assegnati diversi indici di rifrazione nel materiale. Pertanto sono diverse anche le velocità dell'onda nel materiale.

Con questi dati è possibile calcolare la rotazione del piano polarizzato nel materiale attivo otticamente:

$$(3) \quad \varphi = 2\pi \cdot f \cdot (t_+ - t_-) = 2\pi \cdot f \cdot \frac{d}{c} \cdot (n(f_+) - n(f_-))$$

d : Lunghezza del campione,

$c = 2,998 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$: Velocità della luce

Poiché la frequenza di Larmor f_L è notevolmente inferiore a f , ne consegue

$$(4) \quad \begin{aligned} \varphi &= 2\pi \cdot f \cdot \frac{d}{c} \cdot \frac{dn}{df} \cdot 2 \cdot f_L \\ &= f \cdot \frac{dn}{df} \cdot \frac{e}{m_e \cdot c} \cdot B \cdot d \end{aligned}$$

L'angolo di rotazione φ è proporzionale al campo magnetico B e alla lunghezza percorsa d :

$$(5) \quad \varphi = V \cdot B \cdot d$$

La costante di proporzionalità:

$$(6) \quad V = \frac{e}{m_e \cdot c} \cdot f \cdot \frac{dn}{df}$$

viene detta costante di Verdet; dipende dalla dispersione della luce nel materiale irradato e dalla frequenza f della luce.

Nell'esperimento viene misurato l'effetto Faraday nel vetro flint F_2 . Questo vetro si distingue per un'elevata e regolare dispersione ottica. È possibile riprodurre la dipendenza di frequenza dell'indice di rifrazione n con una buona approssimazione tramite una formula di Cauchy.

$$(7) \quad n(f) = a + \frac{b}{c^2} \cdot f^2$$

con $a = 1,62$, $b = 8920 \text{ nm}^2$,

Per aumentare l'accuratezza di misurazione per piccoli angoli di rotazione, nell'esperimento con campo magnetico positivo B , la polarizzazione della luce viene definita in modo che l'analizzatore del campo visivo schermi esattamente a 0° . Dopo la commutazione al campo magnetico negativo $-B$, l'analizzatore viene ruotato intorno all'angolo 2φ per raggiungere di nuovo intensità zero.

ANALISI

$$\text{Da (6) e (7) deriva } V = \frac{2 \cdot e \cdot b \cdot f^2}{m_e \cdot c^3} = \frac{2 \cdot e \cdot b}{m_e \cdot c \cdot \lambda^2}$$

Dalla costante di Verdet è quindi possibile determinare il coefficiente di Cauchy b per l'indice di rifrazione del vetro flint utilizzato, se si conosce la lunghezza d'onda λ della luce impiegata.

$$b = \frac{m_e \cdot c}{2 \cdot e} \cdot V \cdot \lambda^2$$

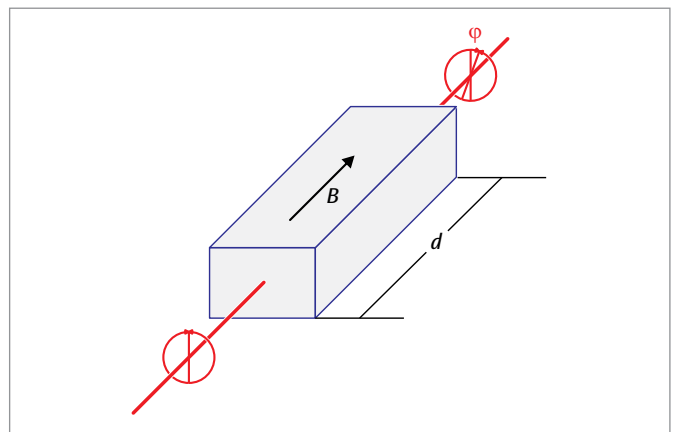


Fig. 1: Rappresentazione schematica della spiegazione dell'effetto Faraday

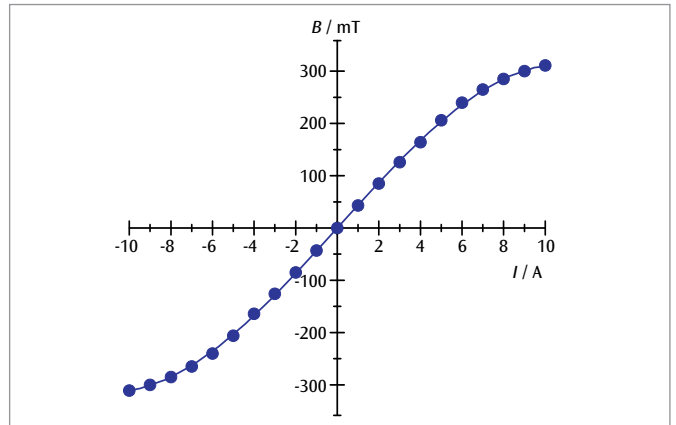


Fig. 2: Curva di calibrazione del magnete elettrico

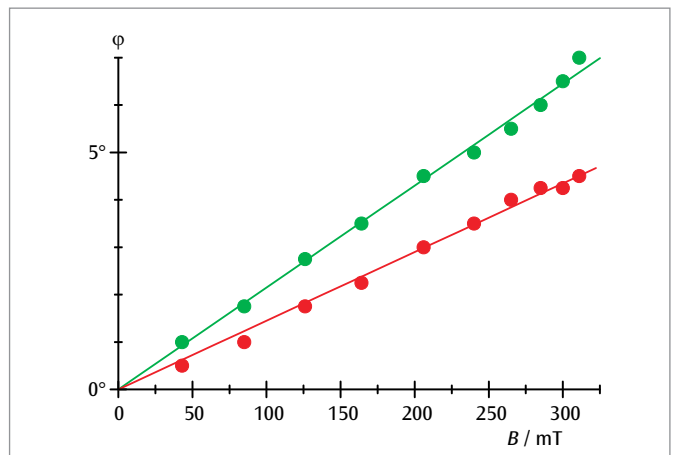
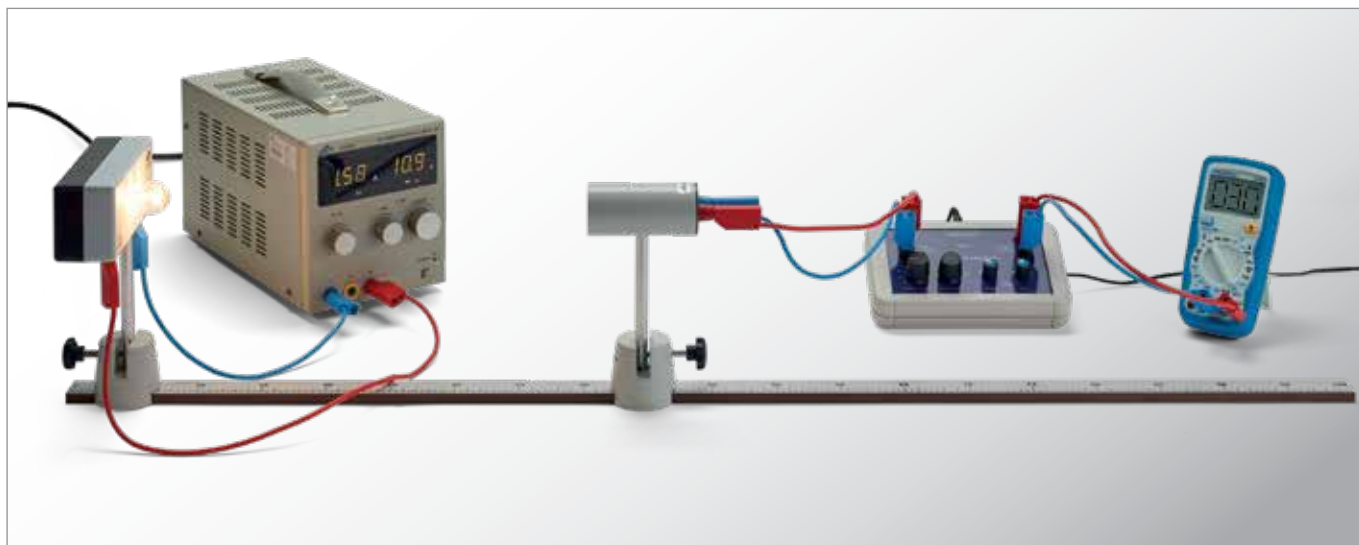


Fig. 3: Angolo di rotazione φ come funzione del campo magnetico B per luce laser rossa e verde

UE4050100

LEGGE DEL QUADRATO DELLA DISTANZA



> FUNZIONI

- Compensazione della luce ambientale.
- Misurazione dell'intensità di radiazione relativa in funzione della distanza.
- Rappresentazione in un diagramma $S - 1/r^2$.

SCOPO

Conferma della legge del quadrato della distanza per l'intensità di radiazione di una sorgente luminosa

RIASSUNTO

Secondo la legge del quadrato della distanza, l'intensità di radiazione di una sorgente luminosa, ovvero la potenza ceduta per unità di superficie, si riduce in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Questa correlazione viene verificata in un esperimento su una lampada a incandescenza, che per distanze maggiori rispetto alle dimensioni del filamento, può essere considerata come sorgente puntiforme. Per la misurazione relativa dell'intensità di radiazione viene utilizzata una termopila di Moll.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Lampada di Stefan-Boltzmann	1008523
1	Termopila di Moll	100824
1	Amplificatore di misura (230 V, 50/60 Hz)	1020742 o
	Amplificatore di misura (115 V, 50/60 Hz)	1020744
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Multimetro digitale P1035	1002781
1	Scala, 1 m	1000742
2	Piede a barilotto, 500 g	1001046
1	Cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm, set di 15	1002843

BASI GENERALI

La legge del quadrato della distanza descrive una correlazione fondamentale che vale anche per l'intensità di radiazione di una sorgente luminosa. L'intensità di radiazione, ovvero la potenza ceduta per unità di superficie, si riduce in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza della sorgente luminosa.

Il presupposto per la validità di questa correlazione è una sorgente luminosa che irradia in modo uniforme in tutte le direzioni spaziali, le cui dimensioni sono trascurabili rispetto alla distanza osservata. Inoltre non devono presentarsi assorbimenti o riflessioni tra la sorgente e il punto di misurazione.

Poiché la sorgente irradia in modo uniforme in tutte le direzioni spaziali, la potenza irradiata P alla distanza r rispetto alla sorgente è ripartita in modo uniforme sulla superficie sferica

$$(1) \quad A = 4\pi \cdot r^2$$

L'intensità è quindi data da

$$(2) \quad S = \frac{dP}{dA} = \frac{P}{4\pi \cdot r^2}$$

L'equazione (2) viene verificata nell'esperimento su una lampada a incandescenza. Per distanze maggiori rispetto alle dimensioni del filamento, la lampada può essere considerata come una sorgente di radiazione puntiforme. Per la misurazione relativa dell'intensità di radiazione viene utilizzata una termopila di Moll. In questo modo, anziché misurare l'intensità assoluta S , la tensione termica U_{th} viene letta come dimensione per grandezza proporzionale all'intensità relativa.

ANALISI

Nelle misurazioni è inevitabile che venga rilevata anche l'intensità di radiazione della luce ambiente. Per questo prima della registrazione della serie di misurazione viene eseguita una compensazione. Per questa verifica viene adattata una linea retta ai punti di misurazione.

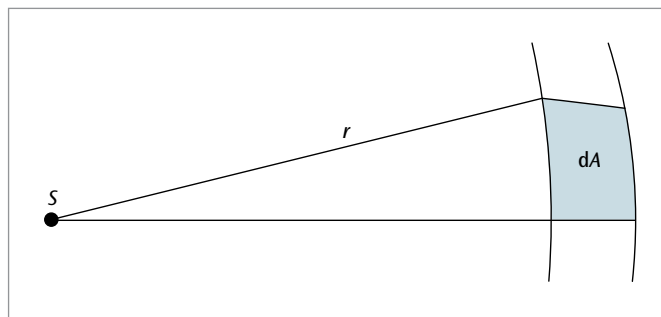


Fig. 1: Quadrato della distanza

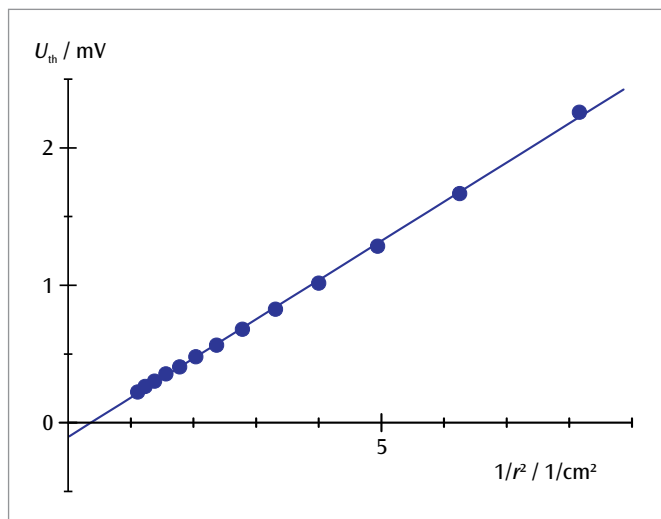


Fig. 2: Rappresentazione dei valori misurati in un diagramma $U_{th} - 1/r^2$

UE4050200 | LEGGE DI STEFAN-BOLTZMANN



> FUNZIONI

- Misurazione relativa dell'intensità di radiazione di una lampada a incandescenza con filo in tungsteno con una termopila di Moll in funzione della temperatura.
- Misurazione della resistenza in funzione della temperatura del filamento per la determinazione della temperatura.
- Rappresentazione dei valori di misurazione in un diagramma $\ln(U_{th}) - \ln(T)$ e determinazione dell'esponente dall'incremento lineare.

SCOPO

Conferma della dipendenza T^4 dell'intensità di radiazione

RIASSUNTO

La dipendenza dalla temperatura dell'intensità di radiazione di un corpo nero è descritta dalla legge di Stefan-Boltzmann. L'intensità di radiazione di una lampada a incandescenza con filo in tungsteno mostra la stessa dipendenza dalla temperatura. Nell'esperimento questa viene determinata con una termopila di Moll in una misurazione relativa. La temperatura del filamento si determina dalla resistenza in funzione della temperatura che viene rilevata con estrema precisione in una misurazione con quattro conduttori.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Lampada di Stefan-Boltzmann	1008523
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Termopila di Moll	1000824
3	Multimetro digitale P1035	1002781
2	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Sia l'intensità complessiva, sia la distribuzione spettrale della radiazione termica di un corpo dipendono dalla sua temperatura e dalle sue caratteristiche superficiali. A lunghezza d'onda e temperature fissate, l'emissività di un corpo è tanto buona quanto lo è la sua capacità di assorbimento. Un corpo nero, ovvero un corpo con caratteristiche superficiali ideali, assorbe la radiazione di tutte le lunghezze d'onda, quindi a una determinata temperatura emette una radiazione termica con la massima intensità possibile.

La dipendenza dalla temperatura dell'intensità di radiazione S di un corpo nero è descritta dalla legge di Stefan-Boltzmann.

$$(1) \quad S_0 = \sigma \cdot T^4$$

T : temperatura assoluta

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} : \text{costante di Stefan-Boltzmann}$$

Questa intensità non può essere misurata direttamente, poiché il corpo assorbe contemporaneamente radiazioni dall'ambiente. L'intensità misurata è piuttosto

$$(2) \quad S_1 = \sigma \cdot (T^4 - T_0^4)$$

T_0 : temperatura assoluta dell'ambiente

Anche la luce emessa da una lampada a incandescenza è radiazione termica. Qui la temperatura del filamento è selezionata in modo che una parte considerevole sia emessa come luce visibile. La dipendenza della temperatura dell'intensità di radiazione complessiva corrisponde a quella del corpo nero. Vale

$$(3) \quad S = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_0^4)$$

poiché il filamento assorbe una parte ε della radiazione dell'intera lunghezza d'onda.

Nell'esperimento è stata utilizzata una lampada a incandescenza di questo tipo per analizzare la dipendenza dalla temperatura dell'intensità di radiazione. Con una termopila di Moll viene determinata l'intensità di radiazione in una misurazione relativa. La temperatura del filamento si può determinare dalla resistenza in funzione della temperatura

$$(4) \quad R = R_0 (1 + \alpha \cdot (T - T_0))$$

R_0 : resistenza con temperatura ambiente T_0

$$\alpha = 4,4 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{K}} \text{ per il tungsteno}$$

poiché R viene rilevata con estrema precisione con una misurazione a quattro conduttori.

ANALISI

Dall'equazione (4) si ricava la temperatura T

$$T = \frac{R - R_0}{\alpha \cdot R_0} + T_0$$

Tuttavia l'equazione (4) è valida solo con una buona approssimazione. Per analisi più precise si possono consultare valori tabulati.

Nell'esperimento le temperature T vengono scelte così alte da poter trascurare la temperatura ambiente T_0 nell'equazione (3). Inoltre, anziché l'intensità assoluta S viene misurata la tensione termica U_{th} che rappresenta l'intensità relativa. Dall'equazione (3) si ha quindi

$$U_{th} = a \cdot T^4 \text{ e } \ln(U_{th}) = \ln(a) + 4 \cdot \ln(T)$$

In un diagramma $\ln(U_{th}) - \ln(T)$ i punti di misurazione si trovano quindi su una retta con pendenza 4.

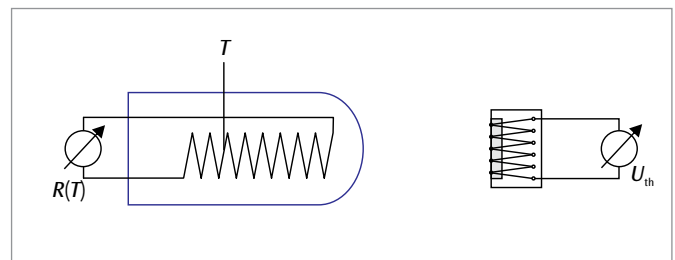


Fig. 1: Rappresentazione schematica della struttura

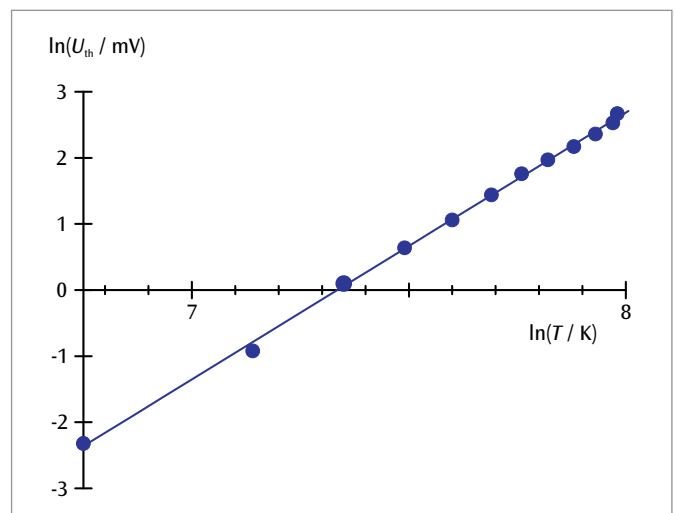


Fig. 2: Diagramma $\ln(U_{th}) - \ln(T)$

UE4060100

DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ DELLA LUCE



> FUNZIONI

- Misurazione oscilloscopica della durata di un breve impulso luminoso che compie un percorso prestabilito mediante confronto con un segnale di riferimento.
- Determinazione della velocità della luce nell'aria come rapporto tra percorso e tempo impiegato.

SCOPO

Determinazione della velocità della luce sulla base della durata di brevi impulsi luminosi

RIASSUNTO

La velocità di propagazione della luce può essere dimostrata mediante una semplice misurazione della durata. A tale scopo vengono analizzati impulsi luminosi molto brevi, della durata di pochi nanosecondi, e la loro durata viene determinata oscilloscopicamente dopo aver percorso in andata e ritorno un tratto di misura di diversi metri di lunghezza. Dalla durata rilevata e dalla distanza del trasmettitore dal riflettore a prisma triplo è possibile calcolare la velocità della luce.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Misuratore della velocità della luce (230 V, 50/60 Hz)	1000882 o
	Misuratore della velocità della luce (115 V, 50/60 Hz)	1000881
1	Oscilloscopio digitale 2x100 MHz	1020911
1	Banco ottico, 500 mm	1002626
2	Cavaliere ottico U, 75 mm	1022450
1	Piede a barilotto	1001045
1	Asta di supporto, 1500 mm	1002937
1	Manicotto universale	1002830
1	Metro a nastro tascabile, 2 m	1002603

BASI GENERALI

La velocità di propagazione della luce può essere dimostrata con le tecniche di misura attuali mediante una semplice misurazione della durata. A tale scopo vengono analizzati impulsi luminosi molto brevi, della durata di soli pochi nanosecondi, e la loro durata viene determinata oscillograficamente dopo aver percorso in andata e ritorno un tratto di misura di diversi metri di lunghezza.

Nell'esperimento, i brevi impulsi di luce emessi da un LED pulsato raggiungono tramite un divisore di fascio due fototrasduttori, i cui amplificatori collegati a valle inviano impulsi di tensione per una valutazione oscillografica. Al fototrasduttore A giungono impulsi luminosi che vengono respinti verso l'apparecchio di misura da un riflettore a prisma triplo posto a grande distanza. Il fototrasduttore B misura l'impulso di riferimento non ritardato prodotto internamente. Il trigger dell'oscilloscopio è provocato da un impulso di tensione proveniente dall'uscita C, che anticipa l'impulso di riferimento di 60 ns.

Con un oscilloscopio a due canali, si misura la differenza di durata dei due impulsi. Dalla differenza di durata rilevata t e dalla distanza s del trasmettitore dal riflettore a prisma triplo è possibile calcolare la velocità della luce:

$$(1) \quad c = \frac{2 \cdot s}{t}$$

La misurazione risulta ancora più efficace modificando la distanza del riflettore e osservando sull'oscilloscopio la variazione risultante della distanza tra gli impulsi. Ciò è possibile senza alcun problema, in quanto il posizionamento del riflettore a prisma triplo non richiede una particolare necessità di regolazione, bensì può avvenire tranquillamente "a occhio".

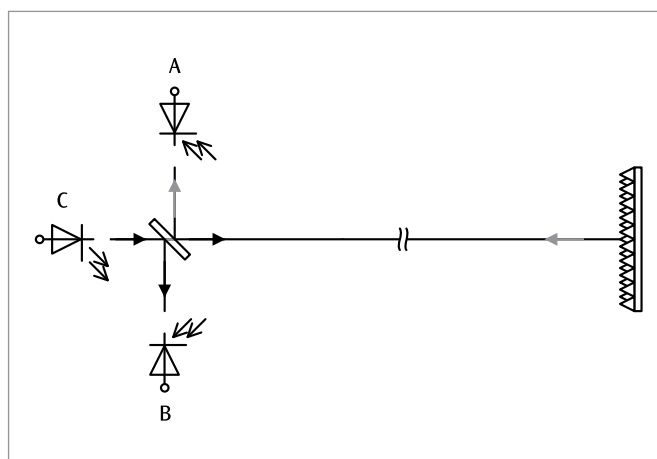


Fig. 1: Principio di misura

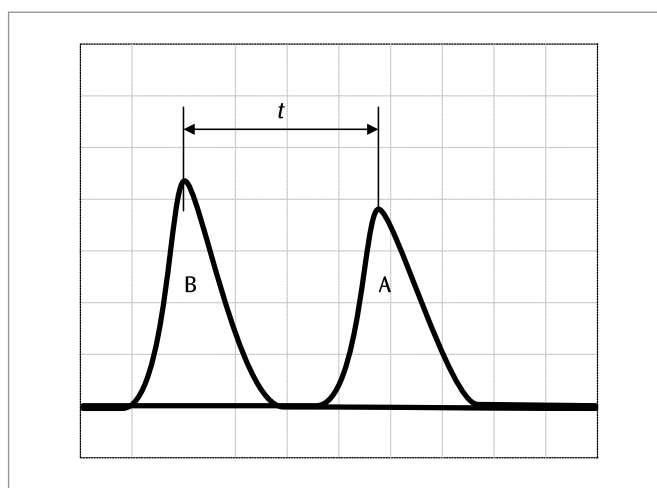


Fig. 2: Misurazione della durata con l'oscilloscopio

UE4070310 | LASER ND:YAG



> FUNZIONI

- Adattamento del laser a diodi per il pompaggio ottico stabile del laser Nd:YAG.
- Determinazione del tempo di decadimento del livello laser superiore $4F_{3/2}$ nel cristallo Nd:YAG.
- Regolazione del risonatore e controllo delle sue modalità.
- Misurazione della potenza in uscita del laser Nd:YAG in funzione della potenza della pompa e determinazione della soglia laser.
- Controllo dello spiking con funzionamento ad impulsi del diodo laser.

SCOPO

Configurazione e ottimizzazione di un laser Nd:YAG

RIASSUNTO

Nell'esperimento è stato configurato un laser Nd:YAG pompato con laser a diodi. Dopo l'adattamento del laser a diodi per un pompaggio ottico e l'ottimizzazione del risonatore, il sistema può essere messo in funzione come laser Nd:YAG. È stato analizzato il funzionamento non stazionario e quello stazionario. È stata inoltre determinata la vita media del livello laser superiore $4F_{3/2}$ nel cristallo Nd:YAG.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Driver per diodi laser e doppio controllore di temperatura Dsc01-2,5	1008632
1	Banco ottico KL	1008642
1	Laser a diodo 1000 mW	1009497
1	Cristallo Nd:YAG	1008635
1	Lente collimatrice $f = +75$ mm	1008646
1	Specchio laser I	1008638
1	Fotodiodo PIN	1008640
1	Filtro RG850	1008648
1	Diodo laser di regolazione	1008634
1	Valigetta di trasporto KL	1008651
1	Occhiali protettivi laser per Nd:YAG	1002866
1	Multimetro digitale P3340	1002785
1	Oscilloscopio digitale 2x100 MHz	1020911
1	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Cavo ad alta frequenza	1002746
1	Carta rivelatore a infrarossi	1017879



ATTENZIONE

Nell'esperimento si utilizza un dispositivo laser di classe 4 che emette nel campo spettrale a infrarossi (non visibile). Pertanto indossare sempre occhiali di protezione laser. Anche con gli occhiali non osservare direttamente il fascio laser.

BASI GENERALI

Il laser Nd:YAG è un laser allo stato solido che emette luce infrarossa. Come mezzo attivo utilizza un cristallo di ittrio e alluminio (YAG) drogato al neodimio. Viene pompato con un laser a diodi semiconduttore. Viene solitamente emessa una lunghezza d'onda di 1064 nm.

La Fig. 1 mostra i livelli energetici del cristallo Nd:YAG, con le transizioni più importanti per il pompaggio ottico e il funzionamento del laser. Tramite il pompaggio ottico con luce dalla lunghezza d'onda di ca. 808 nm vengono eccitate le transizioni dallo stato di base (1) al livello

di pompaggio superiore (4). Il loro tempo di decadimento è molto breve e avvengono transizioni rapide non radiative verso il livello laser superiore metastabile (3). Vengono così evitate transizioni allo stato di base. La transizione radiativa avviene con $\lambda = 1064 \text{ nm}$ verso il livello laser inferiore (2). Questo ha un tempo di decadimento molto breve e decade senza emissione di radiazione nello stato di base. Così vengono occupati tutti gli stati fino ad un determinato grado. Gli stati 4 e 2 decadono però così rapidamente che le densità numeriche degli atomi in questi stati può essere assunta come pari a zero. Quindi il comportamento dinamico del laser può essere descritto tramite le seguenti equazioni cinetiche per le inversioni di densità n (la differenza della densità numerica degli atomi Nd negli stati 2 e 3) e per la densità dei fotoni p del campo luminoso laser:

$$(1a) \quad \frac{dn}{dt} = W \cdot (N_{Nd} - n) - \sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \frac{n}{\tau_3}$$

$$(1b) \quad \frac{dp}{dt} = \frac{L_{Nd}}{L} \cdot \sigma \cdot c \cdot p \cdot n - \frac{p}{\tau_{res}}$$

- W : Velocità di pompaggio
- N_{Nd} : Densità numerica degli atomi Nd
- σ : sezione efficace per l'emissione o l'assorbimento di un fotone
- c : velocità della luce
- τ_3 : Durata utile del livello laser superiore 3
- L : Lunghezza risuonatore
- L_{Nd} : Lunghezza del cristallo Nd:YAG
- τ_{res} : Costante di tempo delle perdite del risuonatore

In (1a) il primo termine descrive il pompaggio ottico, il secondo l'emissione indotta e il terzo il decadimento del livello laser superiore a causa dell'emissione spontanea. Il primo termine in (1b) considera la generazione di fotoni a causa dell'emissione indotta, il secondo la diminuzione della densità dei fotoni a causa delle perdite nel risuonatore. Occorre considerare con più precisione che a causa dell'emissione spontanea, già all'avvio sono presenti fotoni. Per il funzionamento stazionario, senza considerare l'emissione spontanea, si ottiene la seguente soluzione:

$$(2) \quad p = \frac{1}{\sigma \cdot c \cdot \tau_3} \cdot \frac{W - W_s}{W_s}$$

$$\text{con} \quad W_s = \frac{1}{\tau_3} \cdot \frac{n_i}{n_i - N_{Nd}} \quad n_i = \frac{L}{L_{Nd} \cdot \sigma \cdot c \cdot \tau_{res}}$$

La velocità di pompaggio deve anche superare un valore di soglia; e successivamente la densità dei fotoni aumenterà in modo lineare con la velocità di pompaggio. Non è possibile una misurazione diretta della densità dei fotoni e della velocità di pompaggio. Nell'esperimento è quindi dimostrato che la potenza in uscita del laser PL al di sopra di un valore di soglia dipende in modo lineare dalla potenza della pompa. La Fig. 2 mostra le soluzioni delle equazioni cinetiche per il funzionamento non stazionario. Si crea quindi innanzitutto l'inversione di popolazione. Non appena viene raggiunta l'inversione di soglia la densità di inversione aumenta in modo lineare. Seguono un aumento più rapido della densità dei fotoni e una riduzione della densità di inversione ad un valore leggermente inferiore all'inversione di soglia. Ripetendo questa procedura, l'overshoot della densità di inversione si riduce sempre più, fino all'impostazione dello stato stazionario. Anche questo cosiddetto "spiking" viene dimostrato nell'esperimento. Tuttavia, prima viene adattata la lunghezza d'onda del laser a diodi utilizzato per il pompaggio sulla transizione con $\lambda = 808 \text{ nm}$ e successivamente viene misurato l'andamento temporale dell'emissione spontanea del laser a diodi con il funzionamento a impulsi (Fig. 3). Tramite questi valori misurati è possibile determinare il tempo di decadimento del livello di laser superiore. Dopo la preparazione e la regolazione del risuonatore viene controllato lo spiking (Fig. 4) e successivamente misurata la potenza in uscita in funzione della potenza della pompa.

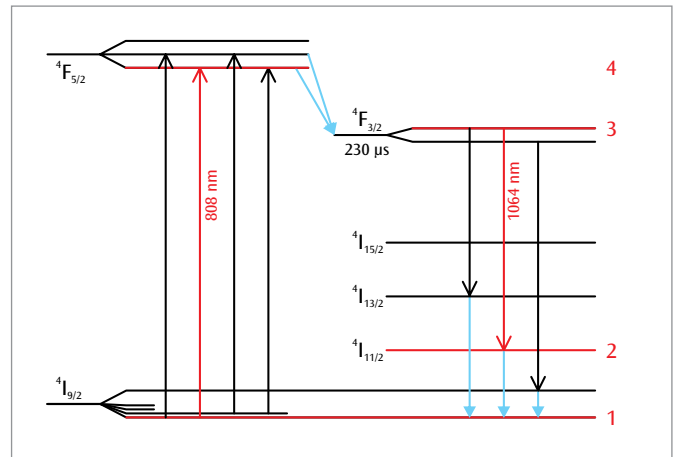


Fig. 1: Schema dei livelli energetici del cristallo Nd:YAG. Le transizioni rilevanti per l'esperimento sono rappresentate in rosso

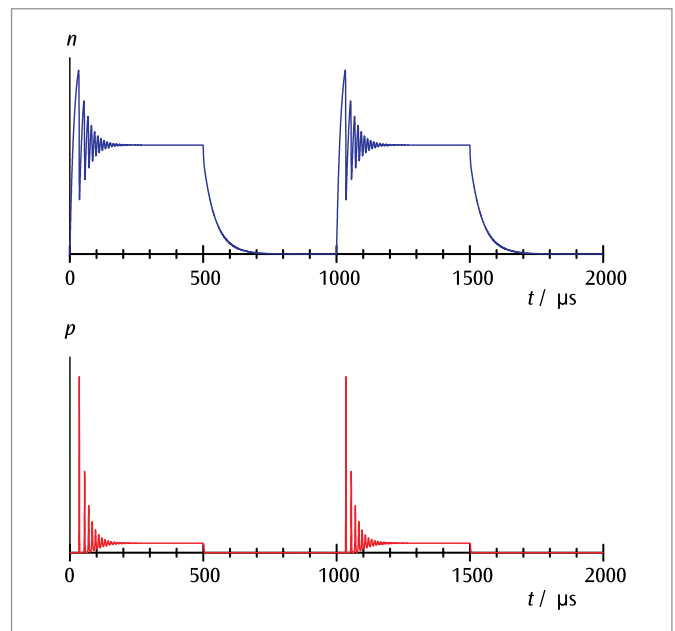


Fig. 2: Soluzioni non stazionarie delle equazioni cinetiche (spiking)

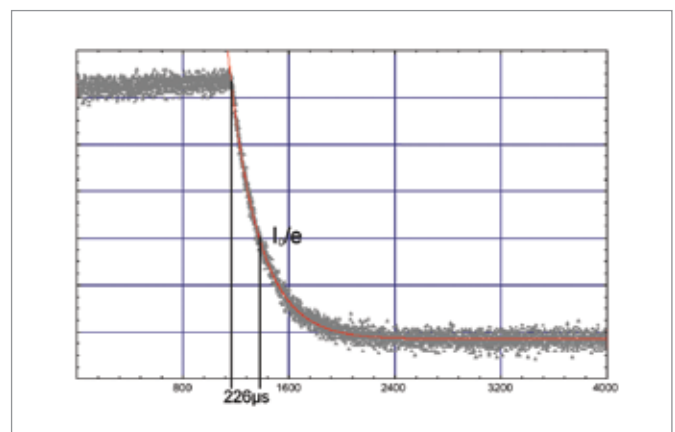


Fig. 3: Misurazione dell'emissione spontanea per la determinazione del tempo di decadimento del livello di laser superiore

UE4070320 | Q-SWITCHING DI UN LASER ND:YAG



> FUNZIONI

- Configurazione e ottimizzazione del Q-switching del laser Nd:YAG con un modulo Cr:YAG.
- Registrazione degli impulsi e determinazione della durata degli impulsi.

SCOPO

Q-switching di un laser Nd:YAG con un modulo Cr:YAG

RIASSUNTO

Il Q-switching di un laser permette la generazione di brevi impulsi ricchi di energia. Si basa sul controllo della soglia laser attraverso l'aumento o l'abbassamento delle perdite del risonatore. Con il supporto di un modulo Cr:YAG si realizza un sistema di Q-switching passivo e viene rilevato l'andamento temporale degli impulsi del laser. Dalla potenza media e dalla frequenza di ripetizione viene calcolata l'energia degli impulsi.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Driver per diodi laser e doppio controllore di temperatura Dsc01-2,5	1008632
1	Banco ottico KL	1008642
1	Laser a diodo 1000 mW	1009497
1	Cristallo Nd:YAG	1008635
1	Interruttore di potenza passivo	1008637
1	Specchio laser I	1008638
1	Fotodiodo PIN, rapido	1008641
1	Filtro RG850	1008648
1	Diodo laser di regolazione	1008634
1	Valigetta di trasporto KL	1008651
1	Occhiali protettivi laser per Nd:YAG	1002866
1	Multimetro digitale P3340	1002785
1	Oscilloscopio digitale 2x100 MHz	1020911
1	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Cavo ad alta frequenza	1002746
1	Carta rivelatore a infrarossi	1017879



ATTENZIONE

Nell'esperimento si utilizza un dispositivo laser di classe 4 che emette nel campo spettrale a infrarossi (non visibile). Pertanto indossare sempre occhiali di protezione laser. Anche con essi non osservare direttamente il fascio laser.

BASI GENERALI

Il Q-switching permette la creazione di brevi impulsi laser ricchi di energia, quali si rendono necessari nella lavorazione di materiali. Si basa sul controllo della soglia laser attraverso l'aumento o l'abbassamento delle perdite del risonatore. Nella fase con perdite elevate si evita l'oscillazione del risonatore e l'energia di pompaggio viene immagazzinata nel cristallo laser. Dopo l'attivazione del risonatore tramite la riduzione delle perdite si genera un impulso laser, la cui intensità è di molte volte maggiore rispetto a quella durante il funzionamento continuo. Questa è la differenza rispetto allo spiking: con il Q-switching si supera di molto la densità di inversione del valore della prima oscillazione. Si differenzia tra Q-switch passivi e attivi. I Q-switch passivi sono assorbenti e la loro capacità di assorbimento è attivata dalla luce nel risonatore. I Q-switch sono tipicamente circuiti acustici/ottici, elettrici/ottici o meccanici, che controllano la trasmissione esternamente.

L'impiego di un cristallo assorbente come Q-switch passivo presuppone la possibilità di saturazione del suo assorbimento. Per questo la sua sezione efficace deve essere maggiore a basse intensità, e la vita media del livello eccitato deve essere maggiore rispetto alla durata dell'impulso laser e inferiore al tempo di ripetizione dell'impulso. Un cristallo Cr:YAG soddisfa queste condizioni.

Le equazioni cinetiche per le densità di inversione raggiungibili con le pompe ottiche n nel cristallo Nd:YAG e per le densità dei fotoni p nel campo luminoso laser (cfr. l'esperimento UE4070310) per la descrizione del comportamento dinamico del laser passivo devono anche considerare la densità di occupazione nello stato di base del cristallo Cr:YAG. A causa dell'aumento estremamente rapido della densità dei fotoni, la velocità di pompaggio e quella dell'emissione spontanea possono essere trascurate. Con la definizione del valore di soglia della densità di inversione

$$(1) \quad n_s = \frac{1}{\sigma \cdot c \cdot \tau_{res}}$$

τ_{res} : Costante di tempo per la diminuzione della densità dei fotoni a causa delle perdite nel risonatore

σ : sezione efficace per l'emissione o l'assorbimento di un fotone
 c : velocità della luce

si ottiene la variazione temporale della densità di inversione n e della densità dei fotoni p :

$$(2a) \quad \frac{dn}{dt} = -\frac{n}{n_s} \cdot \frac{p}{\tau_{res}}$$

e

$$(2b) \quad \frac{dp}{dt} = -\left(\frac{n}{n_s} - 1\right) \cdot \frac{p}{\tau_{res}}$$

In un impulso gigante la densità di inversione è approssimativamente costante e corrisponde circa alla densità di inversione iniziale:

$$(3) \quad n(t) = n_i$$

Per la densità dei fotoni si ottiene quindi, dall'eq. (2b):

$$(4) \quad p(t) = \exp\left[\left(\frac{n_i}{n_s} - 1\right) \cdot \frac{t}{\tau_{res}}\right]$$

La densità di inversione n_i in un impulso gigante è molto maggiore rispetto alla densità di inversione di soglia n_s . Quindi il tempo di crescita della densità dei fotoni è molto più breve rispetto alla costante di tempo τ_{res} per le perdite del risonatore.

Un altro punto importante si raggiunge se la densità di inversione si riduce al valore di soglia. La densità dei fotoni non cambia più come dall'eq. (2b), vale a dire che non vengono generati altri fotoni laser. Si ottiene così dall'eq. (2a):

$$(5) \quad \frac{dn}{dt} = -\frac{p_{max}}{\tau_{res}} \quad \text{con } p(t) = p_{max}$$

La densità dei fotoni diminuisce quindi dopo il raggiungimento del valore massimo con la costante di tempo per le perdite del risonatore. Il valore massimo della densità dei fotoni è dato da:

$$(6) \quad p_{max} = n_s \cdot \ln\left(\frac{n_s}{n_i}\right) - (n_s - n_i)$$

In base a ciò i laser con una vita media molto breve mostrano il loro livello di laser superiore, quindi una densità di inversione solo leggermente superiore, e nessun aumento significativo della potenza in uscita con il funzionamento a impulsi.

Nell'esperimento il modulo Cr:YAG viene inserito nel risonatore e viene eseguita una nuova regolazione di precisione del laser. Il segnale laser viene misurato con un diodo PIN e registrato con un oscilloscopio.

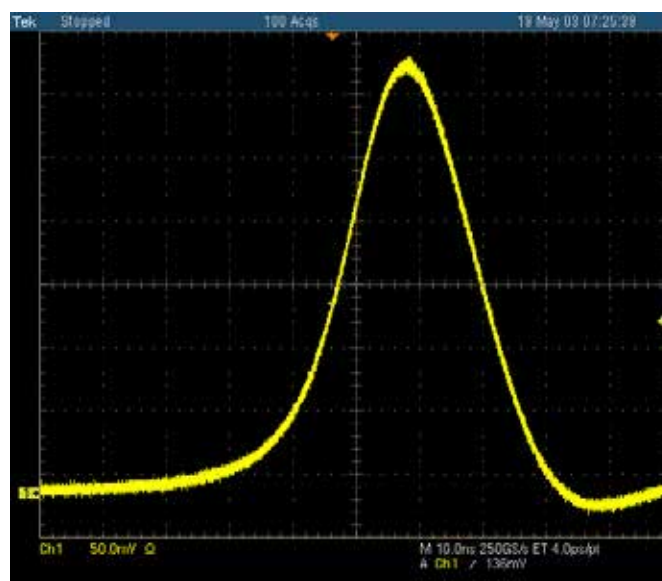
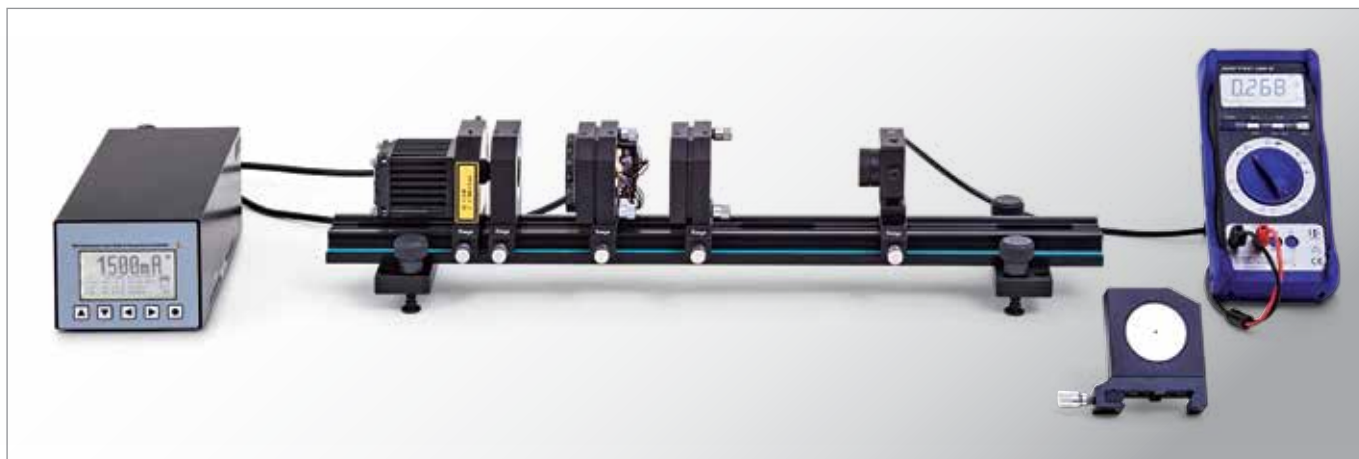


Fig. 1: andamento degli impulsi di un laser Nd:YAG a Q-switch passivo

UE4070330 | LASER ND:YAG



> FUNZIONI

- Generazione di radiazione a frequenza raddoppiata inserendo un cristallo KTP nel risonatore.
- Misurazione della potenza di uscita della radiazione a frequenza raddoppiata in funzione della potenza dell'onda fondamentale.
- Analisi della dipendenza dall'orientamento del cristallo e dalla temperatura del cristallo.

SCOPO

Duplicazione della frequenza internamente al risonatore in un laser Nd:YAG

RIASSUNTO

In un forte campo elettromagnetico molti materiali variano le proprie caratteristiche ottiche. In un materiale di questo tipo è possibile ad es. raddoppiare la frequenza della luce laser ad alta intensità. Nell'esperimento viene impiegato un cristallo KTP, per generare, partendo dalla radiazione infrarossa da 1064 nm di un laser Nd:YAG una radiazione verde con lunghezza d'onda 532 nm tramite raddoppio della frequenza. Questo tipo di cristallo è indicato per vari motivi in quanto si comporta da un punto di vista ottico in modo altamente non lineare e assorbe la radiazione con la frequenza di uscita e la frequenza raddoppiata solo in misura minima.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Driver per diodi laser e doppio controllore di temperatura Dsc01-2,5	1008632
1	Banco ottico KL	1008642
1	Laser a diodo 1000 mW	1009497
1	Cristallo Nd:YAG	1008635
1	Modulo di duplicazione della frequenza	1008636
1	Specchio laser II	1008639
1	Fotodiodo PIN	1008640
1	Filtro BG40	1017874
1	Diodo laser di regolazione	1008634
1	Valigetta di trasporto KL	1008651
1	Occhiali protettivi laser per Nd:YAG	1002866
1	Multimetro digitale P3340	1002785
1	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Carta rivelatore a infrarossi	1017879



ATTENZIONE

Nell'esperimento si utilizza un dispositivo laser di classe 4 che emette nel campo spettrale a infrarossi (non visibile). Pertanto indossare sempre occhiali di protezione laser. Anche con gli occhiali non osservare mai direttamente il fascio laser.

BASI GENERALI

In un forte campo elettromagnetico molti materiali variano le proprie caratteristiche ottiche. In un materiale di questo tipo è possibile ad es. raddoppiare la frequenza della luce laser ad alta intensità. Per la descrizione di tale fenomeni si parte dalla polarizzazione del materiale che varia non linearmente con l'intensità elettrica del campo.

Se il materiale non è magnetico, l'equazione d'onda per l'intensità del campo elettrico E ha la forma

$$(1) \quad \Delta E(\mathbf{r},t) - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} E(\mathbf{r},t) = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot c^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} \tilde{P}(\mathbf{r},t)$$

\tilde{P} : polarizzazione del materiale
 ϵ_0 : costante di dielettrica del vuoto
 c : velocità della luce

Tra la polarizzazione e l'intensità del campo sussiste la relazione non lineare

$$(2) \quad \tilde{P}(t) = \epsilon_0 \cdot (\chi_1 \cdot E(t) + \chi_2 \cdot E(t)^2)$$

χ_1, χ_2 : suscettibilità di primo e secondo grado

Pertanto, un campo elettrico oscillante con una frequenza f

$$(3) \quad E(t) = E_0 \cdot \exp(i \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)$$

genera una polarizzazione composta da due termini. Il termin

$$(4) \quad \tilde{P}_1(t) = \epsilon_0 \cdot \chi_1 \cdot E_0 \cdot \exp(i \cdot 2\pi \cdot f \cdot t)$$

oscilla con la frequenza semplice f e descrive la variazione della velocità della luce nel materiale. Il termine

$$(5) \quad \tilde{P}_2(t) = \epsilon_0 \cdot \chi_2 \cdot E_0^2 \cdot \exp(i \cdot 2\pi \cdot 2f \cdot t)$$

oscilla con la frequenza doppia $2f$ e agisce secondo (1) come sorgente di una nuova un nuovo componente del campo elettromagnetico.

Nel modello a fotoni si osservano due fotoni di frequenza f convertiti in un fotone di frequenza $2f$ (vedere Fig. 1). Per motivi di conservazione della quantità di moto, il rendimento è particolarmente grande, se lo spostamento di fase

$$(6) \quad \Delta k \cdot \frac{L}{2} = \left| 2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda_f} - \frac{2\pi}{\lambda_{2f}} \right| \cdot \frac{L}{2} = \frac{2\pi}{c} \cdot f \cdot L \cdot |n_f - n_{2f}|$$

L : lunghezza risonatore

λ_f, λ_{2f} : lunghezze d'onda nel materiale con frequenza semplice e doppia

è il più possibile vicino allo zero. Gli indici di rifrazione n_f e n_{2f} del materiale devono pertanto essere più vicini possibile, cosa ottenibile nei materiali bifrangenti con forte anisotropia spaziale ed orientamento idoneo (vedere Fig. 2). La conseguenza è che il rendimento dipende dall'orientamento spaziale del materiale che raddoppia la frequenza. La densità di potenza P_{2f} della nuova radiazione dipende in modo quadratico dalla densità di potenza P_f della radiazione fondamentale. Vale

$$(7) \quad P_{2f} = P_f^2 \cdot \frac{L^2}{A} \cdot C \cdot F\left(\Delta k \cdot \frac{L}{2}\right) \text{ con } F(x) = \left(\frac{\sin x}{x}\right)^2$$

A : sezione risonatore

C : costante materiale ad una data lunghezza d'onda

Nell'esperimento viene impiegato un cristallo KTiOPO_4 (KTP), per generare, partendo dalla radiazione infrarossa da 1064 nm di un laser Nd:YAG una radiazione verde con lunghezza d'onda 532 nm tramite raddoppio della frequenza. Questo tipo di cristallo è indicato per vari motivi in quanto si comporta da un punto di vista ottico in modo altamente non lineare e assorbe la radiazione con la frequenza di uscita e la frequenza raddoppiata solo in misura minima.

ANALISI

Per la conferma della dipendenza dal quadrato della potenza primaria P_f si utilizza la dipendenza nota dagli esperimenti precedenti della potenza primaria dalla corrente d'iniezione I del diodo laser.

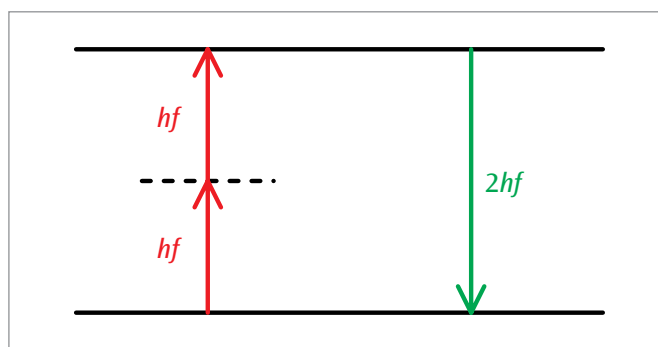


Fig. 1: Rappresentazione schematica del raddoppiamento della frequenza

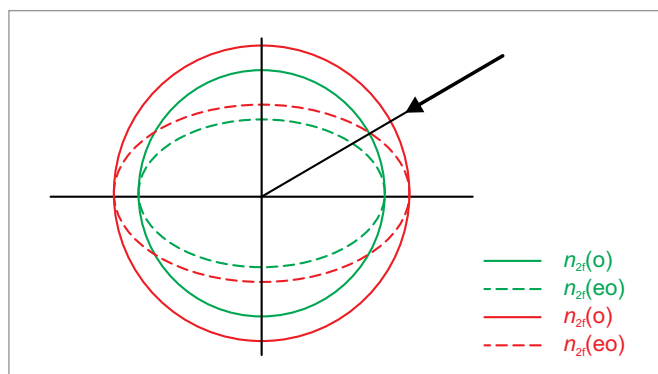


Fig. 2: Rappresentazione schematica per l'adattamento di fase utilizzando la doppia rifrazione nel materiale
 $n(o)$: indice di rifrazione del raggio ordinario
 $n(eo)$: indice di rifrazione del raggio straordinario

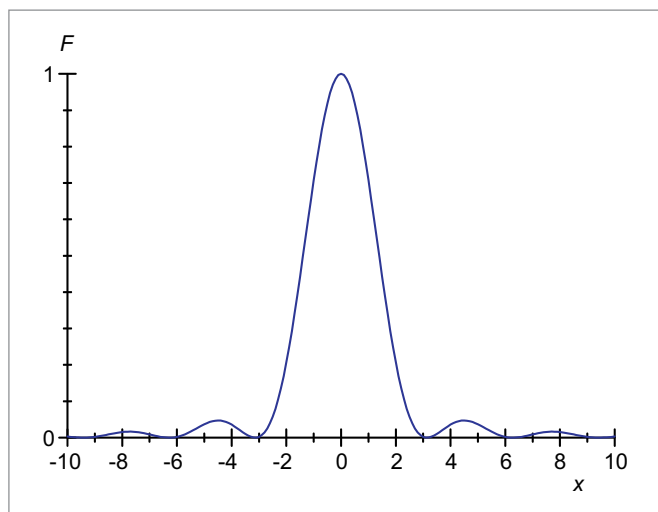


Fig. 3: Rappresentazione della funzione $F(x)$

UE4080100 | SPETTROMETRO A PRISMA



SCOPO

Regolazione e calibrazione di uno spettrometro a prisma

RIASSUNTO

Lo spettrometro a prisma utilizza la scomposizione della luce nei colori dello spettro al passaggio attraverso un prisma per misurare spettri ottici. Al fine di misurare le lunghezze d'onda è necessaria una calibrazione, poiché tale dispersione angolare non è lineare. Nell'esperimento, si utilizza lo spettro "noto" di una lampada Hg per la calibrazione e si misura successivamente lo spettro "non noto" di una lampada Cd.

> FUNZIONI

- Regolazione dello spettrometro a prisma e calibrazione con le linee spettrali di una lampada Hg
- Misurazione dell'angolo di deviazione minimo a $\lambda = 546,07$ nm.
- Determinazione dell'indice di rifrazione di vetro flint a $\lambda = 546,07$ nm e dei parametri Cauchy b e c dell'indice di rifrazione in funzione della lunghezza d'onda.
- Calcolo di una curva di calibrazione in base alla formula di dispersione di Hartmann.
- Misurazione di uno spettro lineare non noto.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Spettrometro-goniometro S	1008673
1	Bobina di reattanza per lampade spettrali (230 V, 50/60 Hz)	1021409 o
	Bobina di reattanza per lampade spettrali (115 V, 50/60 Hz)	1022541
1	Lampada spettrale Hg/Cd	1003546
1	Lampada spettrale Hg 100	1003545

BASI GENERALI

Con uno spettrometro a prisma si misurano spettri ottici utilizzando la scomposizione della luce nei colori dello spettro al passaggio attraverso un prisma. Tale dispersione è da ricondursi alla dipendenza dell'indice di rifrazione del vetro prismatico dalla lunghezza d'onda. Essa non è lineare. Per questo, per poter misurare le lunghezze d'onda con spettrometri a prisma, è necessaria una calibrazione.

Nello spettrometro, la luce analizzata incide attraverso la fenditura S sull'obiettivo O_1 che, insieme alla fenditura, forma un collimatore e genera un largo fascio luminoso parallelo (v. Fig. 1). Dopo aver subito una doppia rifrazione attraverso il prisma, il fascio esce parallelo e viene riunito sul piano focale dell'obiettivo O_2 in un'immagine della fenditura osservabile tramite l'oculare OC. Il cannocchiale formato dall'obiettivo O_2 e dall'oculare OC è fissato a un braccio orientabile, solidale al nonio N. La doppia rifrazione della luce attraverso il prisma è descritta attraverso gli angoli α_1 , α_2 , β_1 e β_2 (v. Fig. 2). Per un prisma equilatero vale

$$(1) \quad \sin \alpha_1 = n(\lambda) \cdot \sin \beta_1(\lambda), \quad n(\lambda) \cdot \sin \beta_2(\lambda) = \sin \alpha_2(\lambda), \quad \beta_1(\lambda) + \beta_2(\lambda) = 60^\circ$$

L'angolo di ingresso α_1 è modificabile ruotando il prisma nel fascio incidente parallelo. Gli angoli α_2 , β_1 e β_2 dipendono dalla lunghezza d'onda λ , poiché l'indice di rifrazione n dipende dalla lunghezza d'onda.

Dall'angolo di ingresso α_1 e da quello di uscita α_2 si ricava l'angolo di deviazione

$$(2) \quad \delta(\lambda) = \alpha_1 + \alpha_2(\lambda) - 60^\circ$$

tra collimatore e cannocchiale. Esso raggiunge il minimo δ_{\min} quando il percorso dei raggi risulta essere simmetrico al prisma. A quel punto, la dispersione angolare $d\delta/d\lambda$ è al massimo. Pertanto, lo spettrometro a prisma viene regolato in modo da ottenere un percorso dei raggi simmetrico per una lunghezza d'onda di riferimento λ_0 . Nell'esperimento, si seleziona a tale scopo la linea spettrale verde ($\lambda_0 = 546,07$ nm) di una lampada spettrale Hg.

Dall'angolo di deviazione minimo si determina l'indice di rifrazione del prisma alla lunghezza d'onda di riferimento data. Per simmetria, vale $\beta_1(\lambda_0) = \beta_2(\lambda_0) = 30^\circ$ e $\alpha_2(\lambda_0) = \alpha$ e dunque

$$(3) \quad \sin \alpha_1 = n(\lambda_0) \cdot \frac{1}{2} \quad \text{con} \quad \alpha_1 = \frac{\delta_{\min}}{2} + 30^\circ$$

A causa della dispersione, le restanti linee spettrali risultano spostate rispetto a δ_{\min} di piccoli angoli $\Delta\delta$. Esse vengono lette con l'ausilio del nonio con precisione al minuto angolare. Poiché la variazione Δn dell'indice di rifrazione sull'intero campo visibile è di piccola entità, è sufficiente considerare esclusivamente i termini lineari delle variazioni. Dalle equazioni 1 – 3 si ricava pertanto la seguente correlazione tra lunghezza d'onda e deviazione:

$$(4) \quad \Delta\delta(\lambda) = \Delta\alpha_2(\lambda) = \frac{\Delta n(\lambda)}{\cos \alpha_1} = \frac{\Delta n(\lambda)}{\sqrt{1 - \frac{(n(\lambda_0))^2}{4}}}$$

Nel campo visibile dello spettro l'indice di rifrazione n diminuisce all'aumentare della lunghezza d'onda λ . Tale considerazione è formulabile tramite l'equazione di Cauchy nella forma

$$(5) \quad n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}$$

Da (4) e (5) si evince in principio una descrizione matematica per la curva di calibrazione. Tuttavia è più pratico l'utilizzo della formula di dispersione di Hartmann

$$(6) \quad \delta(\lambda) = \delta_H + \frac{K}{\lambda - \lambda_H}$$

dove δ_H , K e λ_H non hanno però alcun particolare significato fisico. Nell'esperimento, si ricorre pertanto alle linee spettrali della lampada spettrale Hg utilizzando (6) per la calibrazione e poi si misurano le linee di uno spettro "non noto" (v. Tab. 1).

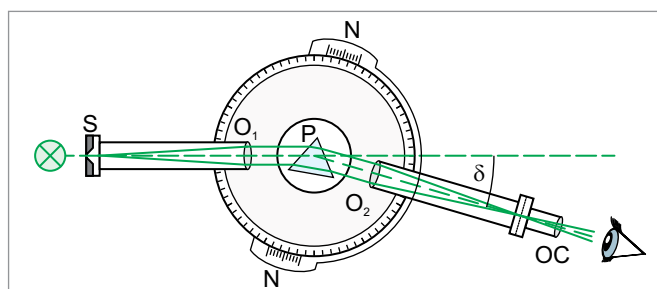


Fig. 1: Rappresentazione schematica di uno spettrometro a prisma. S: fenditura d'ingresso, O₁: obiettivo del collimatore, P: prisma, O₂: obiettivo del cannocchiale, OC: oculare del cannocchiale, δ : deviazione

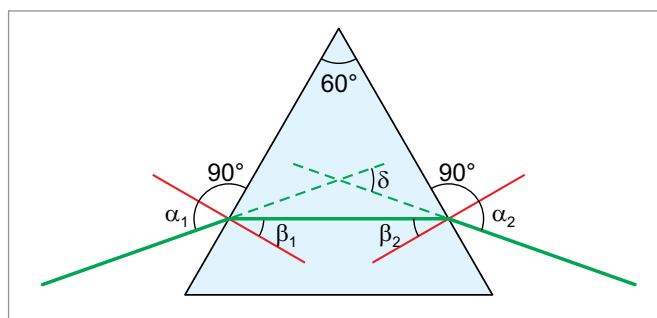


Fig. 2: Percorso dei raggi nel prisma

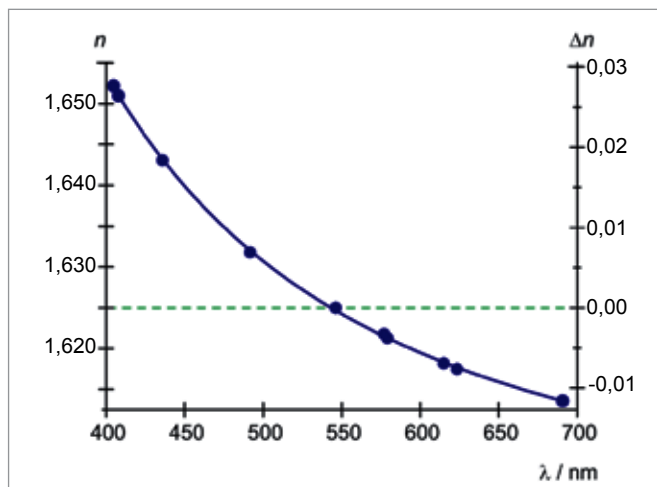


Fig. 3: Indice di rifrazione del prisma in vetro flint in funzione della lunghezza d'onda

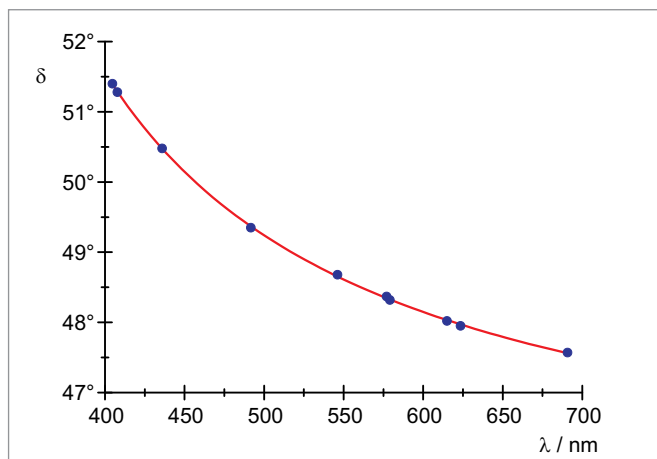


Fig. 4: Curva di calibrazione dello spettrometro a prisma

EVALUATION

Dall'equazione 3 segue l'indice di rifrazione $n(\lambda_0)$. I parametri di Cauchy dell'indice di rifrazione si calcolano nella rappresentazione $\Delta n = n(\lambda) - n(\lambda_0) = f(1/\lambda^2)$ servendosi di un adattamento parabolico.

Tab.1: Lunghezze d'onda delle linee spettrali del Cd

Denominazione	Misura λ / nm	Valore di letteratura λ / nm
blu (media)	466	466
blu (intensa)	468	468
verde-blu (media)	479	480
verde scuro (intensa)	509	509
verde scuro (debole)	515	516
rosso (intensa)	649	644

UE5010200 | COSTANTE DI PLANCK



> FUNZIONI

- Misurazione dei valori limite della forza controelettromotrice in funzione della lunghezza d'onda della luce.
- Rappresentazione dei risultati in un diagramma energia-frequenza.
- Determinazione della costante di Planck e del lavoro di estrazione.
- Dimostrazione dell'indipendenza dell'energia degli elettroni dall'intensità della luce.

SCOPO

Determinazione della costante di Planck secondo il metodo della forza controelettromotrice

RIASSUNTO

In una variante della disposizione classica, la luce di una determinata frequenza giunge sul catodo attraverso un anodo ad anello, liberando elettroni per effetto fotoelettrico. L'energia degli elettroni può essere determinata tramite l'applicazione di una forza controelettromotrice che si oppone al flusso di corrente degli elettroni verso l'anodo portandolo a zero. Si dimostra che il valore limite della forza controelettromotrice corrispondente alla corrente zero e di conseguenza anche l'energia degli elettroni sono indipendenti dall'intensità della luce. Dai valori limite misurati per le diverse frequenze luminose si calcola la costante di Planck.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio della costante di Planck (230 V, 50/60 Hz)	1000537 o
	Apparecchio della costante di Planck (115 V, 50/60 Hz)	1000536

BASI GENERALI

L'effetto fotoelettrico presenta due caratteristiche importanti scoperte nel 1902 da *Lenard*: il numero degli elettroni rilasciati dal materiale del catodo per via dell'effetto fotoelettrico è proporzionale all'intensità della luce incidente, mentre la loro energia dipende dalla frequenza e non dall'intensità della luce. Nel 1905 *Einstein* ha spiegato queste caratteristiche traendo ipotesi fondamentali dalla descrizione di *Planck* della radiazione di un corpo nero, gettando così importanti basi per la teoria quantistica.

Einstein ipotizzò che la luce si diffondesse sotto forma di fotoni di energia proporzionale alla frequenza della luce. Se un tale fotone con energia

$$(1) \quad E = h \cdot f$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} : \text{costante di Planck}$$

giunge su un elettrone nel materiale del catodo, può trasmettere la sua energia all'elettrone, che si libera dal catodo con energia cinetica

$$(2) \quad E_{\text{kin}} = h \cdot f - W$$

Il lavoro di estrazione W è una grandezza dipendente dal materiale, pari ad es. nel cesio a circa 2 eV.

Nell'esperimento si utilizza questa relazione per determinare la costante di Planck h . A tale scopo, la luce di una determinata frequenza f giunge attraverso un anodo ad anello sul catodo, provocando il rilascio di elettroni. La corrente risultante verso l'anodo viene misurata con un nanoamperometro e compensata a zero applicando una forza controelettromotrice U_0 tra anodo e catodo. La luce viene fornita da diodi luminosi di colore diverso, il cui spettro è sufficientemente ristretto da consentire l'assegnazione di una lunghezza d'onda λ e quindi di una frequenza

$$(3) \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

$$c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

L'intensità della luce dei diodi può essere variata tra 0 e 100%, in modo che anche l'indipendenza dell'energia degli elettroni dall'intensità della luce sia verificabile.

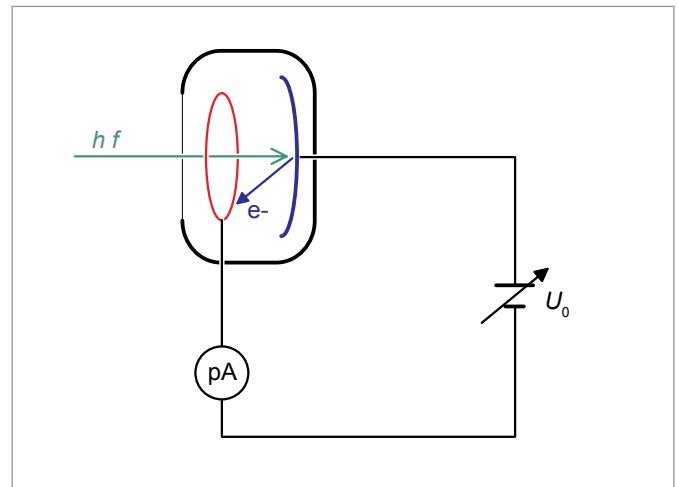


Fig. 1: Schema della disposizione di misurazione

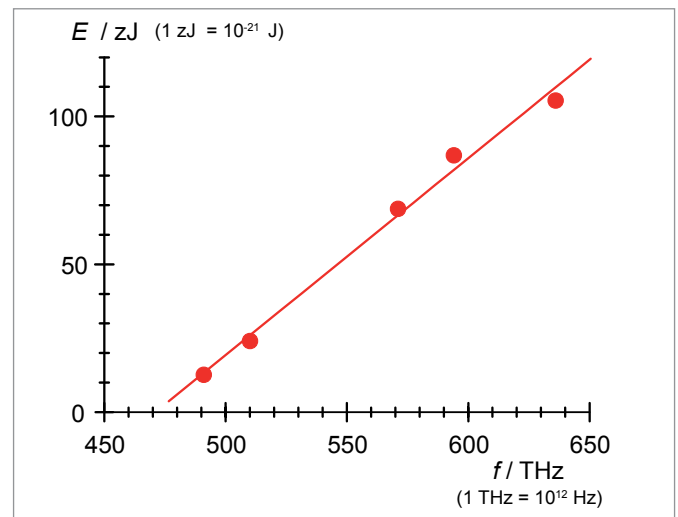


Fig. 2: Diagramma Energia-Frequenza

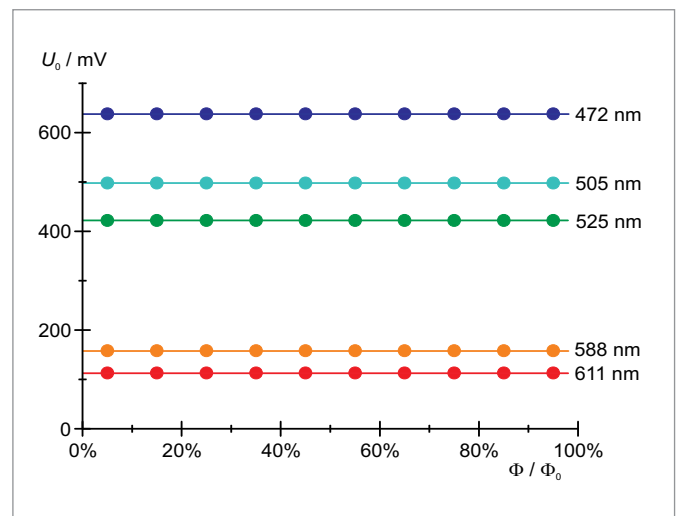


Fig. 3: Tensione limite U_0 in funzione dell'intensità

ANALISI

Il valore limite U_0 della forza controelettromotrice è il minore che provochi l'azzeramento della corrente. Questa definizione si può ricavare dalle equazioni (2) e (3)

$$e \cdot U_0 = h \cdot f - W = h \cdot \frac{c}{\lambda} - W$$

con $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ As}$: carica fondamentale

La costante di Planck è rilevabile valutabile pertanto come pendenza di un grafico in cui sull'asse y siano rappresentati i valori $E = e \cdot U_0$ e sull'asse x i valori $f = \frac{c}{\lambda}$

UE5010400 | ESPERIMENTO DI MILLIKAN



SCOPO

Conferma del valore della carica elementare sulla base dell'esperimento di Millikan eseguito su goccioline d'olio cariche elettricamente

RIASSUNTO

Fra il 1910 e il 1913 *Robert Andrews Millikan* riuscì a determinare la carica elementare con una precisione sconosciuta fino a quel momento e, di conseguenza, a confermare la quantizzazione della carica elettrica. L'esperimento che porta il suo nome si basa sulla misurazione della quantità di carica di goccioline d'olio cariche elettricamente che, se sottoposte al campo elettrico di un condensatore a facce piane parallele, salgono in aria, mentre in assenza di campo elettrico scendono. L'apparato sperimentale impiegato in questo esperimento è un apparecchio compatto ideato sulla base di quello di Millikan che tuttavia non utilizza una sorgente di radiazioni radioattive.

> FUNZIONI

- Formazione delle goccioline d'olio cariche elettricamente, selezione di quelle idonee e osservazione nel campo elettrico.
- Misurazione della velocità di salita all'interno del campo elettrico e della velocità di discesa in assenza di campo elettrico.
- Conferma del valore della carica elementare.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Item Number
1	Apparecchio di Millikan (230 V, 50/60 Hz)	1018884 o
	Apparecchio di Millikan (115 V, 50/60 Hz)	1018882

BASI GENERALI

Fra il 1910 e il 1913 *Robert Andrews Millikan* riuscì a determinare la carica elementare con una precisione sconosciuta fino a quel momento e, di conseguenza, a confermare la quantizzazione della carica elettrica. Per questi studi vinse il premio Nobel per la fisica. L'esperimento che porta il suo nome si basa sulla misurazione della quantità di carica di goccioline d'olio cariche elettricamente che, se sottoposte al campo elettrico di un condensatore a facce piane parallele, salgono in aria, mentre in assenza di campo elettrico scendono. Il valore determinato da Millikan è $(1,592 \pm 0,003) \cdot 10^{-19}$ C si discosta solamente dello 0,6% dal valore stabilito al giorno d'oggi.

Le forze agenti su una gocciolina d'olio, la cui forma presunta è sferica e che galleggia in aria all'interno di un campo elettrico generato da un condensatore a facce piane parallele, sono la forza peso,

$$(1) \quad F_G = m_2 \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 \cdot \rho_2 \cdot g$$

m_2 : massa della gocciolina d'olio, r_0 : raggio della gocciolina d'olio, ρ_2 : densità dell'olio, g : accelerazione di caduta

la spinta di Archimede in aria,

$$(2) \quad F_A = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 \cdot \rho_1 \cdot g$$

ρ_1 : densità dell'aria

la forza dovuta al campo elettrico E ,

$$(3) \quad F_E = q_0 \cdot E = \frac{q_0 \cdot U}{d}$$

q_0 : carica della gocciolina d'olio, U : tensione presente fra le piastre del condensatore, d : distanza fra le piastre del condensatore

e la forza di attrito viscoso di Stokes

$$(4) \quad F_{R1,2} = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_{1,2}$$

η : dell'aria, v_1 : di salita, v_2 : velocità di discesa

Quando viene applicato un campo elettrico e la gocciolina d'olio sale, vale l'equilibrio fra le forze

$$(5) \quad F_G + F_{R1} = F_E + F_A$$

mentre in assenza di campo elettrico la gocciolina scende e si ha

$$(6) \quad F_G = F_{R2} + F_A$$

È quindi possibile determinare il raggio e la carica della gocciolina d'olio:

$$(7) \quad r_0 = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot v_2}{2 \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot g}}$$

e

$$(8) \quad q_0 = \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot (v_1 + v_2)}{U} \cdot r_0$$

Il raggio r_0 è dell'ordine di grandezza del cammino libero medio delle molecole d'aria e pertanto occorre correggere la forza di attrito viscoso di Stokes. Per il raggio corretto r e la carica corretta q si utilizzano le relazioni:

$$(9) \quad r = \sqrt{r_0^2 + \frac{A^2}{4}} - \frac{A}{2} \quad \text{con} \quad A = \frac{b}{p}$$

$b = 82 \mu\text{m} \cdot \text{hPa} = \text{costante}$, p : pressione atmosferica

$$(10) \quad q = q_0 \cdot \left(1 + \frac{A}{r}\right)^{-15}$$

L'apparato sperimentale impiegato in questo esperimento è un apparecchio compatto ideato sulla base di quello di Millikan che tuttavia non utilizza una sorgente di radiazioni radioattive. Le goccioline d'olio cariche elettricamente vengono formate mediante un apposito nebulizzatore. Una volta formatesi le goccioline, la loro carica, generatasi casualmente, non subisce più alcun influsso esterno. Come nell'apparato di Millikan, le goccioline d'olio vengono inserite nella camera di sperimentazione dall'alto. Tramite l'osservazione con un microscopio di misura si selezionano le goccioline d'olio idonee alla misurazione e se ne determina la carica. Per ogni gocciolina d'olio si misura il tempo di salita, quando viene applicato un campo elettrico, e il tempo di discesa, in assenza di campo elettrico, per una distanza compresa fra due punti marcati su una scala oculare. La polarità delle piastre del condensatore viene selezionata in funzione del segno della carica. In alternativa, è possibile mantenere le goccioline d'olio in equilibrio nell'aria all'interno del campo elettrico. Sul touch screen vengono visualizzati il tempo di salita, il tempo di discesa di una gocciolina d'olio carica elettricamente, nonché i parametri importanti ai fini della determinazione, quali la temperatura, la viscosità e la pressione.

ANALISI

Partendo dai tempi di salita e discesa t_1 e t_2 misurati si determina la velocità di salita e discesa

$$v_{1,2} = \frac{s}{V \cdot t_{1,2}}$$

s : distanza fra due punti marcati sulla scala oculare, ocular scale, $V = 2$: ingrandimento dell'obiettivo

e dall'equazione (10) la carica q della gocciolina d'olio.

Le cariche q_i (Tab. 1) determinate dalla misurazione vengono divise per un numero intero n_i in modo tale che i valori risultanti siano il meno dispersi possibile rispetto al valor medio. La misura della dispersione è la deviazione standard. Il migliore valore stimato e per la carica elementare e l'errore standard Δe vengono determinati a partire dai valori e_i delle singole misurazioni e dai rispettivi errori di misurazione Δe_i (Tab. 1) mediante il calcolo della media ponderata procedendo come segue:











$$e \pm \Delta e = \frac{\sum w_i \cdot e_i}{\sum w_i} \pm \frac{1}{\sqrt{\sum w_i}} \quad \text{con} \quad w_i = \left(\frac{1}{\Delta e_i}\right)^2$$

Con i valori dalla Tab. 1 si ricava:

$$e \pm \Delta e = \frac{1286}{799} \pm \frac{1}{28} = (1.61 \pm 0.04) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Il risultato è tanto più attendibile quanti più valori vengono misurati. Migliori risultati si ottengono per piccoli valori del numero di cariche n per ogni gocciolina d'olio. A causa delle imprecisioni in particolare in relazione alla distanza delle piastre del condensatore e della lettura sulla scala del microscopio n dovrebbe essere ≤ 7 .

Tab. 1: Cariche q_i misurate di dieci diverse goccioline d'olio e valori e_i ricavati per la carica elementare.

i	Polarità	q_i 10^{-19} C	Δq_i 10^{-19} C	n	e_i 10^{-19} C	Δe_i 10^{-19} C
1		-11,1	0,9	-7	1,59	0,13
2		-7,9	0,6	-5	1,58	0,12
3		-6,2	0,4	-4	1,55	0,10
4		3,5	0,2	2	1,75	0,10
5		4,9	0,3	3	1,63	0,10
6		6,3	0,5	4	1,58	0,13
7		6,6	0,4	4	1,65	0,10
8		7,6	0,6	5	1,52	0,12
9		10,2	0,8	6	1,70	0,13
10		10,6	0,8	7	1,51	0,11

UE5010500 | DIFFRAZIONE DEGLI ELETTRONI



SCOPO

Osservazione della diffrazione degli elettroni sulla grafite policristallina e conferma della natura ondulatoria degli elettroni

> FUNZIONI

- Determinazione del diametro dei due anelli di diffrazione per diverse tensioni di accelerazione.
- Determinazione della lunghezza d'onda degli elettroni per diverse tensioni di accelerazione sulla base della condizione di Bragg.
- Conferma della relazione di De Broglie per la lunghezza d'onda.

RIASSUNTO

La diffrazione degli elettroni su una pellicola di grafite policristallina dimostra la natura ondulatoria degli elettroni. Sullo schermo fluorescente del tubo di diffrazione elettronica si osservano due anelli di diffrazione attorno a un punto centrale in direzione del fascio. Questi anelli sono da ricondurre alla diffrazione degli elettroni sui piani reticolari dei microcristalli della pellicola di grafite che soddisfano le condizioni di Bragg. L'osservazione è comparabile al risultato della diffrazione di Debye-Scherrer dei raggi X su una polvere di cristalli.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo di diffrazione elettronica S	1013889
1	Portatubo S	1014525
1	Alimentatore ad alta tensione 5 kV (230 V, 50/60 Hz)	1003310 o
	Alimentatore ad alta tensione 5 kV (115 V, 50/60 Hz)	1003309
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Nel 1924 *Louis de Broglie* formulò l'ipotesi che sostanzialmente anche le particelle abbiano carattere ondulatorio, e che la loro lunghezza d'onda dipenda dall'impulso. Le sue considerazioni furono confermate da *C. Davison* e *L. Germer* mediante la diffrazione di elettroni su nichel cristallino.

Per la dipendenza della lunghezza d'onda λ di una particella dal suo impulso p De Broglie indicò la relazione

$$(1) \quad \lambda = \frac{h}{p}$$

h : Costante di Planck

Per quanto riguarda gli elettroni che hanno attraversato una tensione di accelerazione U_A questa relazione può essere trasformata nell'equazione

$$(2) \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot e \cdot U_A}}$$

m : Massa elettronica, e : Carica fondamentale

Se la tensione di accelerazione è per es. 4 kV, è possibile assegnare agli elettroni una lunghezza d'onda di circa 20 pm.

Nell'esperimento è stata dimostrata la natura ondulatoria degli elettroni in un tubo di vetro sotto vuoto mediante diffrazione su grafite policristallina. Sullo schermo fluorescente del tubo di vetro si osservano anelli di diffrazione attorno a un punto centrale in direzione del fascio, il cui diametro dipende dalla tensione di accelerazione. Essi sono provocati dalla diffrazione degli elettroni sui piani reticolari dei microcristalli che soddisfano la condizione di Bragg

$$(3) \quad 2 \cdot d \cdot \sin \vartheta = n \cdot \lambda$$

ϑ : Angolo di Bragg, n : Ordine di diffrazione,
 d : Distanza dei piani reticolari

(vedi fig. 2). Il diametro dell'anello di diffrazione da correlare all'angolo di Bragg ϑ è

$$(4) \quad D = 2 \cdot L \cdot \tan 2\vartheta$$

L : Distanza tra la pellicola di grafite e lo schermo fluorescente

Poiché la grafite presenta una struttura cristallina con due distanze dei piani reticolari $d_1 = 123$ pm e $d_2 = 213$ pm (vedi fig. 3), nel primo ordine di diffrazione ($n = 1$) si osservano due anelli di diffrazione con i diametri D_1 e D_2 .

ANALISI

Dai diametri dei due anelli di diffrazione e dalle distanze dei piani reticolari è possibile determinare la lunghezza d'onda λ applicando la condizione di Bragg. Per i piccoli angoli di apertura vale:

$$\lambda = 2 \cdot d_{1/2} \cdot \sin \left(\frac{1}{2} \cdot \arctan \left(\frac{D_{1/2}}{2 \cdot L} \right) \right)$$

La lunghezza d'onda così calcolata viene confrontata con quella calcolata sulla base di (2).

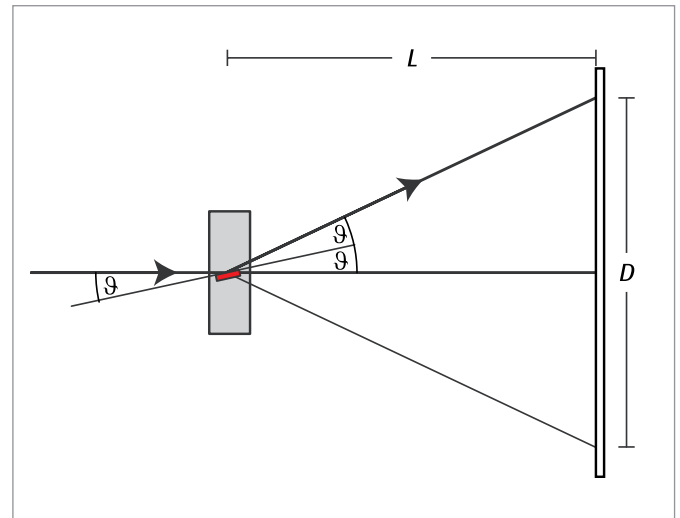


Fig. 2: Riflessione di Bragg su una serie di piani reticolari "adatta" di un cristallite selezionato nella pellicola di grafite

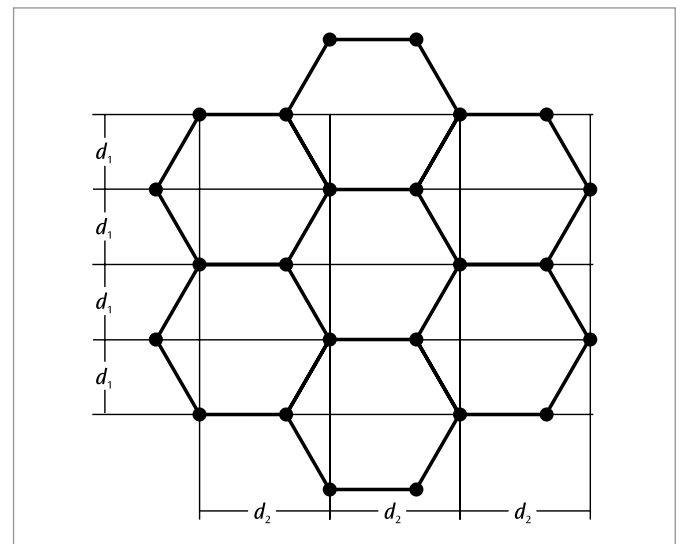


Fig. 3: Struttura cristallina della grafite

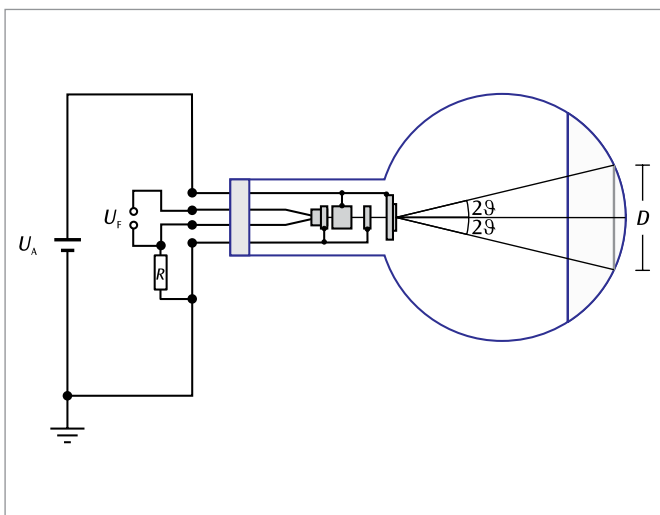


Fig. 1: Rappresentazione schematica del tubo di diffrazione elettronica

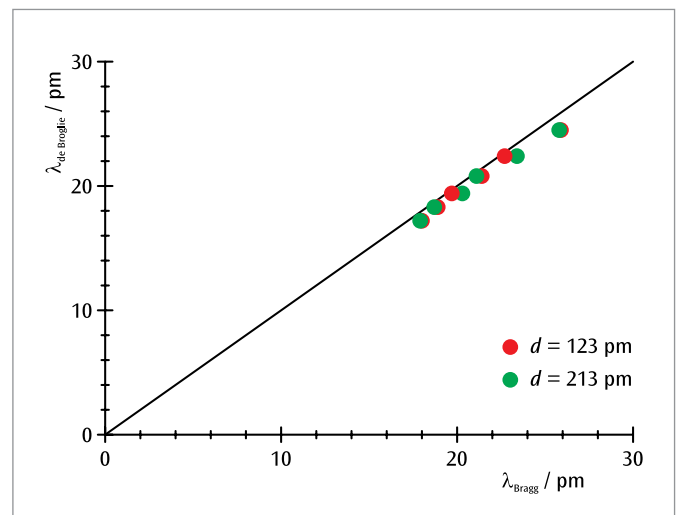


Fig. 4: Lunghezza d'onda determinata sulla base della condizione di Bragg in funzione della lunghezza d'onda di De Broglie

UE5020100 | SPETTRI A RIGHE I



> FUNZIONI

- Registrazione dello spettro a righe dell'idrogeno.
- Determinazione delle frequenze delle righe H_{α} , H_{β} , H_{γ} e H_{δ} dalla serie di Balmer dell'idrogeno.
- Calcolo della costante di Rydberg.
- Registrazione e valutazione degli spettri a righe dei gas nobili e dei vapori metallici.

SCOPO

Registrazione e valutazione della serie di Balmer dell'idrogeno e di altri spettri a righe nel campo visibile

RIASSUNTO

Gli spettri a righe di atomi che emettono luce sono caratteristici di ogni elemento chimico. La loro complessità aumenta però con l'aumentare del numero atomico degli elementi. Con l'aiuto del modello atomico di Bohr, invece, è possibile spiegare in modo semplice la parte dello spettro a righe dell'idrogeno atomico nel campo visibile.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Spettrometro LD, digitale	1018103
1	Alimentatore tubi spettrali (230 V, 50/60 Hz)	1000684 o
	Alimentatore tubi spettrali (115 V, 50/60 Hz)	1000683
1	Tubo spettrale idrogeno	1003409
1	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
Ulteriormente consigliato:		
1	Tubo spettrale elio	1003408
1	Tubo spettrale neon	1003413
1	Tubo spettrale argon	1003403
1	Tubo spettrale cripto	1003411
1	Tubo spettrale mercurio	1003412
1	Tubo spettrale bromo	1003404
1	Tubo spettrale iodio	1003410

BASI GENERALI

Gli atomi che emettono luce in un gas luminoso generano spettri di diverse righe singole, chiaramente separate l'una dall'altra, anche se possono accumularsi in singoli punti. Le righe sono caratteristiche per l'elemento chimico perché ogni riga corrisponde ad un passaggio tra due livelli precisi di energia all'interno del guscio elettronico dell'atomo.

Lo spettro di emissione dell'idrogeno atomico nel campo visibile presenta quattro righe H_{α} , H_{β} , H_{γ} e H_{δ} , che proseguono nel range degli ultravioletti per formare una serie completa. Per le frequenze di questa serie *J.J. Balmer* nel 1885 ha indicato una formula empirica:

$$(1) \quad \nu = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$n = 3, 4, 5, 6 \dots$$

$$R = 3290 \text{ THz: Costante di Rydberg}$$

Successivamente è stato possibile spiegare la serie di frequenze nell'ambito del modello atomico di Bohr, semplicemente con l'emissione di energia dell'elettrone durante il passaggio da gusci superiori al secondo guscio dell'atomo di idrogeno.

Già lo spettro a righe dell'atomo di elio contenente solo un elettrone in più è notevolmente più complesso di quello dell'atomo di idrogeno, poiché gli spin di entrambi gli elettroni si possono allineare in modo parallelo o antiparallelo e pertanto occupare, nell'atomo di elio, livelli di energia completamente diversi.

La complessità aumenta ancora per tutti gli altri elementi chimici. In ogni caso però lo spettro a righe è caratteristico dell'elemento.

ANALISI

Nella rappresentazione $\nu = f(1/n^2)$ le frequenze della serie di Balmer si trovano su una retta, associando alla riga H_{α} il numero $n = 3$, alla riga H_{β} il valore $n = 4$ e così via (vedi fig. 1). L'incremento lineare corrisponde alla costante di Rydberg R . Il punto d'intersezione con l'asse x è 0,25, dato che i passaggi della serie di Balmer sono orientati al livello di energia $n = 2$.

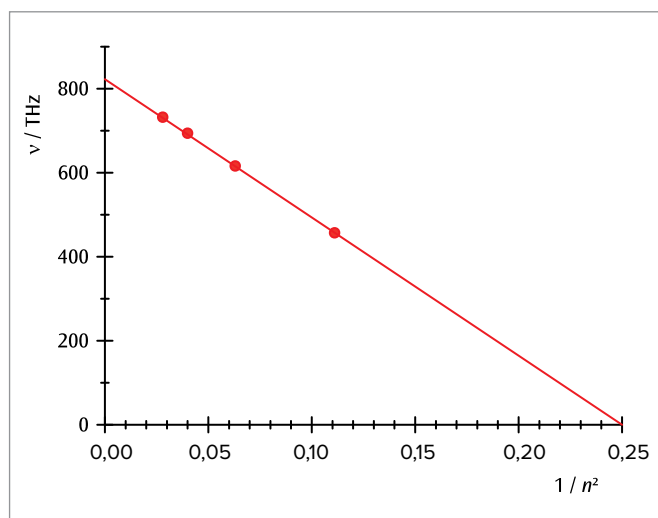


Fig. 1: Frequenze di transizione della serie di Balmer in funzione di $1/n^2$

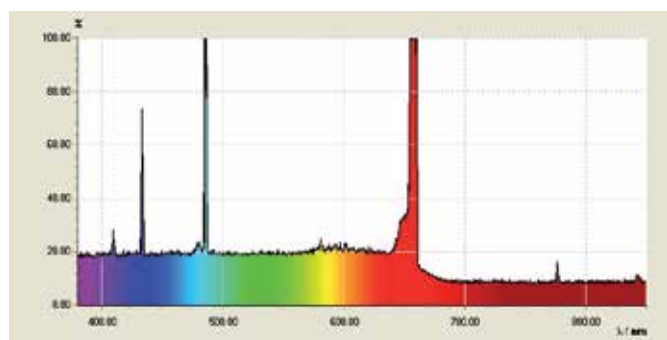


Fig. 2: Spettro a righe dell'idrogeno atomico

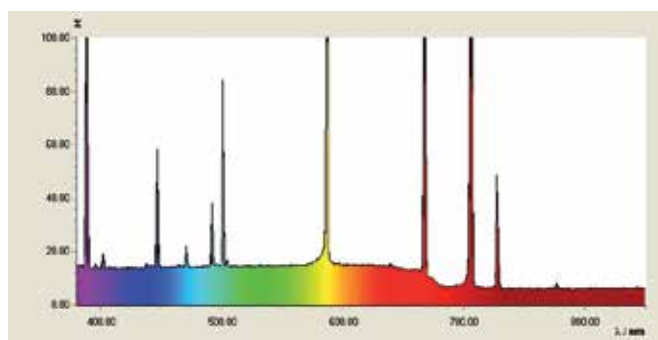


Fig. 3: Spettro a righe dell'elio

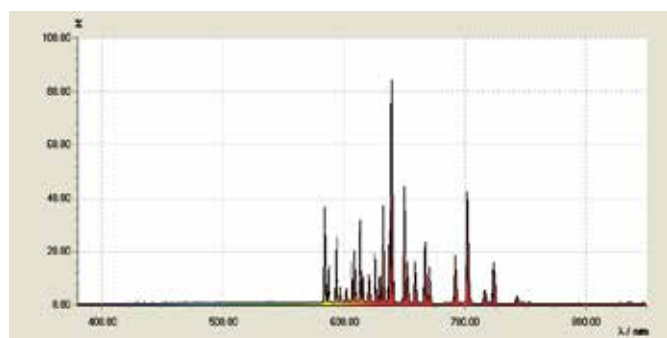


Fig. 4: Spettro a righe del neon

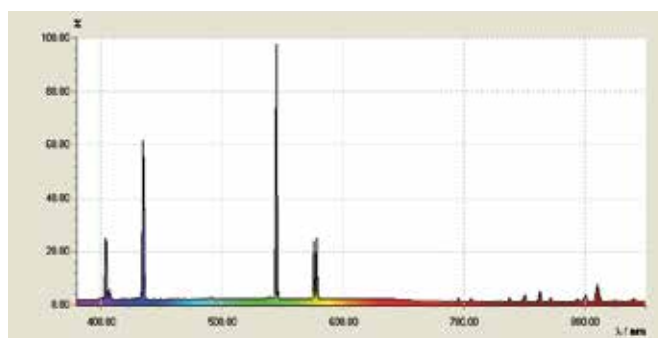


Fig. 5: Spettro a righe del mercurio

UE5020150 | SPETTRI A RIGHE II



> FUNZIONI

- Identificazione della struttura fine nella linea D del sodio.
- Misurazione delle linee di assorbimento nello spettro solare.
- Misurazione ad alta risoluzione di linee spettrali di altri atomi.

SCOPO

Misurazione ad alta risoluzione di linee di assorbimento ed emissione

RIASSUNTO

Il potere di risoluzione di uno spettrometro è spesso valutato in funzione della possibilità di separare le due linee D del sodio. Nell'esperimento si usa uno spettrometro digitale in grado di farlo.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Spettrometro HD, digitale	1018104
1	Bobina di reattanza per lampade spettrali (230 V, 50/60 Hz)	1021409 o
	Bobina di reattanza per lampade spettrali (115 V, 50/60 Hz)	1022541
1	Lampada spettrale Na	1003541
2	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
Ulteriormente consigliato:		
1	Lampada spettrale Hg 100	1003545
1	Lampada spettrale Hg/Cd	1003546

BASI GENERALI

Il potere di risoluzione di uno spettrometro definisce il limite delle prestazioni dell'apparecchio. Esso indica la distanza della lunghezza d'onda minima tra due linee spettrali vicine ancora separate. Una famosa coppia di linee è il doppietto della linea D del sodio, con una distanza della lunghezza d'onda pari a 0,6 nm. Il potere di risoluzione di uno spettrometro è spesso valutato in funzione della possibilità di separare le due linee.

La linea D del sodio si genera in emissione mediante la transizione dell'elettrone 3s del sodio dallo stato eccitato 3p allo stato di base. Poiché spin elettronico e momento angolare orbitale interagiscono (accoppiamento spin-orbita), lo stato 3p è suddiviso in due stati fini con momento angolare totale $j = 1/2$ e $j = 3/2$. La differenza di energia fra i due stati fini ammonta a 0,0021 eV, le lunghezze d'onda delle transizioni allo stato di base a 588,9950 nm (D2) e 589,5924 nm (D1). Nell'esperimento si usa uno spettrometro digitale che permette di rendere visibile la struttura fine nella linea D del sodio. La scomposizione spettrale della luce incidente viene ottenuta per mezzo di un reticolo da 1200 linee/mm in un monocromatore Czerny-Turner. Il campo spettrale misurabile è compreso tra 400 nm e 700 nm, distribuito su un array CCD da 3600 pixel. Per ciascun intervallo di lunghezza d'onda da 0,08nm è dunque disponibile un pixel. Si ottiene in questo modo un potere di risoluzione pari a 0,5 nm. È pertanto possibile misurare la struttura fine nella linea D del sodio.

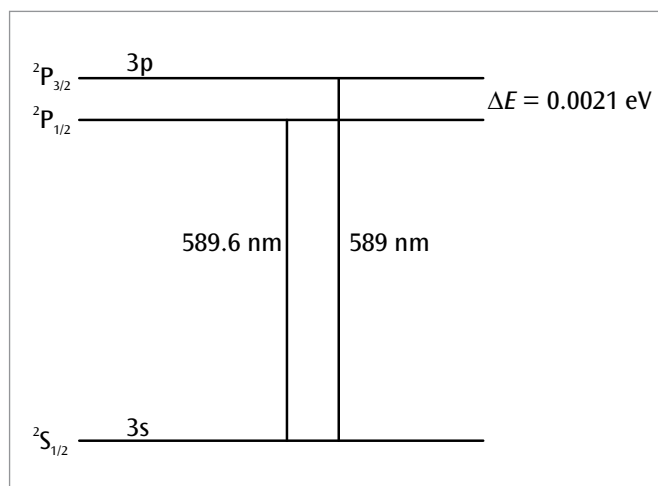


Fig. 1: Schema semplificato dei livelli energetici del sodio

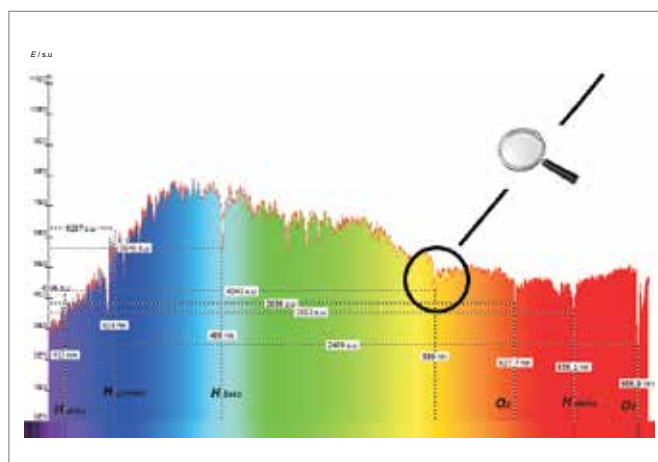


Fig. 2: Linee di assorbimento nello spettro solare

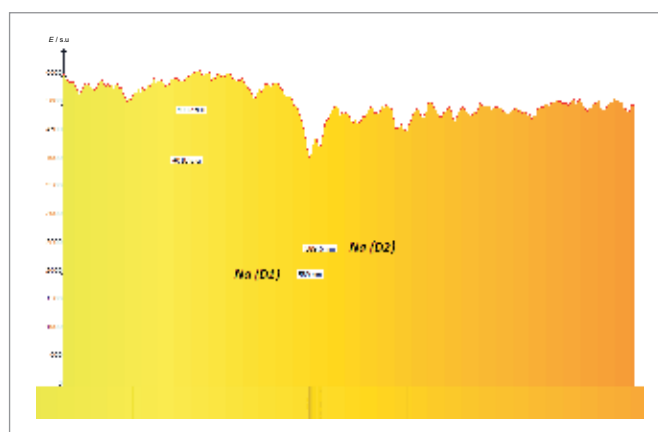


Fig. 3: Linee di assorbimento di sodio nello spettro solare

UE5020300 | ESPERIMENTO DI FRANCK-HERTZ SUL MERCURIO



> FUNZIONI

- Misurazione della corrente del raccogliatore I come funzione della tensione U tra catodo e reticolo.
- Determinazione dell'intervallo ΔU dei livelli massimi o minimi di corrente.
- Confronto dell'intervallo di tensione con l'energia di eccitazione dell'atomo di mercurio.

SCOPO

Registrazione e analisi della curva di Franck-Hertz sul mercurio

RIASSUNTO

Nell'esperimento di Franck-Hertz sul mercurio si osserva l'emissione di energia degli elettroni attraverso urti anelastici durante l'attraversamento del vapore di mercurio. L'emissione di energia avviene gradualmente, in quanto l'urto provoca una transizione nell'atomo di mercurio. L'esperimento fornisce quindi una conferma del modello atomico di Bohr e della quantizzazione dei livelli energetici atomici.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo di Franck-Hertz riempito con mercurio e dotato di forno (230 V, 50/60 Hz)	1006795 o
	Tubo di Franck-Hertz riempito con mercurio e dotato di forno (115 V, 50/60 Hz)	1006794
1	Apparecchio per l'esperimento di Franck-Hertz (230 V, 50/60 Hz)	1012819 o
	Apparecchio per l'esperimento di Franck-Hertz (115 V, 50/60 Hz)	1012818
1	Oscilloscopio analogico, 2x30 MHz	1002727
1	Multimetro digitale P3340	1002785
1	Cavo ad alta frequenza	1002746
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Nel 1914 James Franck e Gustav Hertz riportarono che gli elettroni cedono gradualmente la loro energia durante l'attraversamento del vapore di mercurio e contemporaneamente si osserva l'emissione della linea ultravioletta ($\lambda = 254 \text{ nm}$) del mercurio. Alcuni mesi dopo, Niels Bohr trovò una prova del modello atomico da egli sviluppato. L'esperimento di Franck-Hertz sul mercurio è quindi un esperimento classico per la conferma della teoria quantica.

In un tubo di vetro evacuato sono disposti uno dietro l'altro un catodo riscaldato C, un reticolo G e un elettrodo del raccogliitore A (vedi fig. 1). Dal catodo escono elettroni che vengono accelerati da una tensione U verso il reticolo. Attraverso il reticolo, gli elettroni raggiungono il raccogliitore e contribuiscono alla corrente del raccogliitore I , se la loro energia cinetica è sufficiente per il superamento della forza controelettromotrice U_{GA} tra reticolo e raccogliitore. Inoltre, nel tubo di vetro si trova una goccia di mercurio che viene riscaldata a una tensione di vapore di circa 15 hPa.

Con la tensione U aumenta in primo luogo anche la corrente del raccogliitore I , in quanto sempre più elettroni vengono catturati dal campo elettrico crescente derivante dalla nuvola di carica spaziale intorno al catodo.

Ad un determinato valore $U = U_1$, gli elettroni raggiungono tuttavia, poco prima del reticolo, un'energia cinetica sufficiente ad emettere l'energia per eccitare un atomo di mercurio attraverso un urto anelastico. La corrente del raccogliitore diminuisce fino a quasi zero, in quanto dopo un urto gli elettroni non sono più in grado di superare la forza controelettromotrice verso il raccogliitore.

Con l'ulteriore incremento della tensione, gli elettroni raggiungono l'energia necessaria per l'eccitazione per urto di un atomo di mercurio sempre prima del reticolo. Dopo l'urto, vengono di nuovo accelerati e ricevono energia cinetica sufficiente per arrivare al raccogliitore. La corrente del raccogliitore aumenta quindi di nuovo.

In caso di tensione ancora maggiore $U = U_2$, dopo il primo urto gli elettrodi assorbono una seconda volta l'energia per poter eccitare un secondo atomo di mercurio. La corrente del raccogliitore diminuisce anch'essa drasticamente a questa tensione per riaumentare con l'incremento della tensione, fino a quando torna infine a diminuire drasticamente per una terza volta e altre volte in caso di tensioni ancora maggiori.

NOTA

Il primo valore di tensione U_1 non si trova a 4,9 V, ma è sfalsato della cosiddetta tensione di contatto tra catodo e reticolo.

ANALISI

Le tensioni U_1, U_2, U_3, \dots , a cui la corrente diminuisce drasticamente nella caratteristica misurata $I(U)$ presentano l'intervallo costante $\Delta U = 4,9 \text{ V}$. Questo intervallo corrisponde all'energia di eccitazione $E_{Hg} = 4,9 \text{ eV}$ ($\lambda = 254 \text{ nm}$) degli atomi di mercurio rispetto allo stato di base 1S_0 nel primo stato 3P_1 . Ossia:

$$(1) \quad E_{Hg} = e \cdot \Delta U$$

e: Carica fondamentale

Il risultato di misurazione è quindi da ricondursi all'assorbimento di energia discreto degli atomi di mercurio in caso di urto anelastico e quindi all'emissione connessa di una quantità di energia fissa da parte degli elettroni.

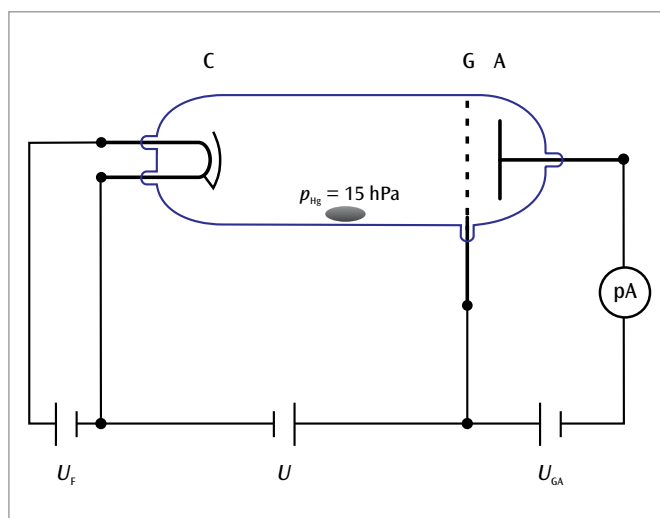


Fig. 1: Struttura schematica per la registrazione della curva di Franck-Hertz sul mercurio

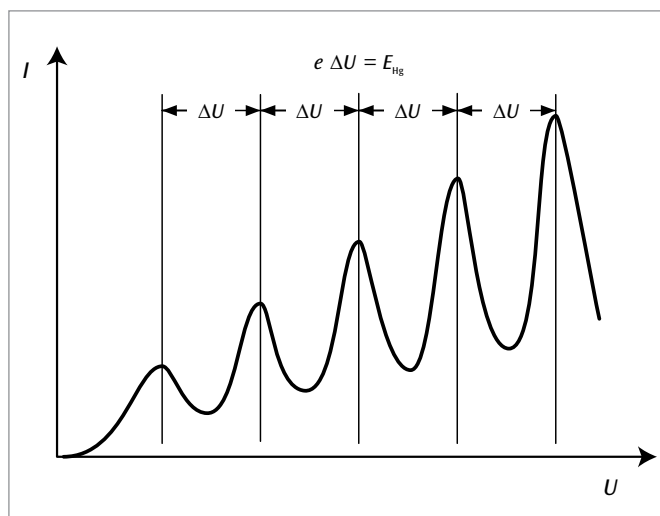


Fig. 2: Corrente del raccogliitore I a seconda della tensione di accelerazione U

UE5020400

ESPERIMENTO DI FRANCK-HERTZ SUL NEON



> FUNZIONI

- Misurazione della corrente del raccoglitore I come funzione della tensione U tra catodo e reticolo.
- Confronto della posizione dei livelli massimi di corrente con le energie di eccitazione degli atomi di neon.
- Osservazione della luce emessa dagli atomi di neon eccitati.
- Determinazione del numero di strati luminosi per diverse tensioni di accelerazione.

SCOPO

Registrazione e analisi della curva di Franck-Hertz sul neon e osservazione dell'emissione luminosa

RIASSUNTO

Nell'esperimento di Franck-Hertz sul neon si osserva l'emissione di energia degli elettroni attraverso un urto anelastico durante l'attraversamento del gas neon. L'emissione di energia avviene solo in certi casi, in quanto gli urti provocano transizioni caratteristiche negli atomi di neon. Gli atomi eccitati emettono luce nel campo visibile.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo di Franck-Hertz riempito con neon	1000912
1	Apparecchio per l'esperimento di Franck-Hertz (230 V, 50/60 Hz)	1012819 o
	Apparecchio per l'esperimento di Franck-Hertz (115 V, 50/60 Hz)	1012818
1	Oscilloscopio digitale 2x30 MHz	1020910
1	Multimetro digitale P3340	1002785
1	Cavo ad alta frequenza	1002746
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

Nell'esperimento di Franck-Hertz sul neon, gli atomi di neon vengono eccitati da un urto anelastico degli elettroni. Gli atomi eccitati emettono luce visibile che può essere osservata direttamente. È possibile riconoscere zone a elevata densità luminosa o di eccitazione, la cui posizione tra catodo e reticolo dipende dalla differenza di tensione tra i due.

In un tubo di vetro evacuato e riempito con gas neon ad una pressione del gas di 10 hPa sono disposti uno dietro l'altro un catodo riscaldato C, un reticolo di controllo S, un reticolo G e un elettrodo del raccoglitore A (vedi fig. 1). Dal catodo escono elettroni che vengono accelerati da una tensione U verso il reticolo. Attraverso il reticolo, gli elettroni raggiungono il raccoglitore e contribuiscono alla corrente del raccoglitore I , se la loro energia cinetica è sufficiente per il superamento della forza controelettromotrice U_{GA} tra reticolo e raccoglitore. La curva $I(U)$ (vedi

fig. 2) presenta un modello simile all'esperimento di Franck-Hertz sul mercurio in intervalli di tensione di circa 19 V. Ciò significa che ad un determinato valore $U = U_1$ la corrente del raccogliatore diminuisce quasi fino a zero, in quanto gli elettroni poco prima del reticolo raggiungono energia cinetica sufficiente per emettere l'energia necessaria per l'eccitazione di un atomo di neon attraverso l'urto anelastico. Contemporaneamente, in prossimità del reticolo si osserva una luce di un rosso aranciato, in quanto una delle transizioni degli atomi di neon in emissione emette luce di questo colore. La zona luminosa si sposta verso il catodo con l'incremento della tensione U e contemporaneamente la corrente del raccogliatore I aumenta di nuovo. In caso di tensione ancora maggiore $U = U_2$ la corrente del raccogliatore diminuisce anch'essa drasticamente e si osservano due zone luminose: una al centro tra catodo e reticolo e una direttamente sul reticolo. Qui, dopo il primo urto, gli elettroni possono riassorbire energia una seconda volta in modo da poter eccitare un secondo atomo di neon.

Con l'ulteriore aumento delle tensioni si osservano infine ulteriori diminuzioni della corrente del raccogliatore e ulteriori strati luminosi.

NOTA

Il primo livello minimo non si trova a 19 V, ma è sfalsato della cosiddetta tensione di contatto tra catodo e reticolo. Le linee spettrali emesse possono essere osservate e misurate senza problemi con lo spettroscopio (1003184) utilizzando la tensione massima U .

ANALISI

La caratteristica $I(U)$ presenta più livelli massimi e minimi: l'intervallo dei livelli minimi ammonta a circa $\Delta U = 19$ V. Questo corrisponde alle energie di eccitazione dei livelli 3p nell'atomo di neon (vedi fig. 3) che vengono eccitati con elevata probabilità. L'eccitazione dei livelli 3s non può essere completamente trascurata e comporta una sottostruttura nella caratteristica $I(U)$. Le zone luminose sono zone a elevata densità di eccitazione e corrispondono alle diminuzioni di corrente nella caratteristica $I(U)$. Viene generato di volta in volta uno strato luminoso supplementare se si aumenta U di ca. 19 V.

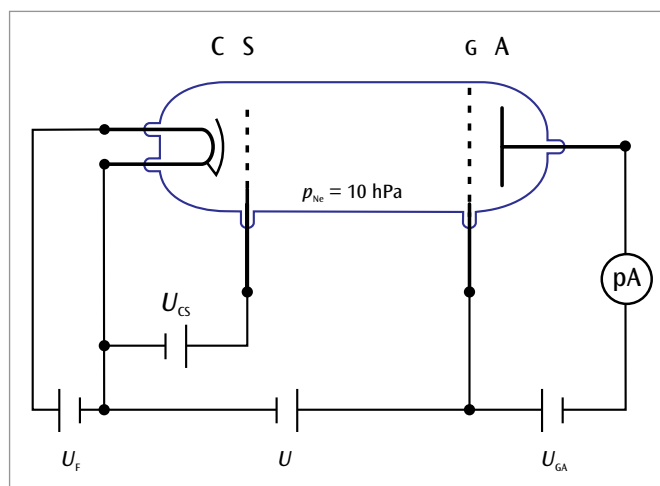


Fig. 1: Struttura schematica per la registrazione della curva di Franck-Hertz sul neon

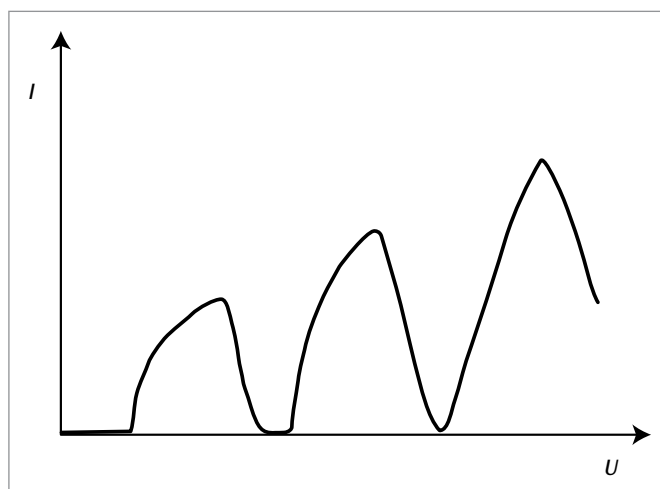


Fig. 2: Corrente del raccogliatore I a seconda della tensione di accelerazione U

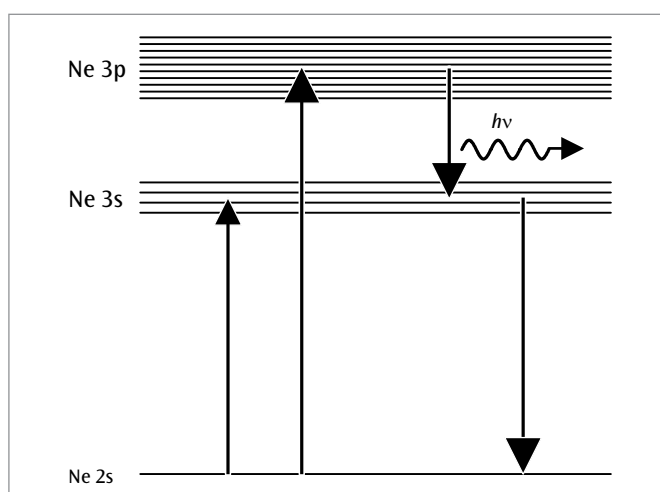
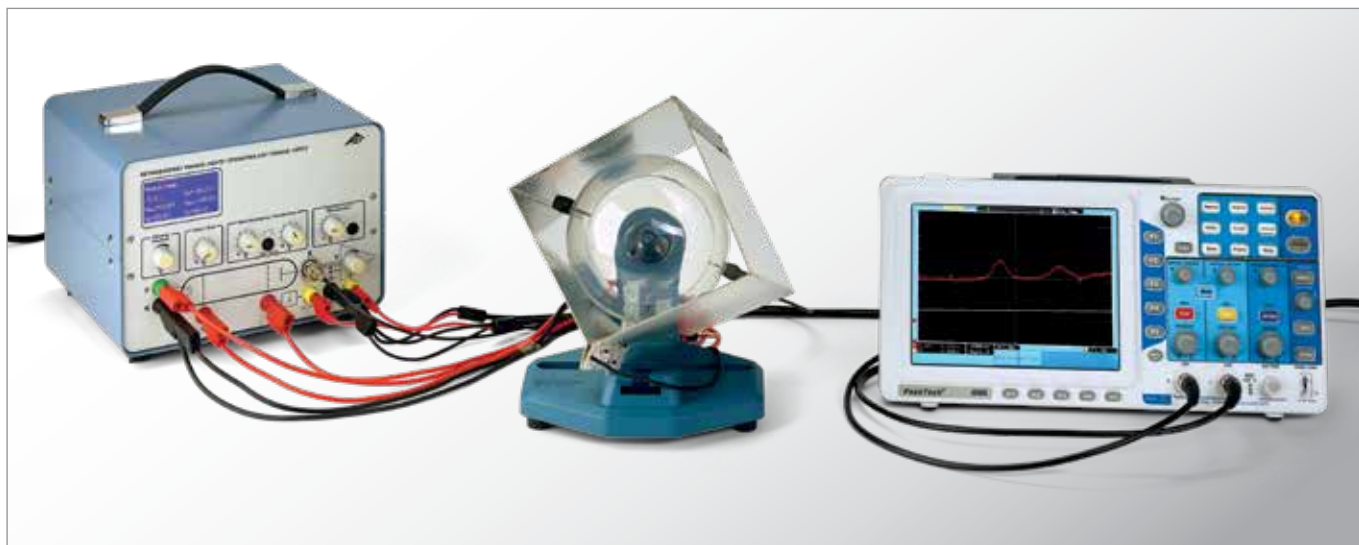


Fig. 3: Diagramma energetico degli atomi di neon

UE5020500 | POTENZIALI CRITICI



> FUNZIONI

- Misurazione della corrente del collettore I_R in funzione della tensione di accelerazione U_A .
- Confronto della posizione dei livelli massimi di corrente con i potenziali critici dell'atomo di elio.
- Identificazione della struttura doppia nello schema dei livelli energetici dell'elio (ortoelio e paraelio).

SCOPO

Determinazione dei potenziali critici dell'atomo di elio

RIASSUNTO

I potenziali critici indicano tutte le energie di eccitazione e ionizzazione presenti nel guscio elettronico di un atomo. I relativi stati vengono eccitati ad esempio da un urto anelastico di elettroni. Se l'energia cinetica dell'elettrone corrisponde ad un potenziale critico, l'elettrone perde completamente la sua energia cinetica nell'urto anelastico. Questo fenomeno viene utilizzato in un esperimento per la determinazione dei potenziali critici attribuito a G. Hertz.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Tubo per potenziale critico S con pieno di He	1022131
1	Portatubo S	1014525
1	Apparecchio per l'esperimento di Franck-Hertz (230 V, 50/60 Hz)	1012819 o
	Apparecchio per l'esperimento di Franck-Hertz (115 V, 50/60 Hz)	1012818
1	Oscilloscopio digitale 2x30 MHz	1020910
2	Cavo ad alta frequenza, connettore 4 mm / BNC	1002748
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

BASI GENERALI

La denominazione “potenziali critici” comprende tutte le energie di eccitazione e ionizzazione presenti nel guscio elettronico di un atomo. I relativi stati atomici possono essere eccitati ad esempio da un urto anelastico di elettroni. Se l'energia cinetica dell'elettrone corrisponde esattamente ad un potenziale critico, l'elettrone cede completamente all'atomo la sua energia cinetica nell'urto anelastico. Questo fenomeno può essere utilizzato in un esperimento per la determinazione dei potenziali critici attribuito a G. Hertz.

In un tubo sotto vuoto riempito con elio dopo il passaggio di una tensione di accelerazione U_A gli elettroni liberi si muovono in modo divergente attraverso uno spazio con potenziale costante. Per evitare cariche nella parete del tubo, la parte interna è rivestita con un materiale conduttivo e collegata elettricamente all'anodo A (vedi fig. 1). Nel tubo è disposto un elettrodo collettore a forma di anello R, che non viene colpito dal fascio di elettroni divergenti, sebbene presenti un potenziale leggermente superiore.

Viene misurata la corrente I_R all'anello collettore, compresa nel range dei picoampere, in funzione della tensione di accelerazione U_A . La corrente presenta livelli massimi caratteristici, in quanto gli elettroni nel loro percorso attraverso il tubo subiscono urti anelastici con gli atomi di elio: se la loro energia cinetica

$$(1) \quad E = e \cdot U_A$$

e : Carica fondamentale

corrisponde esattamente a un potenziale critico dell'atomo di elio, essi cedono l'energia cinetica completamente agli atomi di elio. In questo caso possono essere attratti verso l'anello collettore e contribuire ad una corrente del collettore I_R superiore.

All'aumentare della tensione di accelerazione è possibile eccitare livelli sempre superiori nell'elio, finché infine l'energia cinetica dell'elettrone è sufficiente per la ionizzazione dell'atomo di elio. Da questo valore la corrente del collettore aumenta costantemente all'aumentare della tensione di accelerazione.

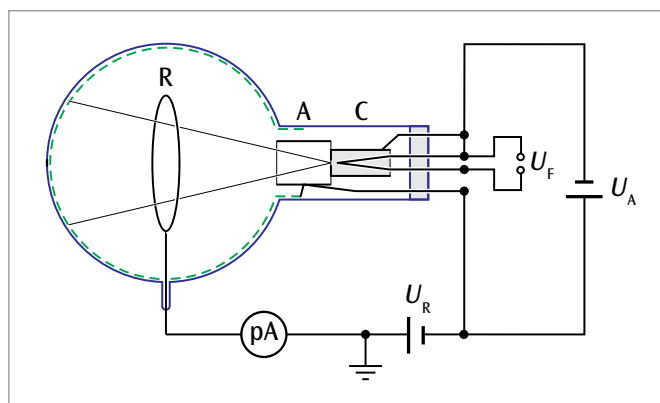


Fig. 1: Rappresentazione schematica del tubo di potenziali critici

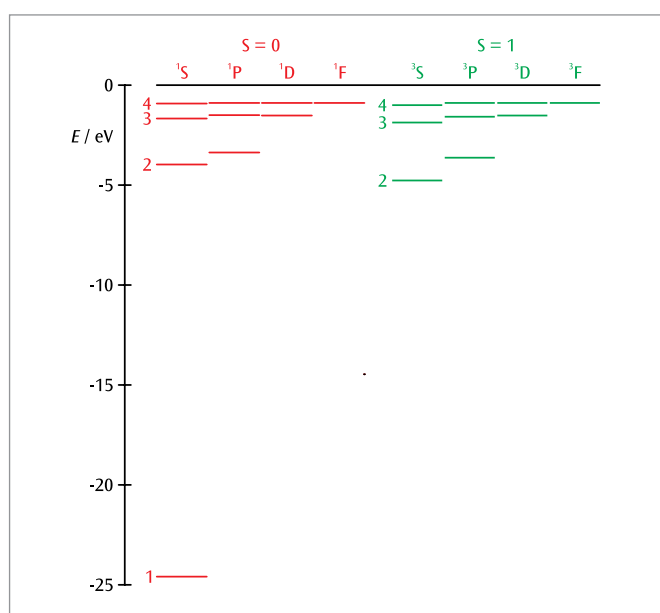


Fig. 2: Schema dei livelli energetici dell'elio

Rosso: spin totale $S = 0$ (paraelio),
verde: spin totale $S = 1$ (ortoelio)

ANALISI

Per l'analisi vengono confrontate le posizioni dei livelli massimi di corrente con i valori della letteratura per le energie di eccitazione e ionizzazione dell'atomo di elio. È necessario considerare che rispetto ai valori della letteratura i livelli massimi sono sfalsati della cosiddetta tensione di contatto tra catodo e anodo.

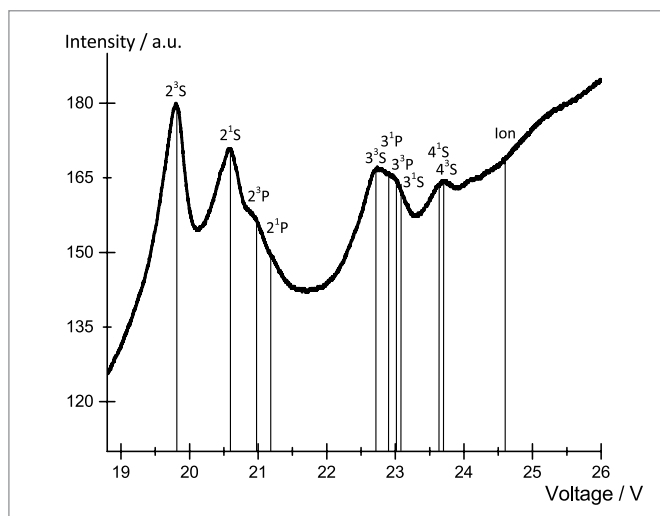


Fig. 3: Corrente del collettore I_R in funzione della tensione di accelerazione U_A . Si prega di notare la divisione del Paraelio 2^1S e le risonanze dell'Ortoelio 2^3P .

UE5020700 | EFFETTO ZEEMAN NORMALE



SCOPO

Observare la scissione in doppietti e tripletti della riga di cadmio rossa in un campo magnetico, a causa dell'effetto Zeeman normale.

RIASSUNTO

Si osserva la scissione delle linee spettrali, in un doppietto (effetto Zeeman longitudinale) o un tripletto (effetto Zeeman trasversale), a causa del cosiddetto effetto Zeeman "normale". A tale scopo, viene posizionata una lampada al cadmio in un campo magnetico e viene utilizzato un interferometro di Fabry-Pérot per analizzare la luce emessa.

Aumentando gradualmente la forza del campo magnetico, è possibile osservare la scissione continua direttamente nel motivo ad anello di interferenza. Inoltre, tale attrezzatura consente ulteriori studi, descritti nel dettaglio nel manuale dell'esperimento. Includono l'investigazione delle proprietà di polarizzazione, la misurazione della variazione di energia effettiva delle linee spettrali e la determinazione del valore del magnetone di Bohr.

PROCEDURA DELL'ESPERIMENTO

- Senza alcun campo magnetico esterno applicato, utilizzare l'interferometro di Fabry-Pérot per osservare gli anelli di interferenza caratteristici della luce emessa dagli atomi di cadmio.
- Attivare il campo e osservare la scissione degli anelli di interferenza nel caratteristico doppietto dell'effetto Zeeman longitudinale.
- Ruotare il magnete comprendente la lampada al cadmio. Studiare l'effetto Zeeman orizzontale osservando la scissione in un tripletto.

ULTERIORI STUDI:

- Investigare la polarizzazione dei componenti di doppietti e tripletti per mezzo di una piastra a un quarto di lunghezza d'onda con strumento polarizzante e filtro di polarizzazione.
- Spettroscopia con un interferometro di Fabry-Pérot: Determinare la scissione energetica in relazione al campo magnetico esterno misurando gli anelli del raggio di interferenza (UE5020700-2).
- Determinare il valore del magnetone di Bohr.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Lampada Cd con accessori (230 V, 50/60 Hz)	1021366 o
	Lampada Cd con accessori (115 V, 50/60 Hz)	1021747
1	Nucleo a U	1000979
2	Bobina D, 900 spire	1012859
1	Accessori elettromagnetici per effetto Zeeman	1021365
1	Alimentatore CC 1-32 V, 0-20 A (230 V, 50/60 Hz)	1012857 o
	Alimentatore DC 1-30V, 1-20A/115V	1022289
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840
1	Etalon Fabry-Pérot	1020903
2	Lente convergente su asta f = 100 mm	1003023
1	Filtro a lunghezza d'onda /4 su asta	1021353
1	Filtro polarizzatore	1021364
1	Filtro di polarizzazione su asta	1008668
1	Banco ottico di precisione D, 1000 mm	1002628
1	Piede ottico D	1009733
5	Cavaliere ottico D, 90/36	1012401
1	Supporto e filtro per Moticam	1021367
1	Videocamera digitale Moticam	1021162

BASI GENERALI

L'effetto Zeeman fa riferimento alla scissione dei livelli di energia atomica o linee spettrali a causa dell'azione di un campo magnetico esterno e prende il nome da **P. Zeeman**, lo scienziato che scoprì il fenomeno nel 1896

L'effetto Zeeman normale si verifica solo in corrispondenza delle transizioni tra stati atomici con spin totale $S = 0$. Quindi il momento angolare totale $J = L + S$ corrisponde al momento angolare orbitale L ; ovvero $J = L$. Genera un momento magnetico

$$(1) \quad \mu = \frac{\mu_B}{\hbar} \cdot J$$

in cui il magnetone di Bohr è dato da

$$(2) \quad \mu_B = -\frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m_e} \cdot \hbar$$

$\hbar = h/2\pi$: costante di Planck ridotta, e : carica elementare, m_e : massa dell'elettrone

In un campo magnetico esterno (Fig. 3)

$$(3) \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ B \end{pmatrix}$$

il momento magnetico ha l'energia

$$(3) \quad E = \boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B} = \mu_z \cdot B$$

A causa della quantizzazione dello spazio, il componente J_z del momento angolare totale parallelo al campo magnetico può avere solo i valori

$$(4) \quad J_z = M_J \cdot \hbar \quad \text{con} \quad M_J = -J, -(J-1), \dots, (J-1), J$$

J: numero quantico del momento angolare totale

In questo caso, il livello di energia del numero quantico del momento angolare totale J si scinde in $2J+1$ componenti equidistanti, che differiscono del numero quantico magnetico M_J (Fig. 2). Con l'eq. (1), ne consegue che

$$(6) \quad \mu_z = \frac{\mu_B}{\hbar} \cdot J_z,$$

mentre secondo l'eq. (3)

$$(7) \quad E = \mu_z \cdot B = \frac{\mu_B}{\hbar} \cdot J_z \cdot B$$

e infine con l'eq. (4):

$$(8) \quad E = \mu_B \cdot M_J \cdot B$$

Pertanto l'intervallo di energia tra livelli adiacenti è:

$$(9) \quad \Delta E = \mu_B \cdot B$$

L'effetto Zeeman normale può essere osservato nella linea spettrale rossa del cadmio. Corrisponde alla transizione $^1D_2 \rightarrow ^1P_1$ con lunghezza d'onda $\lambda = 643,8$ nm (Fig. 2). Secondo l'eq. (4), il livello 1D_2 si scinde in cinque componenti e il livello 1P_1 si scinde in tre componenti, ciascuno con l'intervallo di energia equidistante fornito dall'eq. (9).

Secondo le regole di selezione per la radiazione da dipolo elettrico, le transizioni ammissibili tra questi livelli sono quelle con

$$(10) \quad \Delta M_J = \begin{cases} +1 & \text{(luce polarizzata circolarmente in senso orario, } \sigma^+) \\ 0 & \text{(luce polarizzata linearmente, } \pi) \\ -1 & \text{(luce polarizzata circolarmente in senso antiorario, } \sigma) \end{cases}$$

dove la luce emessa è polarizzata come indicato sopra. Pertanto, osserviamo un totale di tre linee spettrali (Fig. 2): un componente π non variato e, secondo $E = \hbar \cdot \omega$, due componenti σ variati di (11)

$$(11) \quad \Delta\lambda = \pm \frac{\lambda^2}{2\pi \cdot \hbar \cdot c} \cdot \Delta E$$

c: velocità della luce nel vuoto

con lunghezza d'onda corrispondente più lunga o più corta. In un campo magnetico di induzione magnetica $B = 1$ T, l'applicazione delle eq. (9) e (2) all'eq. (11) determina una variazione di soli $|\Delta\lambda| = 0,02$ nm. La distribuzione spaziale della luce emessa è diversa per il componente π e i due componenti σ . In termini classici, il caso $\Delta M_J = 0$ corrisponde a un dipolo hertziano che oscilla parallelamente al campo magnetico. Di conseguenza, la luce polarizzata linearmente viene emessa perpendicolarmente al campo magnetico e nessuna luce viene emessa parallelamente al campo magnetico (Fig. 3). I casi $\Delta M_J = \pm 1$ corrispondono a due dipoli che oscillano perpendicolarmente tra loro con una differenza di fase di 90° . Di conseguenza, la luce è emessa sia parallelamente, sia perpendicolarmente alla direzione del campo magnetico. Tale luce è polarizzata circolarmente, in senso parallelo alla direzione del campo magnetico, ovvero polarizzata circolarmente in senso antiorario per $\Delta M_J = -1$ e polarizzata circolarmente in senso orario per $\Delta M_J = +1$.

ANALISI

Nell'esperimento, la scissione viene osservata utilizzando una videocamera digitale montata su un interferometro di Fabry-Pérot e ottica per immaginografia. L'interferometro di Fabry-Pérot è progettato per soddisfare la condizione di risonanza per la lunghezza d'onda specifica di 643,8 nm della riga di Cd rossa. Passando attraverso l'interferometro di Fabry-Pérot, la luce della lampada al cadmio crea anelli di interferenza che si scindono come le linee spettrali in base al campo magnetico esterno e vengono registrati dall'ottica del sensore della videocamera. Gli elettromagneti possono essere ruotati sui rispettivi assi per permettere l'osservazione parallela o perpendicolare al campo magnetico esterno.

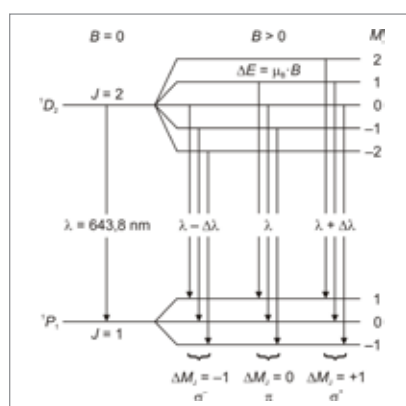


Fig. 1: Effetto Zeeman normale nella linea spettrale rossa del cadmio. Scissione dei livelli di energia e delle transizioni ammesse secondo le regole di selezione per la radiazione da dipolo elettrico



Fig. 2: Nessun campo magnetico esterno: Osservazione degli anelli di interferenza della riga di cadmio rossa creata dall'interferometro di Fabry-Pérot. Come supporto di orientamento, il secondo anello di interferenza dal centro è indicato con un riquadro.



Fig.3.: Effetto Zeeman longitudinale: Osservazione della scissione in doppietti della riga di cadmio rossa in un campo magnetico esterno.



Fig.4: Effetto Zeeman orizzontale: Osservazione della scissione in triplette della riga di cadmio rossa in un campo magnetico esterno.

UE5030100 | RISONANZA DI SPIN ELETTRONICO



> FUNZIONI

- Osservazione della curva di risonanza del DPPH.
- Determinazione della frequenza di risonanza in funzione del campo magnetico.
- Determinazione del fattore di Landé dell'elettrone libero.

SCOPO

Dimostrazione della risonanza di spin elettronico su DPPH

RIASSUNTO

La risonanza di spin elettronico (ESR) si fonda sull'assorbimento di energia da parte di sostanze con elettroni spaiati, immerse in un campo magnetico continuo esterno. L'energia viene fornita da un campo alternato ad alta frequenza diretto perpendicolarmente al campo continuo. Se la frequenza del campo alternato coincide con la frequenza di risonanza, l'impedenza della bobina di trasmissione riempita con la sostanza varia in maniera risonante e sull'oscilloscopio è osservabile una deviazione. Una sostanza adatta a questo scopo è il difenil-picril-idrazile (DPPH).

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Kit di base per ESR/NMR (230 V, 50/60 Hz)	1000638 o
	Kit di base per ESR/NMR (115 V, 50/60 Hz)	1000637
1	Kit aggiuntivo ESR	1000640
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857

BASI GENERALI

La risonanza a di spin elettronico (ESR) si fonda sull'assorbimento di energia da parte di sostanze con elettroni spaiati, immerse in un campo magnetico continuo esterno. L'energia viene fornita da un campo alternato ad alta frequenza diretto perpendicolarmente al campo continuo. Se la frequenza del campo alternato coincide con la frequenza di risonanza, l'impedenza della bobina di trasmissione riempita con la sostanza varia in maniera risonante e sull'oscilloscopio è osservabile una deviazione. La causa dell'assorbimento di risonanza è il „ribaltamento“ del momento magnetico dell'elettrone libero. La frequenza di risonanza dipende dall'intensità del campo continuo, la larghezza del segnale di risonanza dalla sua omogeneità.

Il momento magnetico di un elettrone, derivante puramente dallo spin, assume nel campo magnetico B gli stati discreti

$$(1) \quad E_m = -g_j \cdot \mu_B \cdot m \cdot B, \quad m = -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$$

$$\mu_B = 9,274 \cdot 10^{-24} \frac{\text{J}}{\text{T}} : \text{Magnetone di Bohr}$$

$$g_j = 2,0023: \text{Fattore di Landé.}$$

La distanza tra i due livelli ammonta pertanto a

$$(2) \quad \Delta E = g_j \cdot \mu_B \cdot B$$

La risonanza è raggiunta esattamente nel momento in cui la frequenza f del campo alternato applicato soddisfa la condizione

$$(3) \quad h \cdot f = \Delta E$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} : \text{Costante di Planck.}$$

L'esperimento dimostra la risonanza a di spin elettronico su difenilpicrilil-idrazile (DPPH), un composto organico le cui molecole presentano un elettrone spaiato. Il campo magnetico continuo viene generato da una coppia di bobine di Helmholtz e varia a dente di sega fra lo zero e il valore massimo $B_{\text{max}} = 3,5 \text{ mT}$. Si cerca ora la frequenza f a cui si ha assorbimento di in funzione del campo magnetico variabile.

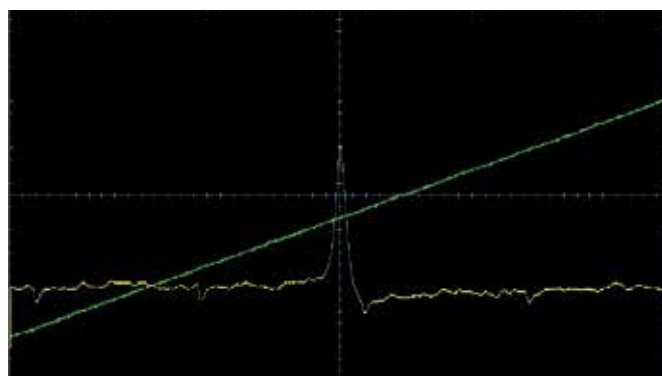


Fig. 1: Segnale di assorbimento e andamento cronologico del campo magnetico nella risonanza a di spin elettronico su DPPH

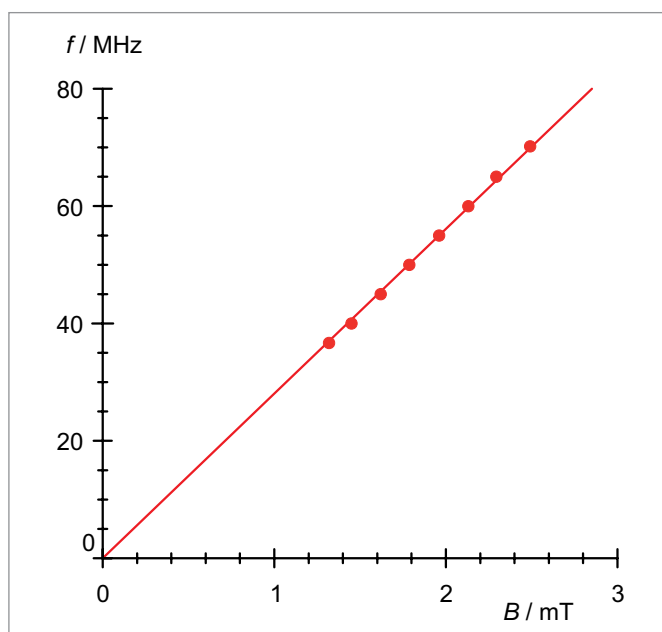


Fig. 2: Frequenza di risonanza f in funzione del campo magnetico B

ANALISI

Da (2) e (3) si evince la seguente correlazione tra la frequenza di risonanza f e il campo magnetico B .

$$f = g_j \cdot \frac{\mu_B}{h} \cdot B$$

I valori misurati si trovano, nei limiti della precisione della misura, su una retta passante per l'origine la cui pendenza permette di determinare il fattore di Landé.

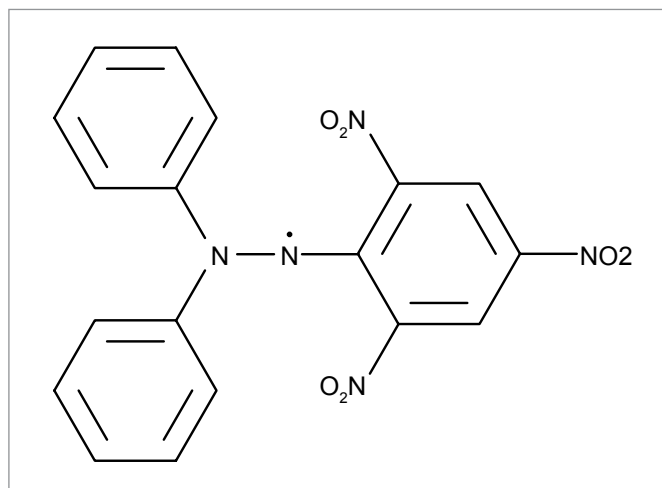
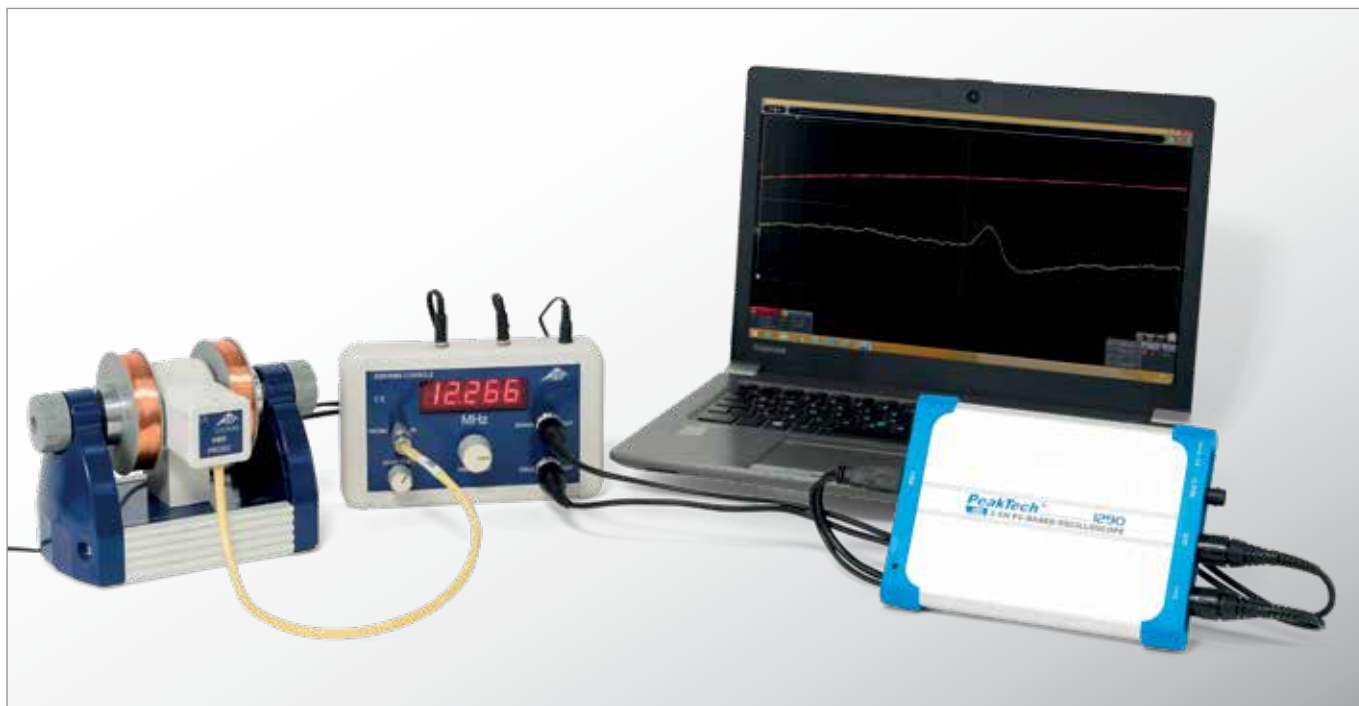


Fig. 3: Struttura molecolare DPPH

UE5030200

RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE



> FUNZIONI

- Dimostrazione della risonanza magnetica nucleare su glicerina, polistirolo e teflon.
- Determinazione delle frequenze di risonanza con campo magnetico fisso.
- Confronto con i fattori g di nuclei ^1H e ^{19}F .

SCOPO

Dimostrazione e confronto della risonanza magnetica nucleare su glicerina, polistirolo e teflon

RIASSUNTO

La risonanza magnetica nucleare (NMR) si fonda sull'assorbimento di energia da parte di sostanze con nuclei dotati di momento magnetico, immerse in un campo magnetico continuo esterno. L'energia viene fornita da un campo alternato ad alta frequenza diretto perpendicolarmente al campo continuo. Se la frequenza del campo alternato coincide con la frequenza di risonanza, l'impedenza della bobina di trasmissione riempita con la sostanza varia in maniera risonante e sull'oscilloscopio è osservabile una deviazione. Sostanze adatte a questo scopo sono la glicerina, il polistirolo e il teflon, in cui si utilizza il momento magnetico del nucleo ^1H o ^{19}F .

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Kit di base per ESR/NMR (230 V, 50/60 Hz)	1000638 o
	Kit di base per ESR/NMR (115 V, 50/60 Hz)	1000637
1	Kit aggiuntivo NMR	1000642
1	Oscilloscopio PC 2x25 MHz	1020857

BASI GENERALI

La risonanza magnetica nucleare (NMR) si fonda sull'assorbimento di energia da parte di sostanze con nuclei dotati di momento magnetico, immerse in un campo magnetico continuo esterno. L'energia viene fornita da un campo alternato ad alta frequenza diretto perpendicolarmente al campo continuo. Se la frequenza del campo alternato coincide con la frequenza di risonanza, l'impedenza della bobina di trasmissione riempita con la sostanza varia in maniera risonante e sull'oscilloscopio è osservabile una deviazione. La causa dell'assorbimento di risonanza è il passaggio fra uno stato energetico e l'altro del momento magnetico

del nucleo nel campo magnetico. La frequenza di risonanza dipende dall'intensità del campo continuo, mentre la larghezza del segnale di risonanza dipende dalla sua omogeneità.

Il momento magnetico di un nucleo con spin nucleare I assume nel campo magnetico B gli stati discreti

$$(1) \quad E_m = -g_i \cdot \mu_k \cdot m \cdot B, \quad m = -I, -I+1, \dots, I$$

$$\mu_k = 5,051 \cdot 10^{-27} \frac{\text{J}}{\text{T}} : \text{Magnetone nucleare}$$

g_i : Fattore g del nucleo atomico.

La distanza tra i due livelli ammonta pertanto a

$$(2) \quad \Delta E = g_i \cdot \mu_k \cdot B$$

Quando gli stati energetici soddisfano la condizione di risonanza, un campo magnetico con frequenza f disposto perpendicolarmente al campo magnetico eccita i passaggi fra stati energetici vicini. La risonanza è raggiunta esattamente nel momento in cui la frequenza f del campo alternato applicato soddisfa la condizione

$$(3) \quad h \cdot f = \Delta E$$

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js.: Costante di Planck.

Con l'esperimento si dimostra la risonanza magnetica nucleare di glicerina, polistirolo e teflon derivante per la glicerina e il polistirolo dalla presenza dell'isotopo ^1H e per il teflon dalla presenza dell'isotopo ^{19}F . Il campo magnetico continuo viene per la maggior parte generato con un magnete permanente; a ciò si aggiunge il campo magnetico di una coppia di bobine di Helmholtz con andamento a dente di sega fra lo zero e il valore massimo. Si cerca ora la frequenza f a cui si ha assorbimento di risonanza in un campo magnetico stabilito corrispondente, per semplificare, al centro del dente di sega.

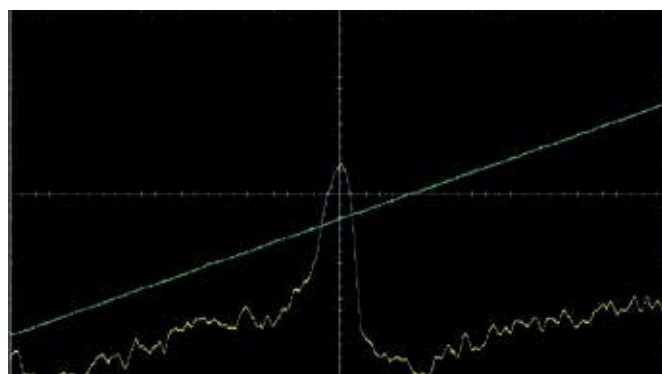


Fig. 1: Risonanza magnetica nucleare della glicerina ($f = 12,854$ MHz)

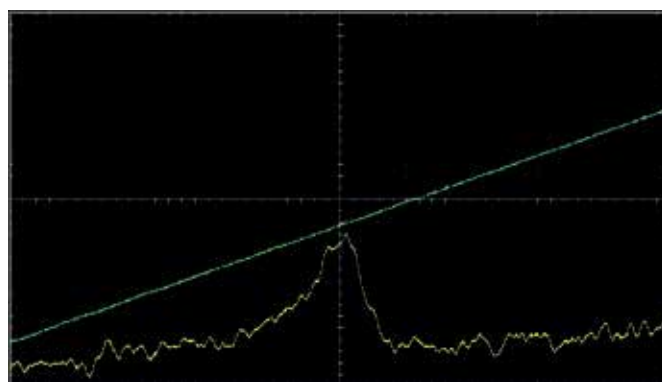


Fig. 2: Risonanza magnetica nucleare del polistirolo ($f = 12,854$ MHz)

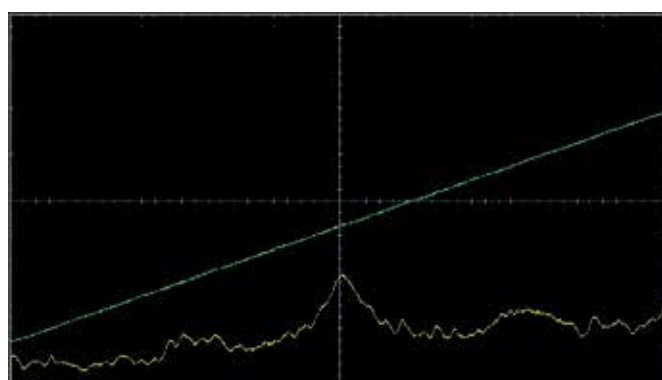


Fig. 3: Risonanza magnetica nucleare del teflon ($f = 12,1$ MHz)

ANALISI

Il fattore g dei nuclei coinvolti ammonta secondo la letteratura a: $g_i(^1\text{H}) = 5,5869$ e $g_i(^{19}\text{F}) = 5,255$.

Da (2) e (3) si evince la frequenza di risonanza f in un campo magnetico B .

$$f = g_i \cdot \frac{\mu_k}{h} \cdot B$$

Le frequenze di risonanza per diversi nuclei nello stesso campo magnetico stanno pertanto nel medesimo rapporto dei fattori g :

$$\frac{f(^{19}\text{F})}{f(^1\text{H})} = \frac{g_i(^{19}\text{F})}{g_i(^1\text{H})} = 94\%$$

UE6020100 | CONDUZIONE ELETTRICA NEI SEMICONDUTTORI



> FUNZIONI

- Misurazione della conducibilità elettrica del germanio non drogato in funzione della temperatura.
- Determinazione della banda proibita fra banda di valenza e banda di conduzione.

NOTA

Nella realtà, la conducibilità intrinseca dei semiconduttori non drogati ha un ruolo secondario. Di norma, i cristalli presentano impurità. Spesso anche cristalli molto puri vengono resi conduttivi grazie al drogaggio con atomi donatori o accettori. L'influsso di questo drogaggio risulta evidente quando le analisi qui rappresentate vengono eseguite per il confronto anche su germanio drogato p e drogato n. La conducibilità dei cristalli drogati è notevolmente più alta a temperatura ambiente rispetto a quella del cristallo puro, ma a temperature elevate si avvicina alla conducibilità intrinseca, vedere Fig. 4. La dipendenza dalla temperatura del coefficiente di Hall dei cristalli di germanio utilizzati viene analizzata più in dettaglio nell'esperimento UE6020200.

SCOPO

Determinazione della banda proibita del germanio

RIASSUNTO

I semiconduttori mostrano una conducibilità elettrica misurabile solo a temperature non troppo basse. La causa di tale dipendenza dalla temperatura è la struttura a bande formata dai livelli energetici degli elettroni, con una banda di valenza e una banda di conduzione e, nel caso di un semiconduttore non drogato, una zona intermedia che non può essere occupata da elettroni. Aumentando la temperatura, sempre più elettroni vengono attivati termicamente e passano dalla banda di valenza a quella di conduzione

lasciando nella prima delle "buche" o lacune. Queste lacune si muovono sotto l'influsso di un campo elettrico come se fossero particelle cariche positivamente e contribuiscono così come gli elettroni alla densità di corrente. Per la determinazione della conducibilità nel germanio puro non drogato, nell'esperimento viene inviata una corrente costante attraverso il cristallo e misurata la caduta di tensione corrispondente in funzione della temperatura. I dati misurati possono in buona approssimazione essere descritti con una funzione esponenziale in cui la banda proibita compare come parametro.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Ge non drogato su circuito stampato	1008522
1	Apparecchio di base per effetto Hall	1009934
1	Piede a barilotto, 1000 g	1002834
1	Trasformatore con raddrizzatore 3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1003316 o
	Trasformatore con raddrizzatore 3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1003315
1	Multimetro digitale P3340	1002785
1	Coppia di cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002849
1	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718
Ulteriormente consigliato:		
1	P-Ge su circuito stampato	1009810
1	N-Ge su circuito stampato	1009760
1	VinciLab	1021477
3	Cavo del sensore	1021514
1	Sensore di tensione 500 mV, differenziale	1021681
2	Sensore di tensione 10 V, differenziale	1022539
1	Coach 7 Licenza	

BASI GENERALI

La conducibilità elettrica è una grandezza fortemente dipendente dal materiale. Si usa quindi classificare i materiali in base alla loro conducibilità elettrica. Per semiconduttore s'intende un corpo solido che mostra una conducibilità elettrica misurabile solamente oltre una certa temperatura. La causa di tale dipendenza dalla temperatura è la struttura a bande formata dai livelli energetici degli elettroni, con una banda di valenza e una banda di conduzione e, nel caso di un semiconduttore non drogato, una zona intermedia che non può essere occupata da elettroni.

In linea di principio, la banda di valenza è la banda maggiormente occupata dagli elettroni e la banda di conduzione quella più prossima non occupata. Il gap fra le due bande si chiama banda proibita E_g ed è una grandezza che dipende dal materiale. Nel caso del germanio, essa ammonta a circa 0,7 eV. Aumentando la temperatura, sempre più elettroni vengono attivati

termicamente e passano dalla banda di valenza a quella di conduzione lasciando nella prima delle "buche". Queste buche – dette anche lacune o vacanze elettroniche – si muovono sotto l'influsso di un campo elettrico E come particelle cariche positivamente e contribuiscono così come gli elettroni alla densità di corrente

$$(1) \quad j = \sigma \cdot E$$

σ : Conduttività elettrica del materiale semiconduttore (vedi Fig.1). Gli elettroni e le lacune si muovono con velocità medie di deriva differenti

$$(2) \quad v_n = -\mu_n \cdot E \quad \text{e} \quad v_p = \mu_p \cdot E$$

μ_n : Mobilità degli elettroni

μ_p : Mobilità delle lacune elettroniche

La conduzione elettrica, resa possibile tramite l'eccitazione di elettroni dalla banda di valenza a quella di conduzione, viene chiamata conduzione intrinseca.

Il numero degli elettroni nella banda di conduzione corrisponde all'equilibrio termico al numero delle lacune elettroniche nella banda di valenza. La densità di corrente in conduzione intrinseca è quindi definibile come

$$(3) \quad j_i = -e \cdot n_i \cdot v_n + e \cdot n_i \cdot v_p = e \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p) \cdot E$$

vale a dire che la conduttività intrinseca è

$$(4) \quad \sigma_i = e \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p)$$

mentre la dipendenza dalla temperatura della densità dei portatori di carica n_i ovvero degli elettroni e delle lacune elettroniche è data da

$$(5) \quad n_i = 2 \cdot \left(\frac{2\pi}{h^2} \cdot \sqrt{m_n m_p} \cdot kT \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

$$k = 8,617 \cdot 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{K}} : \text{Costante di Boltzmann,}$$

h : Costante di Planck

m_n : Massa efficace degli elettroni

m_p : Massa efficace delle lacune elettroniche

T : Temperatura campione

Anche le mobilità μ_n e μ_p dipendono dalla temperatura. Nel range di temperature al di sopra della temperatura ambiente è vale

$$(6) \quad \mu \sim T^{-\frac{3}{2}}$$

Il termine dominante della dipendenza dalla temperatura della conduttività è tuttavia dato dalla funzione esponenziale. Pertanto, la conduttività intrinseca per temperature più elevate è rappresentabile nella forma

$$(7) \quad \sigma_i = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

Per la determinazione della conduttività nel germanio puro non drogato, nell'esperimento viene inviata una corrente costante I attraverso il cristallo e misurata la caduta di tensione corrispondente U . Dai dati misurati, in base alle correlazioni

$$(8) \quad U = a \cdot E \quad \text{o} \quad I = b \cdot c \cdot j$$

a, b, c Dimensioni del cristallo,

è possibile calcolare la conduttività σ :

$$(9) \quad \sigma = \frac{I}{U} \cdot \frac{a}{b \cdot c}$$

ANALISI

L'equazione (7) può essere riscritta nella forma:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - E_g \cdot \frac{1}{2kT}$$

Si rappresenta quindi graficamente $y = \ln \sigma$ rapportato a

$x = \frac{1}{2kT}$ e si determina la banda proibita E_g in base alla pendenza delle rette risultanti.

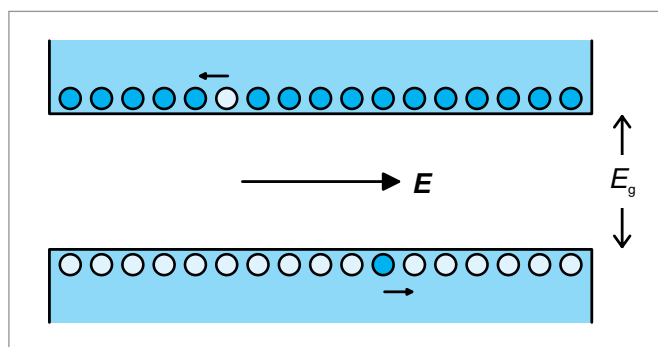


Fig. 1: Struttura di banda del semiconduttore con un elettrone nella banda di conduzione e una lacuna elettronica nella banda di valenza, che evidenziano una deriva sotto l'influsso di un campo elettrico E

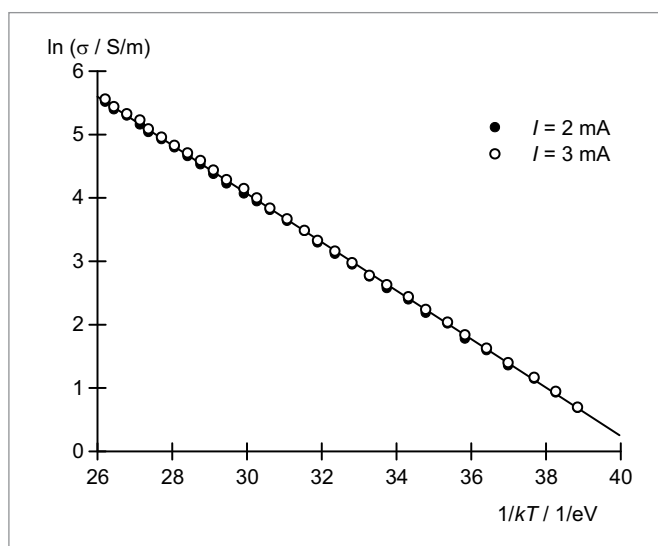


Fig. 2: Rappresentazione per la determinazione della banda proibita E_g nel germanio

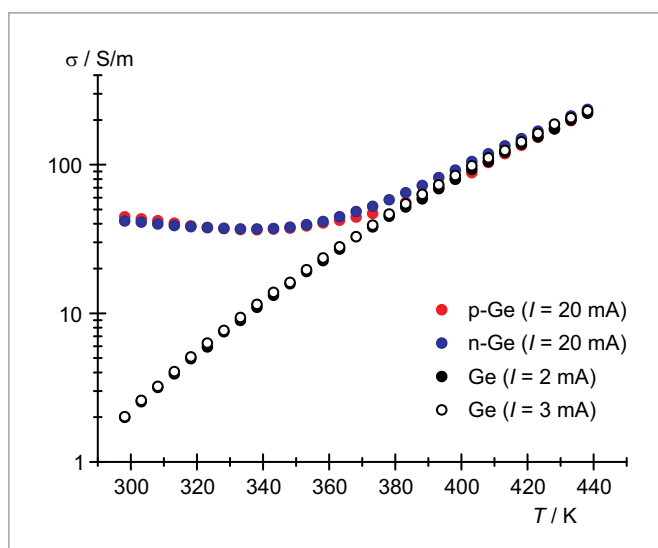


Fig. 3: Confronto delle conduttività di germanio puro e drogato

UE6020200

EFFETTO HALL NEI SEMICONDUTTORI



> FUNZIONI

- Dimostrazione dell'effetto Hall nel germanio drogato.
- Misurazione della tensione di Hall in funzione di corrente e campo magnetico a temperatura ambiente.
- Determinazione del segno, della densità e della mobilità dei portatori di carica a temperatura ambiente.
- Misurazione della tensione di Hall in funzione della temperatura del campione.
- Determinazione della temperatura di inversione e distinzione tra conduzione estrinseca e intrinseca nei germanio drogato p .

NOTA

La dipendenza dalla temperatura della conducibilità elettrica dei cristalli di germanio utilizzati viene analizzata più in dettaglio nell'esperimento UE6020100.

SCOPO

Analisi dei meccanismi della conduzione elettrica in germanio drogato mediante studio dell'effetto Hall

RIASSUNTO

L'effetto Hall si verifica in nei materiali conduttori in un campo magnetico B . Il segno della tensione di Hall cambia a seconda che la stessa corrente I venga trasmessa da portatori di carica positivi o negativi. Il suo valore dipende dalla densità dei portatori di carica. Pertanto, l'effetto Hall rappresenta uno strumento importante per la determinazione dei meccanismi del trasporto della carica in semiconduttori drogati. Nell'esperimento vengono analizzati cristalli di germanio drogati a temperature comprese tra 300 K e 450 K, per distinguere la conduzione elettrica causata dal drogaggio e la conduzione intrinseca consentita dall'attivazione termica degli elettroni della banda di valenza che raggiungono la banda di conduzione.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio di base per effetto Hall	1009934
1	n-Ge su circuito stampato	1009760
1	p-Ge su circuito stampato	1009810
1	Sensore di campo magnetico FW \pm 2000 mT	1021766
2	Bobina D con 600 spire	1000988
1	Nucleo a U	1000979
1	Coppia di espansioni polari e staffe di fissaggio per effetto Hall	1009935
1	Trasformatore con raddrizzatore 3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1003316 o
	Trasformatore con raddrizzatore 3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1003315
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Multimetro digitale P3340	1002785
1	VinciLab	1021477
1	Sensore di tensione 500 mV, differenziale	1021681
2	Sensore di tensione 10 V, differenziale	1022539
1	Set di 4 cavo del sensore	1021515
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843

Ulteriormente necessario:

- 1 Coach 7 Licenza

BASI GENERALI

L'effetto Hall si verifica nei materiali conduttori in un campo magnetico B . La sua causa risiede nella forza di Lorentz, che devia i portatori di carica che costituiscono la corrente elettrica I che percorre un campione di materiale trasversalmente rispetto al campo magnetico e alla direzione della corrente. La separazione delle cariche genera un campo elettrico E_H perpendicolare alla direzione della corrente, che compensa la forza di Lorentz e crea una tensione di Hall U_H tra i lati del campione. Il segno della tensione di Hall cambia a seconda che la stessa corrente I trasmessa da portatori di carica positivi o negativi. Il suo valore dipende dalla densità dei portatori di carica. Pertanto, l'effetto Hall rappresenta uno strumento importante per la determinazione del meccanismo del trasporto della carica nei materiali conduttori, ed è utilizzato spesso per analizzare i semiconduttori drogati.

Nell'esperimento vengono analizzati cristalli di germanio drogati a temperature comprese tra 300 K e 450 K. I cristalli sono realizzati come campioni piani con lunghezza a , larghezza b e spessore d attraverso cui scorre la corrente I in direzione longitudinale. Il campo magnetico B attraversa il campione perpendicolarmente rispetto alla corrente. Ne risulta la tensione di Hall

$$(1) \quad U_H = R_H \cdot \frac{B \cdot I}{d}$$

con il coefficiente di Hall

$$(2) \quad R_H = \frac{1}{e} \cdot \frac{n_p \cdot \mu_p^2 - n_n \cdot \mu_n^2}{(n_p \cdot \mu_p + n_n \cdot \mu_n)^2}$$

$e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ A.s: Carica fondamentale

Le densità n_n degli elettroni nella banda di conduzione, n_p delle lacune elettroniche nella banda di valenza, nonché le mobilità μ_n degli elettroni e μ_p delle lacune elettroniche sono grandezze materiali e dipendono dalla temperatura del campione T .

Oltre alla tensione di Hall, nell'esperimento si misura la caduta di tensione U in direzione longitudinale del campione per determinare la conducibilità elettrica

$$(3) \quad \sigma = e \cdot (n_n \cdot \mu_n + n_p \cdot \mu_p)$$

e la cosiddetta mobilità di Hall

$$(4) \quad \mu_H = R_H \cdot \sigma = \frac{n_p \cdot \mu_p^2 - n_n \cdot \mu_n^2}{n_p \cdot \mu_p + n_n \cdot \mu_n}$$

Le densità dei portatori di carica n_n e n_p sono influenzate dal drogaggio, ovvero dall'integrazione di atomi esterni nel cristallo. In caso di drogaggio p , gli atomi accettori legano gli elettroni dalla banda di valenza, causando così fori nella banda di valenza – le cosiddette lacune elettroniche. In caso di drogaggio n , gli atomi donatori cedono ciascuno un elettrone alla banda di conduzione.

I cristalli drogati sono elettricamente neutri, pertanto le cariche negative e positive si compensano. In questo modo è vale

$$(5) \quad n_n + n_A = n_p + n_D$$

n_A : Concentrazione degli accettori

n_D : Concentrazione dei donatori

Inoltre, n_n e n_p sono accoppiati tramite la legge dell'azione di massa, poiché all'equilibrio dipendentemente dalla temperatura, per unità di tempo si formano e si ricombinano molte coppie di elettroni-lacune elettroniche. Vale:

$$(6) \quad n_n \cdot n_p = n_i^2$$

n_i : densità dei portatori di carica con una mera conduzione intrinseca (vedere esperimento UE6020100)

In totale pertanto

$$(7) \quad n_n = \sqrt{n_i^2 + \frac{(n_A - n_D)^2}{4}} + \frac{n_D - n_A}{2}$$

$$(8) \quad n_p = \sqrt{n_i^2 + \frac{(n_A - n_D)^2}{4}} + \frac{n_A - n_D}{2}$$

A temperatura ambiente, le concentrazioni n_A e/o n_D sono notevolmente più grandi rispetto alla densità dei portatori di carica in caso di mera conduzione intrinseca n_i . Pertanto,

$$(9) \quad R_H = -\frac{1}{n_D \cdot e}, \quad \mu_H = -\mu_n$$

con drogaggio n e 300 K

$$(10) \quad R_H = \frac{1}{n_A \cdot e}, \quad \mu_H = \mu_p$$

con drogaggio p e 300 K

È possibile rilevare segno e densità dei portatori di carica direttamente dal coefficiente di Hall. La mobilità dei portatori di carica corrisponde alla mobilità di Hall.

ANALISI

Poiché con l'aumentare della temperatura sono disponibili sempre più portatori di carica, la tensione di Hall diminuisce fino a raggiungere lo zero.

Per il germanio drogato p , il segno della tensione di Hall cambia in quanto al crescere della conduzione intrinseca cresce anche l'influsso degli elettroni la cui mobilità μ_n è maggiore. Al di sotto della cosiddetta temperatura di inversione domina la conduzione elettrica consentita dal drogaggio, al di sopra di essa la conduzione intrinseca.

A temperature elevate, i cristalli drogati n e p non sono più distinguibili, poiché

$$n_n = n_p = n_i, \quad R_H = -\frac{1}{n_i \cdot e} \cdot \frac{\mu_n - \mu_p}{\mu_n + \mu_p}, \quad \mu_H = -(\mu_n - \mu_p)$$

La dipendenza dalla temperatura delle mobilità μ_n e μ_p non è riconoscibile nel coefficiente di Hall, in quanto in entrambi i casi vale:

$$\mu \sim T^{-\frac{3}{2}}$$

(vedere anche esperimento UE6020100)

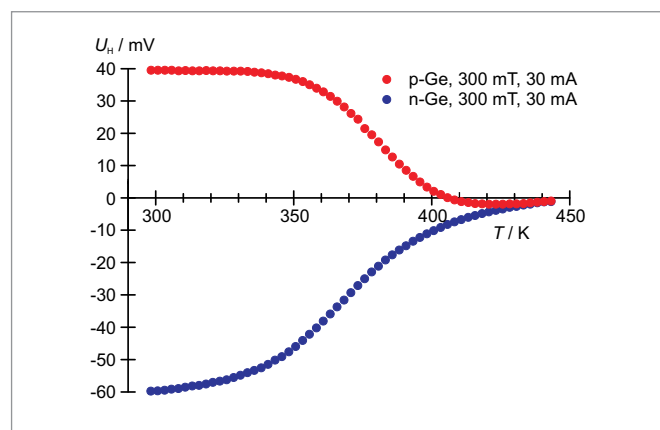
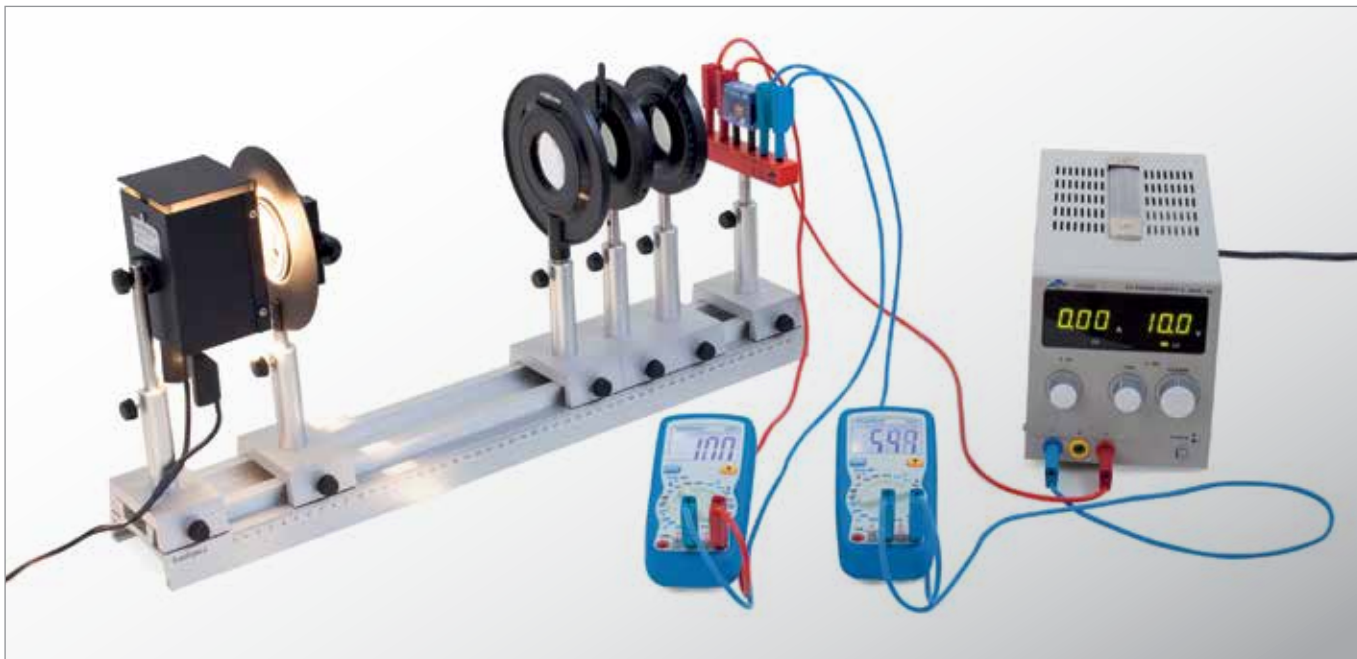


Fig. 1: Tensione di Hall nel germanio drogato p e n come funzione della temperatura T

UE6020400 | FOTOCONDUZIONE



> FUNZIONI

- Misurazione della corrente in funzione della tensione a intensità di radiazione diverse.
- Misurazione della corrente in funzione dell'intensità di radiazione a tensioni diverse.

SCOPO

Registrazione delle caratteristiche di una fotoresistenza

RIASSUNTO

La fotoconduzione sfrutta l'assorbimento di luce attraverso l'effetto fotoelettrico interno in un semiconduttore per la formazione di coppie libere di elettroni-lacune. Uno speciale semiconduttore con effetto fotoelettrico interno particolarmente forte è il solfuro di cadmio, utilizzato per la costruzione di fotoresistenze. Nell'esperimento, una fotoresistenza CdS viene illuminata con la luce bianca di una lampadina, la cui intensità di radiazione sul punto della fotoresistenza viene variata attraverso l'angolo tra due filtri di polarizzazione.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Banco ottico, 1000 mm	1002625
6	Cavaliere ottico U, 75 mm	1022450
1	Lampada sperimentale con lampadina a festone	1022436
1	Trasformatore 12 V, 60 VA (230 V, 50/60 Hz)	1020595 o
	Trasformatore 12 V, 60 VA (115 V, 50/60 Hz)	1006780
1	Fenditura regolabile su asta	1000856
1	Lente convergente su asta $f = 150$ mm	1003024
2	Filtro di polarizzazione su asta	1008668
1	Supporto per elementi a spina	1018449
1	Fotoresistenza LDR 05, P2W19	1012940
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
2	Multimetro digitale P1035	1002781
3	Paio di cavi di sicurezza per esperimenti 75cm, rosso/blu	1017718

BASI GENERALI

La fotoconduzione sfrutta l'assorbimento di luce attraverso l'effetto fotoelettrico interno in un semiconduttore per la formazione di coppie libere di elettroni-lacune. L'effetto non dipende solo dal materiale di base, ma anche dai difetti reticolari. In alcuni semiconduttori l'effetto generato dalla ionizzazione delle impurezze agisce per tempi dell'ordine dei millisecondi come un drogaggio e aumenta la conducibilità elettrica del materiale. Uno speciale semiconduttore con effetto fotoelettrico interno particolarmente forte è il solfuro di cadmio, utilizzato per la costruzione di fotoresistenze.

L'assorbimento della luce aumenta la conducibilità del semiconduttore d

$$(1) \quad \Delta\sigma = \Delta p \cdot e \cdot \mu_p + \Delta n \cdot e \cdot \mu_n$$

e: carica fondamentale,
 Δn : variazione della densità di elettroni,
 Δp : variazione della densità di lacune,
 μ_n : mobilità degli elettroni,
 μ_p : mobilità delle lacune

Applicando una tensione U, passa una fotocorrente

$$(2) \quad I_{ph} = U \cdot \Delta\sigma \cdot \frac{A}{d}$$

A: sezione della traiettoria, d: lunghezza della traiettoria

Il semiconduttore agisce quindi in un circuito come una resistenza fotosensibile, il cui valore varia inversamente all'intensità della luce. La dipendenza dall'intensità di radiazione Φ a tensione costante è descrivibile nella forma

$$(3) \quad I_{ph} = a \cdot \Phi^\gamma \text{ con } \gamma \leq 1$$

dove γ fornisce informazioni sui processi di ricombinazione nel materiale semiconduttore.

Nell'esperimento, una fotoresistenza CdS viene illuminata con la luce bianca di una lampadina. A intensità di radiazione costante Φ si misura la dipendenza della corrente I dalla tensione applicata U e a tensione costante U la dipendenza della corrente I dall'intensità di radiazione Φ , dove quest'ultima viene variata attraverso l'angolo di due filtri di polarizzazione.

Se si supera la potenza massima ammessa pari a 0,2 W, la fotoresistenza si danneggia. Per questa ragione, nell'esperimento l'intensità di luce incidente viene limitata per mezzo di una fenditura regolabile situata direttamente dietro la sorgente luminosa.

ANALISI

Le caratteristiche corrente-tensione della fotoresistenza CdS coincidono con (2) su una retta passante per l'origine.

Per la descrizione delle caratteristiche corrente-intensità di radiazione, il termine $\cos^2\alpha$ viene calcolato come misura relativa dell'intensità di radiazione, mentre α è l'angolo tra le direzioni di polarizzazione dei due filtri. Tuttavia, i filtri di polarizzazione non estinguono il fascio completamente neppure in posizione ortogonale. Inoltre, nella camera sperimentale non è possibile evitare totalmente una certa luminosità residua. Pertanto, (3) viene modificata in

$$I = a \cdot \Phi^\gamma + b \text{ con } \gamma \leq 1$$

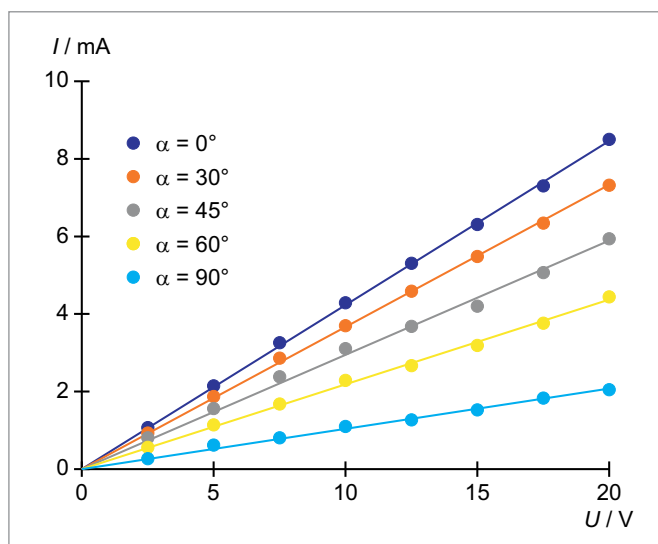


Fig. 1: Caratteristiche corrente-tensione della fotoresistenza CdS a intensità di radiazione diverse

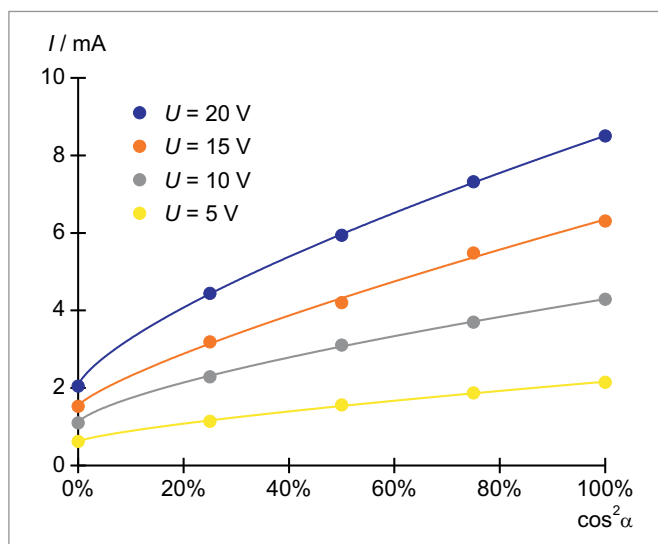


Fig. 2: Caratteristiche corrente-intensità di radiazione della fotoresistenza CdS a tensioni diverse

UE6020500 | EFFETTO SEEBECK



SCOPO

Enregistrer les caractéristiques de différents thermocouples et déterminer leur sensibilité

> FUNZIONI

- Misurazione della tensione termica U_{th} in funzione della temperatura T_1 e conferma del rapporto lineare per tre diversi termoelementi.
- Determinazione delle sensibilità S dai diagrammi $U_{th}(T_1)$.
- Valutazione delle temperature di riferimento T_2 in base alle curve di misurazione.

RIASSUNTO

In un filo metallico, i cui capi sono mantenuti a temperature differenti, si verifica, a causa delle diverse velocità di movimento degli elettroni, una termodiffusione tra le due estremità. Per effetto della corrente di diffusione l'estremità fredda si carica negativamente rispetto all'estremità calda. Tra le due estremità si genera una tensione termoelettrica, proporzionale alla differenza di temperatura tra i capi del filo, in cui il coefficiente di Seebeck rappresenta la costante di proporzionalità. Unendo due fili di metallo, le cui zone di giunzione sono poste a differenti temperature, e applicando un voltmetro sulla giunzione, si viene a creare un termoelemento. Il voltmetro mostra quindi la tensione termica che è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura tra i punti di giunzione. Nell'esperimento ciò viene verificato per tre diverse coppie di materiali.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Set di 3 termoelemento	1017904
1	Termometro -20°- 110°C	1003384
1	Clip per termometro	1003528
1	Set di 10 becher, forma alta	1002873
1	Agitatore magnetico con riscaldamento (230 V, 50/60 Hz)	1002807 o
	Agitatore magnetico con riscaldamento (115 V, 50/60 Hz)	1002806
1	Amplificatore di misura U (230 V, 50/60 Hz)	1020742 o
	Amplificatore di misura U (115 V, 50/60 Hz)	1020744
1	Multimetro digitale P3340	1002785

BASI GENERALI

In un filo metallico, i cui capi sono mantenuti a temperature differenti, si verifica una termodiffusione. Poiché il movimento termico degli elettroni è più veloce sull'estremità calda che su quella fredda, in media si spostano più elettroni dall'estremità calda a quella fredda che viceversa. Per effetto di questa corrente di diffusione, in questo caso a conduzione elettronica, l'estremità fredda si carica negativamente rispetto all'estremità calda e tra le due estremità si genera una tensione termoelettrica, che si oppone in modo crescente al movimento degli elettroni, fino a che la corrente di diffusione si annulla.

La tensione termoelettrica U_{td} è proporzionale alla differenza di temperatura $T_1 - T_2$ tra i capi del filo, e il coefficiente di Seebeck rappresenta la costante di proporzionalità:

$$(1) \quad U_{td} = k \cdot (T_1 - T_2)$$

U_{td} : Tensione termoelettrica,
 k : Coefficiente di Seebeck,
 T_1 : Temperatura sull'estremità calda
 T_2 : Temperatura sull'estremità fredda

Unendo due fili di metallo, le cui zone di giunzione sono poste a differenti temperature, e applicando un voltmetro sulla giunzione, si viene a creare una corrente termoelettrica. Il metallo con la tensione termoelettrica maggiore stabilisce la direzione della corrente e si ottiene un termoelemento. A causa dell'elevata impedenza di ingresso il flusso di corrente è praticamente azzerato e il voltmetro mostra quindi una tensione termica che è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura tra i punti di giunzione:

$$(2) \quad U_{th} = U_{td,B} - U_{td,A} = (k_B - k_A) \cdot (T_1 - T_2)$$

U_{th} : Tensione termica
 $U_{td,A}, U_{td,B}$: Tensione termoelettrica dei metalli A e B
 k_A, k_B : Coefficienti di Seebeck dei metalli A e B

Solo la differenza

$$(3) \quad k_{BA} = k_B - k_A$$

tra i coefficienti di Seebeck evidenziata nell'equazione (2) può essere misurata senza problemi. Essa rappresenta la sensibilità

$$(4) \quad S = \frac{dU_{th}}{dT_1}$$

del termoelemento generato dalla giunzione dei metalli A e B. È quindi prassi frequente utilizzare il platino come materiale di riferimento indicando i coefficienti K_{APt} . L'altra estremità della termocoppia è collegata all'amplificatore di misura U per misurare la tensione. Le prese di questo amplificatore hanno una temperatura costante T_2 .

ANALISI

In un diagramma $U_{th}(T_1)$ viene riportata la tensione termica rispetto alla temperatura per i diversi termoelementi; i valori di ogni singolo termoelemento si adattano a una retta, quindi vengono determinate le relative sensibilità in base alle pendenze.

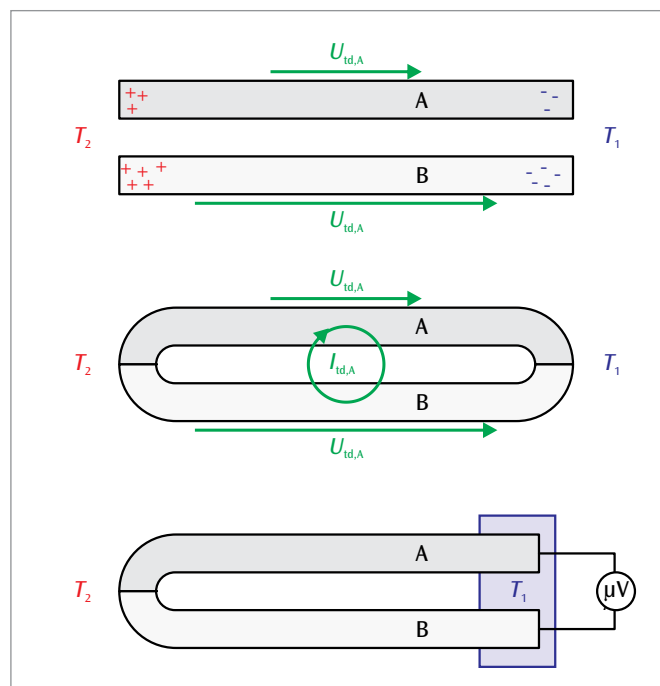


Fig. 1: Termodiffusione in fili di metallo (sopra), corrente termoelettrica (al centro) e tensione termica in una catena chiusa di due diversi fili di metallo (sotto)

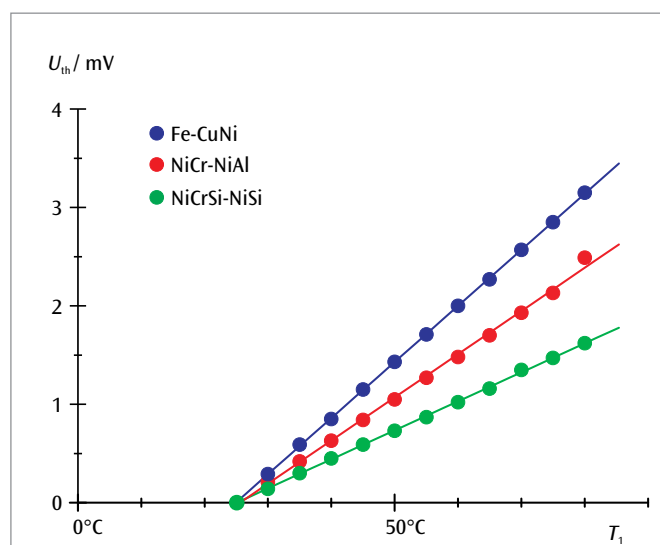
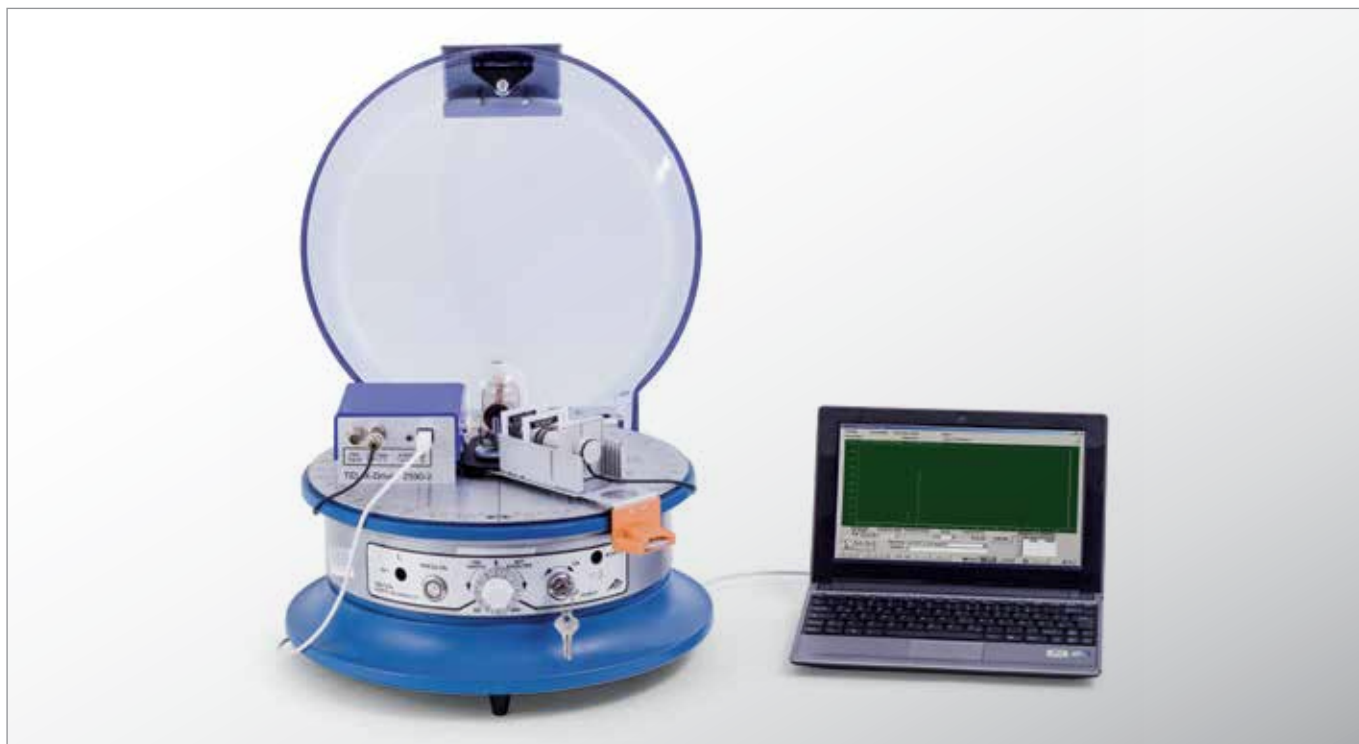


Fig. 2: Tensioni termiche in funzione della temperatura per termoelemento di tipo Fe-CuNi, NiCr-NiAl e NiCrSi-NiSi. Le curve di misurazione intersecano l'asse T_1 del diagramma in corrispondenza della temperatura di riferimento $T_2 = 23^\circ\text{C}$

UE7010100 | RIFLESSIONE DI BRAGG



> FUNZIONI

- Registrazione degli spettri di diffrazione dei raggi röntgen di un anodo in rame su cristalli con struttura in NaCl.
- Determinazione delle costanti reticolari e confronto con le dimensioni dei moduli in cristallo.

SCOPO

Determinazione di costanti reticolari di cristalli con struttura in NaCl

RIASSUNTO

La misurazione della riflessione di Bragg è un metodo di analisi importante su monocristalli con il supporto di raggi röntgen. A tale scopo la radiazione X viene riflessa sui piani reticolari del cristallo le onde separate riflesse sui singoli piani reticolari interferiscono in modo costruttivo tra loro, se la condizione di Bragg viene soddisfatta. Conoscendo la lunghezza delle onde dei raggi röntgen è possibile calcolare la distanza dei piani reticolari. Nell'esperimento sono analizzati e confrontati cristalli con struttura in NaCl.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio per raggi X (230 V, 50/60 Hz)	1000657 o
	Apparecchio per raggi X (115 V, 50/60 Hz)	1000660
1	Set di base Bragg	1008508
1	Accessori di cristallografia	1000666
1	Driver di Bragg	1012871

BASI GENERALI

H. W. e W. L. Bragg hanno sviluppato un importante metodo di analisi sui monocristalli utilizzando i raggi röntgen. Essi hanno interpretato la disposizione regolare degli atomi o degli ioni nei cristalli come andamento parallelo con i piani reticolari occupati dai moduli reticolari. L'onda piana dei raggi röntgen viene riflessa su questo piano reticolare; in questo modo la lunghezza delle onde dei raggi röntgen rimane invariata.

Le direzioni del fascio dell'onda in arrivo e riflessa che corrono perpendicolarmente ai fronti d'onda soddisfano la condizione "angolo di incidenza = angolo di emergenza". Inoltre, le onde

separate riflesse dai singoli piani reticolari interferiscono e l'interferenza è costruttiva, se il ritardo ottico Δ tra le onde separate è un multiplo intero della lunghezza d'onda λ .

Il ritardo ottico può essere calcolato mediante la Fig. 1. Si ottiene

$$(1) \quad \Delta = 2 \cdot d \cdot \sin\vartheta.$$

d : distanza dei piani reticolari

ϑ : angolo di incidenza o angolo di emergenza

Da qui si ottiene la condizione per l'interferenza costruttiva:

$$(2) \quad 2 \cdot d \cdot \sin\vartheta_n = n \cdot \lambda.$$

Se viene quindi utilizzata una lunghezza d'onda nota dei raggi röntgen monocromatici, è possibile determinare la distanza dei piani reticolari d tramite la misurazione degli angoli.

Nella pratica questo avviene tramite la rotazione del monocristalli di un angolo ϑ relativo alla direzione di incidenza con la stessa rotazione del contatore di Geiger-Müller intorno all'angolo 2ϑ , vedere Fig. 2. La condizione (2) è perfettamente soddisfatta, se il contatore registra la massima intensità.

Nell'esperimento sono utilizzati raggi röntgen caratteristici di un tubo per raggi röntgen con anodo in rame. Di questi fanno parte la radiazione K_α con lunghezza d'onda $\lambda = 154 \text{ pm}$ e la radiazione K_β con $\lambda = 138 \text{ pm}$. Con un filtro Ni la radiazione K_β può essere ampiamente soppressa, poiché lo spigolo di assorbimento del nichel è compreso tra le due lunghezze d'onda citate. Oltre alla radiazione caratteristica, il tubo per raggi röntgen emette sempre anche una radiazione di frenamento con una distribuzione spettrale continua. Questo si nota nelle curve di misurazione come "sfondo" sotto i picchi della radiazione caratteristica. Nell'esperimento sono analizzati monocristalli a struttura cubica, tagliati parallelamente rispetto alla superficie (100). I piani reticolari rilevanti per la riflessione di Bragg sono facilmente identificabili in questo modo. Per aumentare la precisione di misurazione sono stati misurati diversi ordini di diffrazione.

Sono disponibili un cristallo in LiF e uno in NaCl. Misurazioni integrative possono essere effettuate su un cristallo KCl e un cristallo RbCl. Tutti mostrano la stessa struttura dei cristalli, in cui due tipi di atomi occupano alternatamente i posti nel reticolo. La distanza dei piani reticolari d corrisponde quindi alla metà della costante reticolare a .

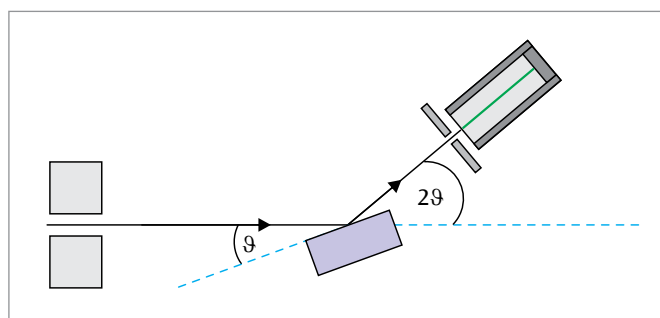


Fig. 1: Principio di misura

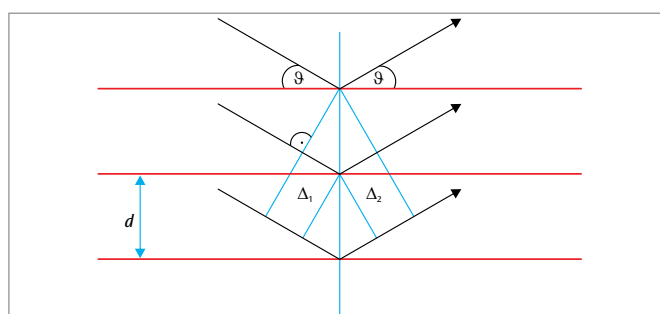


Fig. 2: Rappresentazione della deduzione della condizione di Bragg

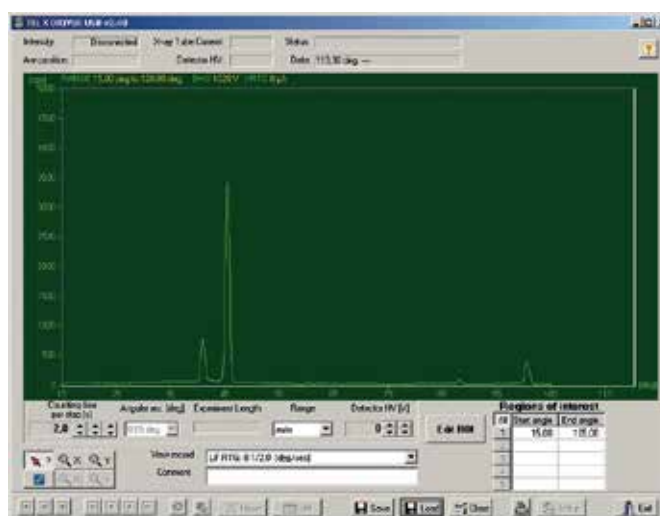


Fig. 3: Curva di Bragg su NaCl

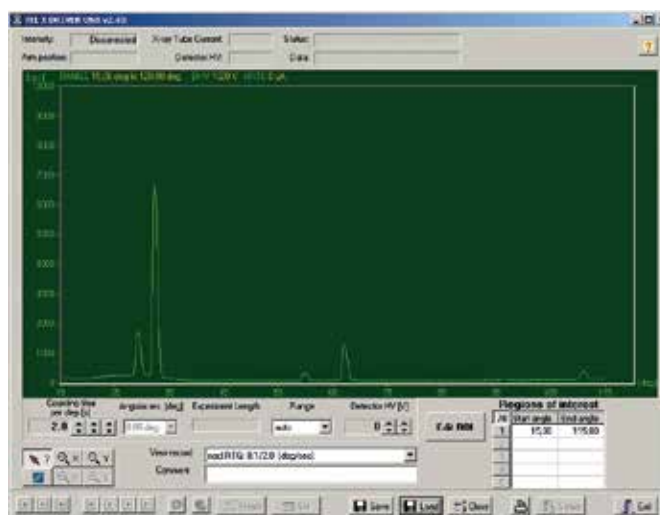


Fig. 4: Curva di Bragg su LiF

ANALISI

Utilizzando l'equazione (2) si ottiene la seguente equazione condizionale per la costante reticolare cercata:

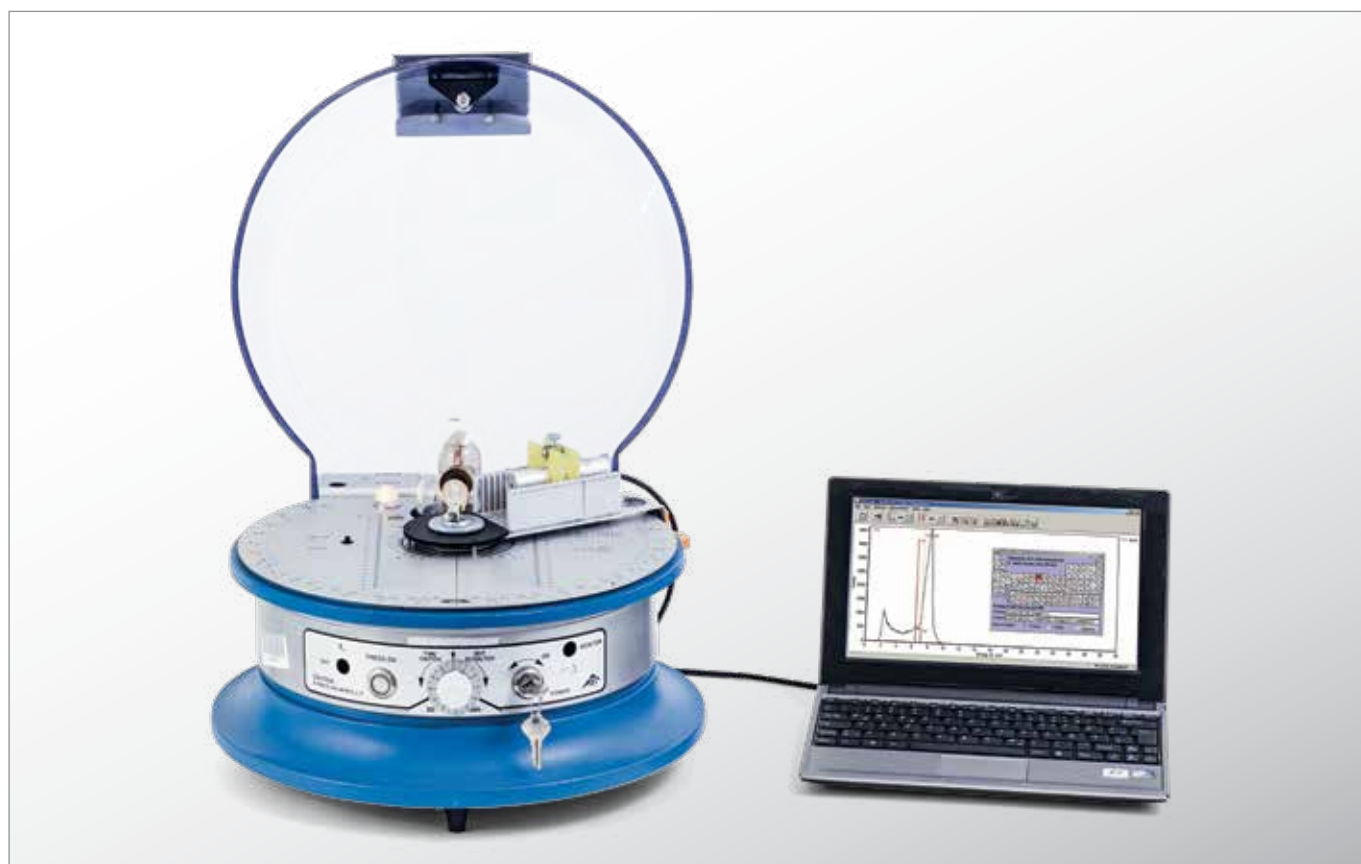
$$a = 2 \cdot d = \lambda_{\text{K}\alpha} \cdot \frac{n}{\sin\vartheta_n}$$

Un raffronto tra i valori trovati per NaCl, KCl e RbCl mostra che la costante reticolare è correlata alla dimensione degli ioni alcalino-terrosi. Anche le costanti reticolari di LiF e NaCl sono diverse, perché gli elementi dei cristalli hanno dimensioni diverse.



Fig. 5: Cristallo NaCl

UE7020100 | FLUORESCENZA A RAGGI X



> FUNZIONI

- Registrazione degli spettri di fluorescenza a raggi X di diversi campioni di materiale.
- Identificazione dei componenti chimici in base alle linee di raggi X.

SCOPO

Analisi non distruttiva del composto chimico

RIASSUNTO

Gli elementi chimici possono essere identificati chiaramente in base alle loro emissioni di raggi X, poiché l'energia delle radiazioni dipende dal numero atomico dell'elemento. Si parla di analisi della fluorescenza a raggi X se la radiazione röntgen (X) viene eccitata dall'illuminazione del materiale analizzato con quanti di raggi X ad alta energia. Nell'esperimento sono stati analizzati diversi campioni di materiale relativamente alla loro composizione chimica. Sono stati raffrontati quindi ferro fucinato con acciaio inox, rame e ottone con bronzo e anche diverse monete.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio per raggi X (230 V, 50/60 Hz)	1000657 o
	Apparecchio per raggi X (115 V, 50/60 Hz)	1000660
1	Set di base Bragg	1008508
1	Rivelatore di energia a raggi X	1008629
1	Set di campioni fluorescenti	1012868

BASI GENERALI

Gli elementi chimici possono essere identificati chiaramente in base alle loro emissioni di raggi X, poiché l'energia delle radiazioni dipende dal numero atomico dell'elemento. La composizione chimica di un materiale può quindi essere determinata dalla misurazione della radiazione a raggi X. I legami chimici degli elementi non hanno alcun ruolo in questo caso, poiché non influenzano gli anelli elettronici interni, attraverso i quali avviene il passaggio dei raggi X.

Si parla di analisi della fluorescenza a raggi X se la radiazione röntgen viene eccitata dall'illuminazione del materiale analizzato con quanti di raggi X ad alta energia. L'energia di eccitazione deve essere maggiore rispetto all'energia della radiazione caratteristica attesa, poiché le transizioni dalla serie K negli elementi con numero atomico molto grande potrebbero non essere eccitate. L'analisi deve quindi considerare anche le transizioni dalla serie L, vedere Fig. 1.

Per il rilevamento degli spettri energetici nell'esperimento è disponibile un rivelatore di energia a raggi X. La radiazione a raggi X incidente crea dall'effetto di reciprocità con gli atomi dei cristalli di una coppia buco elettrone di un fotodiode PIN Si, la cui carica complessiva è proporzionale all'energia dei raggi X. La carica viene convertita in un impulso di tensione, la cui altezza proporzionale per l'energia a raggi X trasmessa ad un computer sotto forma di valore digitale. Un software di valutazione rappresenta graficamente la distribuzione della frequenza dell'altezza degli impulsi. Dopo la calibrazione dell'energia, la distribuzione della frequenza rappresenta lo spettro energetico analizzato.

Nell'esperimento come sorgente luminosa viene usato un tubo per raggi X con anodo in rame. Sono stati analizzati diversi campioni di materiale relativamente alla loro composizione chimica. Sono stati raffrontati quindi ferro fucinato con acciaio, rame e ottone con bronzo e anche diverse monete.

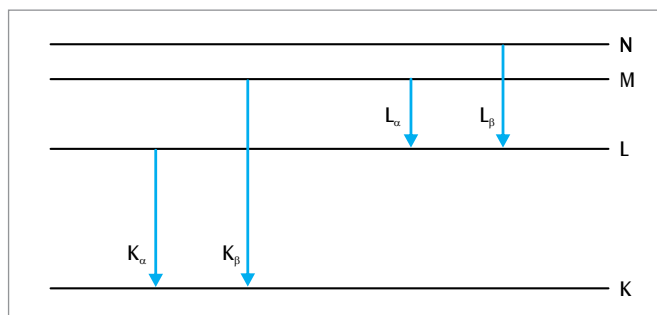


Fig. 1: Diagramma di Grotrian semplificato di un atomo con le linee di raggi X caratteristiche

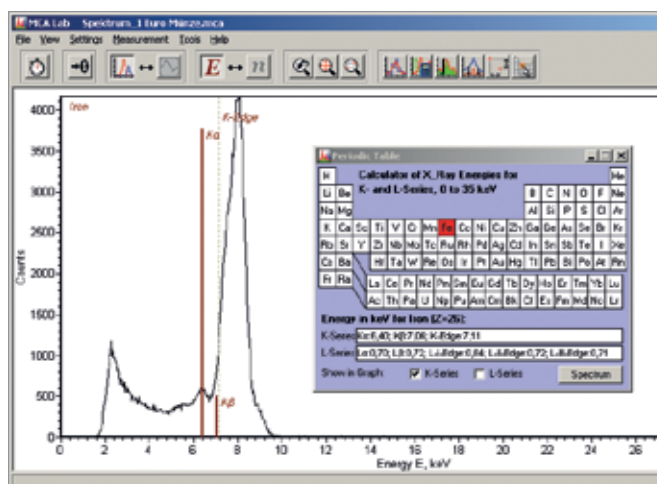


Fig. 2: Spettro di fluorescenza dei raggi X di una moneta da 1 Euro

ANALISI

Con il supporto del software di valutazione le energie trovate sono raffrontate con i valori della letteratura per la radiazione caratteristica degli elementi presi in considerazione.

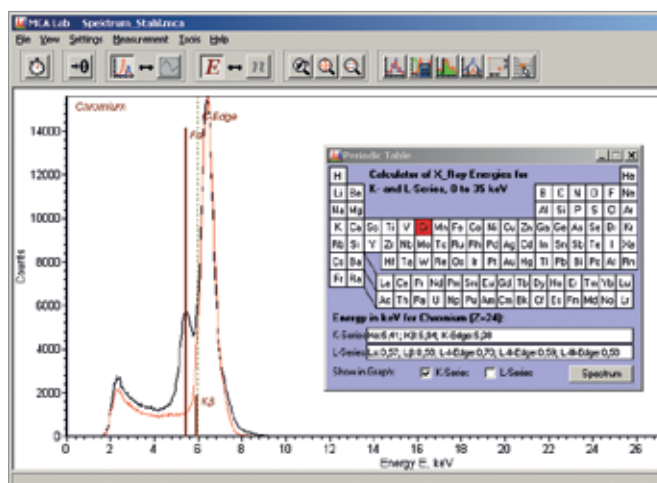
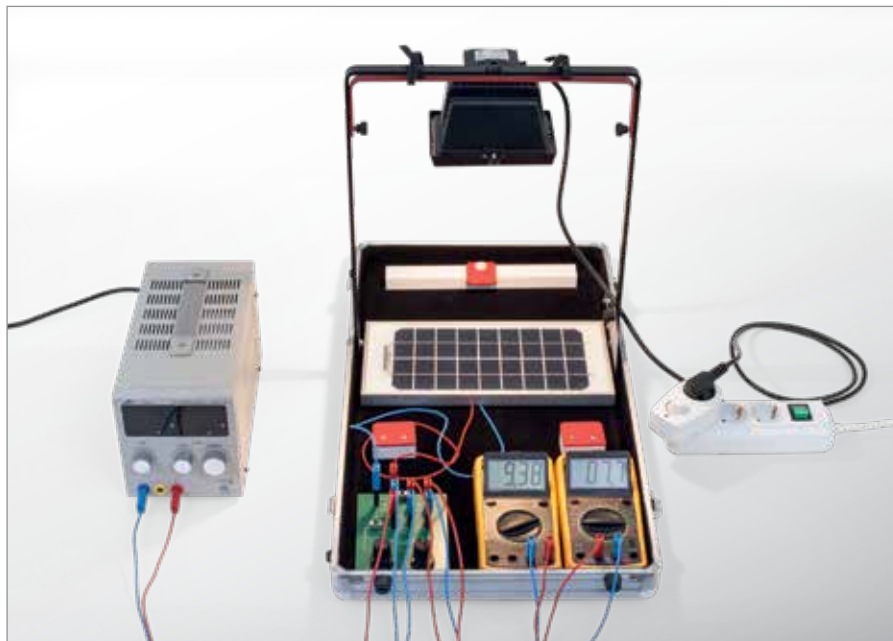


Fig. 3: Spettro di fluorescenza dei raggi X di ferro fucinato (rosso) e acciaio inox (nero)

UE8020100 | SISTEMI FOTOVOLTAICI



SCOPO

Misurazione delle curve caratteristiche di un modulo fotovoltaico in funzione dell'intensità luminosa

RIASSUNTO

Un sistema fotovoltaico trasforma l'energia luminosa della luce solare in energia elettrica. Per fare ciò si utilizzano celle solari costruite, ad esempio, con silicio opportunamente drogato e che corrispondono in linea di principio a un fotodiodo di superficie ampia. La luce assorbita nella cella solare libera i portatori di carica dai legami cristallini generando una fotocorrente inversa rispetto alla direzione della giunzione p-n. La corrente, che può essere immessa in un carico

> FUNZIONI

- Misurazione delle curve caratteristiche $I-U$ di un modulo fotovoltaico in presenza di varie intensità luminose.
- Confronto delle curve caratteristiche misurate con le previsioni del modello a diodo singolo.
- Determinazione della relazione fra la tensione a vuoto e la corrente di cortocircuito per varie intensità di illuminazione.

esterno, viene limitata dalla corrente di diodo della cella solare. Alla cosiddetta tensione a vuoto U_{OC} , la corrente raggiunge il valore zero, poiché proprio in quel punto la fotocorrente e la corrente di diodo si compensano, e diventa negativa se viene applicata una tensione superiore alla tensione a vuoto. Nel range di correnti positive è possibile utilizzare la cella solare come generatore, per immettere energia elettrica in un carico esterno. Nell'esperienza si procede a misurare le curve caratteristiche corrente-tensione di tale generatore in funzione dell'intensità luminosa e a descriverle con un semplice set di parametri.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	SES Energia solare (230 V, 50/60 Hz)	1017732 o
	SES Energia solare (115 V, 50/60 Hz)	1017731
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311

BASI GENERALI

“Fotovoltaico” è un termine composto che deriva dalla parola greca Phos (luce) e dal cognome Volta. Il termine onora, infatti, la memoria di **Alessandro Volta** inventò tra le altre cose la prima batteria elettrochimica funzionante. Un sistema fotovoltaico trasforma l'energia luminosa della luce del sole, che possiamo assumere gratuita ed illimitata, in energia elettrica senza emissione di CO_2 . Questa trasformazione è a opera di celle solari che, nella maggior parte dei casi, sono realizzate con silicio opportunamente drogato e funzionano come un fotodiodo di superficie ampia. La luce assorbita nella cella solare libera portatori di carica dai legami cristallini (effetto fotoelettrico interno) che si muovono nel campo elettrico della giunzione p-n, ottenuta tramite drogaggio, fino a raggiungere i contatti esterni della cella solare; gli elettroni migrano verso la regione di tipo n, mentre le lacune migrano verso la regione di tipo p (fig. 1). In questo modo si genera una fotocorrente inversa rispetto alla direzione della giunzione p-n che può cedere energia elettrica a un carico esterno.

La fotocorrente I_{ph} è proporzionale all'intensità luminosa Φ :

$$(1) \quad I_{ph} = \text{const} \cdot \Phi$$

Essa si sovrappone alla corrente di diodo

$$(2) \quad I_D = I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right)$$

I_s : corrente di saturazione, U_T : tensione termica

e diventa tanto più forte, quanto più la tensione U presente ai terminali supera la tensione di diffusione U_D . Pertanto la corrente I immessa all'esterno viene limitata dalla corrente di diodo:

$$(3) \quad I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right)$$

Alla cosiddetta tensione a vuoto U_{oc} la corrente raggiunge il valore zero, poiché a tale tensione la fotocorrente e la corrente di diodo si compensano, e diventa negativa se viene applicata una tensione $U > U_{oc}$.

Nel range di correnti positive è possibile utilizzare la cella solare come generatore, per immettere energia elettrica in un carico esterno.

L'equazione (3) descrive la curva caratteristica $I-U$ di questo generatore.

Poiché nella pratica la fotocorrente I_{ph} è notevolmente più grande della corrente di saturazione I_s , dall'equazione (3) è possibile derivare per la tensione la relazione

$$(4) \quad U_{oc} = U_T \cdot \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s}\right)$$

Se vengono cortocircuitati i contatti della cella solare, quest'ultima produce corrente di cortocircuito I_{sc} che, in base all'equazione (3), per $U = 0$ corrisponde alla fotocorrente. Pertanto si ha

$$(5) \quad U_{oc} = U_T \cdot \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_s}\right) \text{ con } I_{sc} = I_{ph}$$

L'equazione 2 descrive il comportamento del diodo nell'ambito del cosiddetto modello standard. In questo caso la corrente di saturazione I_s è una grandezza materiale che dipende dai dati geometrici ed elettrici della cella solare. Per la tensione termica U_T vale

$$(6) \quad U_T = \frac{m \cdot k \cdot T}{e}$$

$m = 1 \dots 2$: fattore ideale, k : costante di Boltzmann, e : carica fondamentale, T : temperatura in Kelvin

Osservando più precisamente la curva caratteristica, occorre prendere in considerazione anche le correnti di fuga sui bordi della cella solare e i cortocircuiti puntiformi della giunzione p-n che possono essere modellizzati come una resistenza in parallelo R_p . Pertanto l'equazione 3 diventa.

$$(7) \quad I = I_{ph} - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right) - \frac{U}{R_p}$$

Nella pratica, per ottenere tensioni utili nel range fra 20 e 50 V, vengono collegate in serie svariate celle solari in un singolo modulo fotovoltaico. Nell'esperimento, un simile collegamento in serie formato da 18 celle solari viene illuminato con una lampada alogena a illuminazione variabile, così da poter tracciare le curve caratteristiche corrente-tensione del modulo in presenza di diverse intensità luminose.

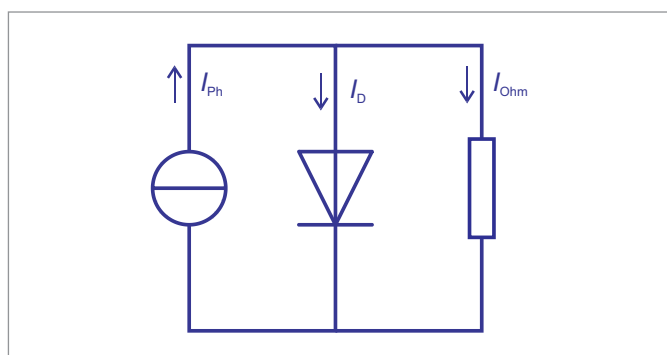


Fig. 3: Schema elettrico sostitutivo per il modulo fotovoltaico

ANALISI

La famiglia di curve caratteristiche corrente-tensione del modulo fotovoltaico (fig. 2) può essere descritto con l'equazione 7 se, indipendentemente dall'intensità luminosa, si utilizza sempre lo stesso set di parametri I_s , U_T e R_p e se si sceglie una fotocorrente I_{ph} dipendente dall'intensità luminosa. Tuttavia la tensione termica è 18 volte il valore determinato nell'equazione 6, poiché il modulo è costituito da 18 celle solari collegate in serie.

Come schema elettrico sostitutivo per il modulo fotovoltaico è possibile considerare il collegamento in parallelo di una sorgente elettrica ideale, 18 diodi semiconduttori collegati in serie e una resistenza ohmica, vedere fig. 3. La sorgente elettrica produce una corrente, che varia a seconda dell'intensità luminosa, in polarizzazione inversa.

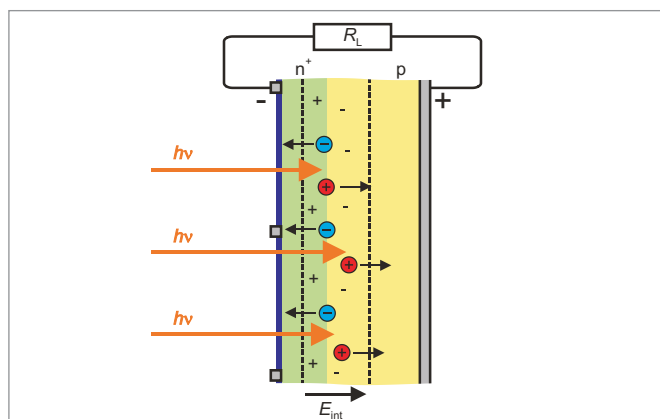


Fig. 1: Rappresentazione schematica di una cella solare cmoe di elemento semiconduttore,

$n+$: regione n fortemente drogata, p : regione p drogata,
 \oplus : lacuna generata dall'assorbimento di luce,
 \ominus : elettrone libero generato dall'assorbimento di luce,
 $+$: carica positiva "fissa",
 $-$: carica negativa "fissa",

E_{int} : campo elettrico generato dalla differenza di carica spaziale,
 R_L : resistenza di carico

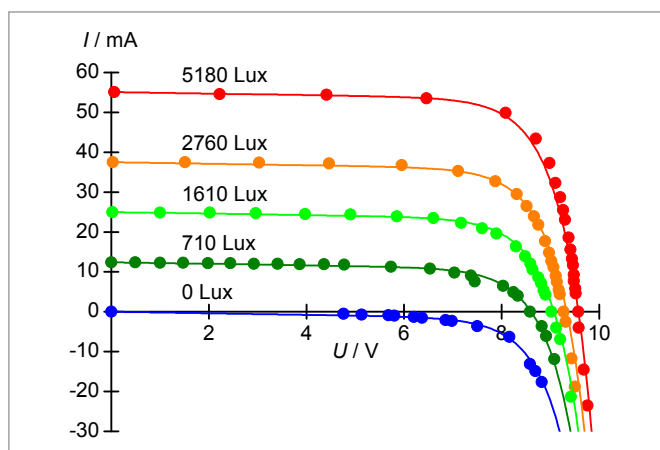
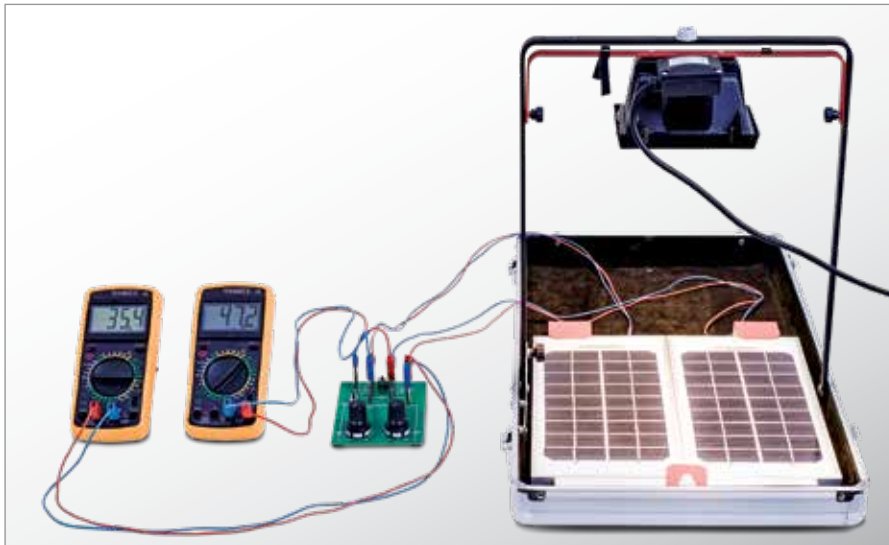


Fig. 2: Fascio di curve caratteristiche corrente-tensione per cinque diverse intensità luminose

UE8020200 | IMPIANTI FOTOVOLTAICI IN OMBRA



SCOPO

Analisi dell'influenza dell'ombreggiamento parziale

> FUNZIONI

- Misurazione e analisi della caratteristica $I-U$ e della caratteristica $P-R$ di un collegamento in serie tra due moduli fotovoltaici.
- Misurazione e analisi delle caratteristiche in condizioni di parziale ombreggiamento con e senza la protezione fornita da diodi di bypass.
- Dimostrazione della tensione di interdizione presso il modulo ombreggiato non protetto.
- Determinazione della perdita di potenza dovuta all'ombreggiamento parziale.

RIASSUNTO

Negli impianti fotovoltaici, diversi moduli vengono solitamente collegati in serie a formare una stringa. I moduli sono a loro volta collegamenti in serie composti da molte celle solari. Da un punto di vista pratico, si hanno ombreggiamenti parziali. I singoli elementi dell'impianto vengono irradiati con un'intensità ridotta e forniscono solo una piccola fotocorrente che limita il flusso attraverso l'intero collegamento in serie. Ciò viene evitato utilizzando diodi di bypass. Nell'esperimento, due moduli da 18 celle solari ciascuno rappresentano un impianto fotovoltaico semplice. Essi vengono alternativamente collegati in serie con e senza diodi di bypass supplementari e irradiati con la luce di una lampada alogena.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	SES Energia solare (230 V, 50/60 Hz)	1017732 o
	SES Energia solare (115 V, 50/60 Hz)	1017731

BASI GENERALI

Negli impianti fotovoltaici, diversi moduli vengono solitamente collegati in serie a formare una stringa. I moduli sono a loro volta collegamenti in serie composti da molte celle solari.

Il calcolo della corrente e della tensione in un collegamento in serie di tale tipo segue le leggi di Kirchhoff attenendosi alla caratteristica corrente-tensione delle celle solari. Tutti i moduli del collegamento in serie sono attraversati dalla medesima corrente I e la tensione totale

$$(1) \quad U = \sum_{i=1}^n U_i$$

n : numero dei moduli

è la somma di tutte le tensioni U_i tra le connessioni dei singoli moduli.

La caratteristica corrente-tensione di una cella solare e di un modulo può essere spiegata con l'ausilio di un circuito equivalente costituito, come una connessione in antiparallelo, da una sorgente di corrente costante erogante fotocorrente e un "diodo semiconduttore". Le perdite ohmiche corrispondono a una resistenza supplementare collegata in parallelo (v. esperimento UE8020100 e Fig. 1). La fotocorrente è proporzionale all'intensità di radiazione della luce. In presenza della medesima intensità di radiazione, tutti i moduli si comportano alla stessa maniera e generano la medesima tensione singola. Si ricava quindi dall'equazione 1:

$$(2) \quad U = n \cdot U_i$$

Nella realtà, in un impianto fotovoltaico possono tuttavia verificarsi ombreggiamenti parziali. I singoli moduli dell'impianto vengono irraggiati con un'intensità ridotta e forniscono solo una piccola fotocorrente che limita il flusso attraverso l'intero collegamento in serie. Tale limitazione di corrente ha come conseguenza la generazione di tensioni U_i differenti sui singoli moduli.

Nella situazione più estrema, le tensioni sui moduli interamente illuminati raggiungono in caso di cortocircuito ($U = 0$) valori fino alla tensione a vuoto, v. anche Fig. 2. Nei moduli ombreggiati, la somma di tali tensioni si trova in interdizione. Ciò può provocare un massiccio surriscaldamento e distruggere il rivestimento o persino le celle solari. Per proteggere gli impianti fotovoltaici, si utilizzano diodi di bypass, in grado di invertire la corrente sull'elemento ombreggiato.

Nell'esperimento, due moduli da 18 celle solari ciascuno rappresentano un impianto fotovoltaico semplice. Essi vengono alternativamente collegati in serie con e senza diodi di bypass supplementari e irradiati con la luce di una lampada alogena. Dapprima i due moduli vengono illuminati con la medesima intensità, poi un modulo viene ombreggiato di modo che fornisca solamente metà della fotocorrente.

In ciascun caso, si registrano e comparano le caratteristiche $I-U$ dal cortocircuito al funzionamento a vuoto. Si calcola inoltre la potenza come funzione della resistenza di carico per determinare la perdita di potenza dovuta all'ombreggiamento e l'influenza dei diodi di bypass. Nel caso del cortocircuito, si misura altresì separatamente la tensione sul modulo ombreggiato. Se il modulo non è protetto con un diodo di bypass, essa raggiunge -9 V.

ANALISI

Quando un modulo fornisce ad esempio solo metà della fotocorrente, in assenza di un diodo di bypass tale situazione comporta il cortocircuito del collegamento in serie.

Il diodo di bypass fa sì che il modulo interamente illuminato fornisca una corrente più elevata fino a quanto questa inizia a diminuire perché viene raggiunta la tensione a vuoto del singolo modulo.

Il modello matematico per l'adeguamento dei valori misurati nelle fig. 3 e 4 tiene conto delle leggi di Kirchhoff e utilizza la caratteristica corrente-tensione dei singoli moduli rilevata nell'esperimento UE8020100 con i parametri I_S , U_T e R_p . Per tener conto dei diodi di bypass su utilizza la rispettiva caratteristica.

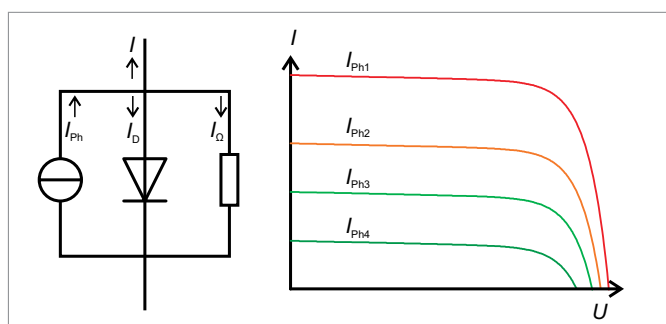


Fig. 1: Schema del circuito equivalente e caratteristiche di una cella solare

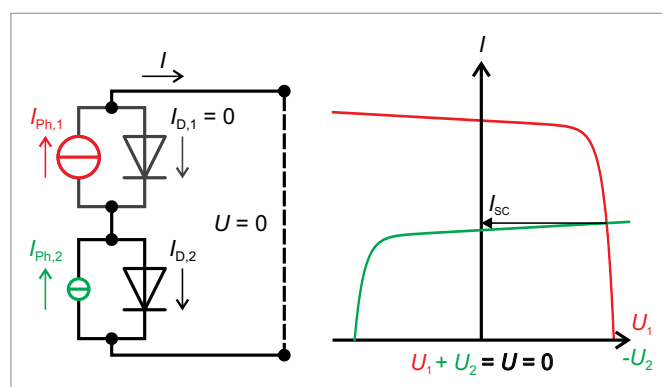


Fig. 2: Modello schematico di un'ombreggiamento parziale del collegamento in serie tra due moduli senza bypass, in cortocircuito ($U = 0$). La caratteristica del modulo ombreggiato (verde) è rappresentata riflessa. Qui si manifesta una tensione U_2 in interdizione.

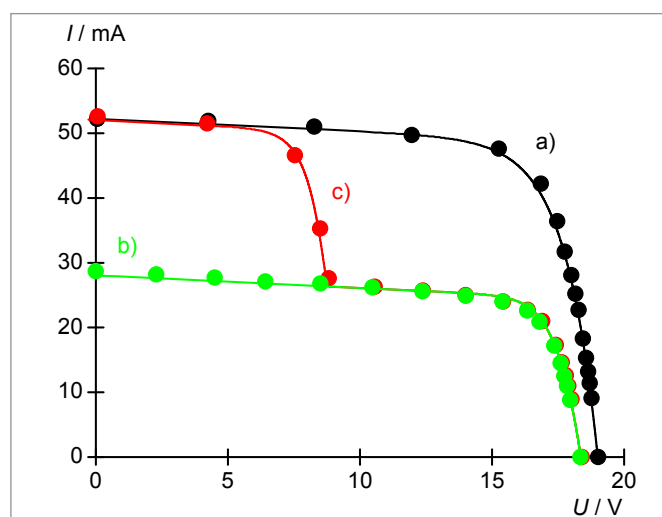


Fig. 3: Caratteristica $I-U$ del collegamento in serie tra due moduli. a) senza ombreggiamento, b) ombreggiamento parziale, senza bypass, c) ombreggiamento parziale, con bypass

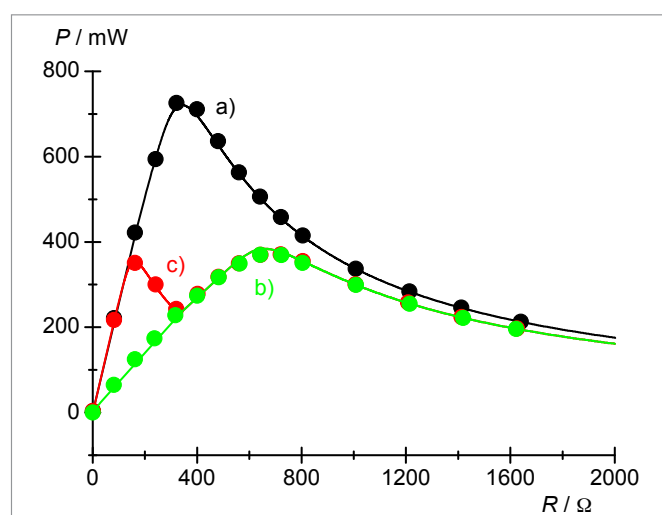
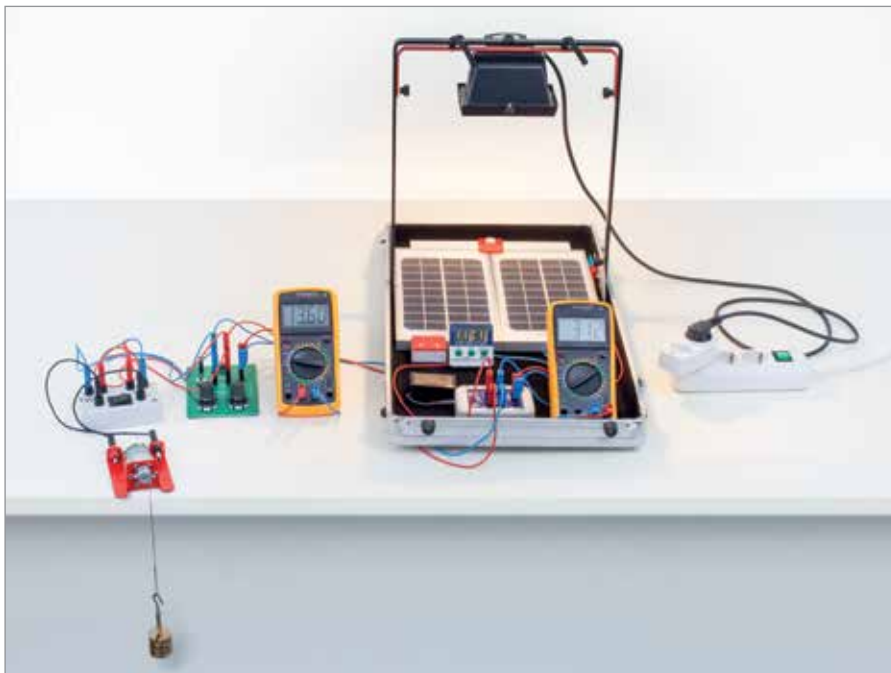


Fig. 4: Caratteristica $P-R$ del collegamento in serie tra due moduli. a) senza ombreggiamento, b) ombreggiamento parziale, senza bypass, c) ombreggiamento parziale, con bypass

UE8020250 | IMPIANTI A ISOLA



SCOPO

Analisi di un impianto a isola per la produzione e l'immagazzinamento di energia elettrica

> FUNZIONI

- Determinazione della corrente di esercizio del contatore di carica elettronico e dell'intensità luminosa minima necessaria per il funzionamento.
- Analisi del bilancio di corrente dell'impianto a isola in presenza di vari carichi ohmici e varie intensità luminose nell'impiego in laboratorio.
- Misurazione della potenza solare e della corrente di carica e scarica in funzione della corrente di carico per varie intensità luminose.

RIASSUNTO

Gli impianti a isola sono impianti di alimentazione elettrica non collegati a una rete elettrica pubblica che producono e immagazzinano energia elettrica. Spesso vengono impiegati moduli fotovoltaici per la produzione di energia e accumulatori per immagazzinare l'energia. Per esaminare un simile impianto a isola, nell'esperimento vengono impiegati due moduli fotovoltaici che caricano un accumulatore nichel-metallo idruro. All'accumulatore è collegato un motore a corrente continua che funge da utenza di consumo, mentre un contatore di carica elettronico misura la carica in entrata o in uscita. Mediante due moduli collegati in serie si ottiene un caricamento affidabile dell'accumulatore anche a bassa intensità luminosa, poiché la tensione a vuoto è notevolmente superiore alla tensione dell'accumulatore.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	SES Energia solare (230 V, 50/60 Hz)	1017732 o
	SES Energia solare (115 V, 50/60 Hz)	1017731
1	Contatore di carica con accumulatore	1017734
1	Motoriduttore con puleggia	1017735
1	Set pesi a fessura 5 x 100 g	1003228
1	Corda, 100 m	1007112
1	Commutatore bipolare	1018439
1	Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm, 1 mm ²	1002840
1	Timer	1003009

BASI GENERALI

Gli impianti a isola sono impianti di alimentazione elettrica non collegati a una rete elettrica pubblica. Producono e immagazzinano energia elettrica e vengono impiegati, quando non è possibile realizzare l'allacciamento a una rete elettrica pubblica oppure quando l'allacciamento non è conveniente o risulta essere una soluzione troppo poco flessibile e mobile. Spesso vengono impiegati moduli fotovoltaici per la produzione di energia e accumulatori per l'immagazzinamento dell'energia. Per esaminare un simile impianto a isola, nell'esperimento vengono impiegati due moduli fotovoltaici con una potenza nominale di 5 W che

caricano un accumulatore nichel-metallo idruro con una capacità di 220 mAh. All'accumulatore è collegato un motore a corrente continua che funge da utenza di consumo, mentre un contatore di carica elettronico misura la carica in entrata o in uscita. Diversamente dalla pratica comune si rinuncia all'impiego di un regolatore di carica.

La tensione nominale U_{Accu} dell'accumulatore è di 8,4 V, tuttavia dipende dallo stato di carica e dalla corrente di carica I_{Accu} e nella pratica arriva a un valore max di 10 V. Essa determina la tensione in tutti i rami collegati in parallelo (vedere fig. 1):

$$(1) \quad U_{Accu} = U_{op} = U_L = U_{Solar}$$

La corrente fornita I_{Solar} viene impiegata come corrente di esercizio I_{Op} dal contatore di carica elettronico, come corrente di carica I_{Accu} dall'accumulatore e come corrente I_L dal carico ohmico collegato. Il bilancio di corrente

$$(2) \quad I_{Solar} = I_{Accu} + I_{Op} + I_L$$

vale anche in caso di correnti di carica negative I_{Accu} , ovvero durante il ciclo di scarica dell'accumulatore.

La corrente di esercizio $I_{Op} = 10$ mA viene determinata dal circuito elettronico del contatore di carica, mentre la corrente di carica I_L dipende dalla resistenza ohmica R_L del carico collegato. L'accumulatore viene dunque caricato, quando l'impianto fotovoltaico fornisce corrente e la resistenza di carico non è troppo piccola.

Per garantire un ciclo di carica affidabile dell'accumulatore anche in presenza di bassa intensità luminosa, l'impianto fotovoltaico è configurato in modo tale che la sua tensione a vuoto U_{OC} è notevolmente superiore alla tensione U_{Accu} . Il confronto con le curve caratteristiche misurate nell'esperienza UE8020100 mostra che ciò può essere ottenuto con certezza tramite un collegamento in serie di due moduli. L'elettricità solare I_{Solar} è, con buona approssimazione, proporzionale all'intensità luminosa E e in condizioni di laboratorio raggiunge valori di max 50 mA, che sono ottimali per il caricamento rapido dell'accumulatore.

Come carichi ohmici vengono impiegati un motore a corrente continua e resistenze collegate a cascata che consentono di esaminare la curva caratteristica corrente di carica-corrente di carico dell'impianto a isola. Inoltre viene confermato che la corrente solare fornita è indipendente dal carico ohmico. Ne risulta che è possibile determinare, ad esempio, la luminosità minima necessaria a caricare l'accumulatore in assenza di tutti i carichi.

NOTA

Se si utilizzano i moduli fotovoltaici a cielo aperto e alla luce diretta del sole è possibile ottenere correnti nettamente superiori. In tal caso non utilizzare l'accumulatore senza carico ohmico collegato, il quale assicura che non venga superata la corrente di carica $I_{Accu} = 44$ mA.

ANALISI

La corrente di esercizio del contatore di carica viene determinata da una carica in uscita dall'accumulatore di 30 s, quando non sono collegati né il modulo, né l'utenza.

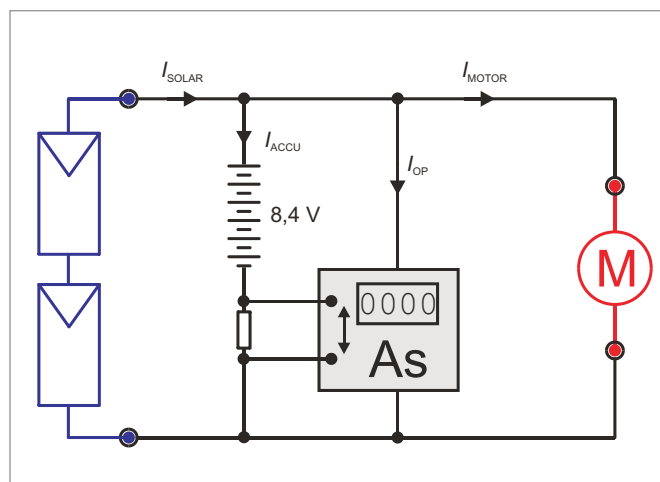


Fig. 1: Schema elettrico a blocchi dell'impianto a isola

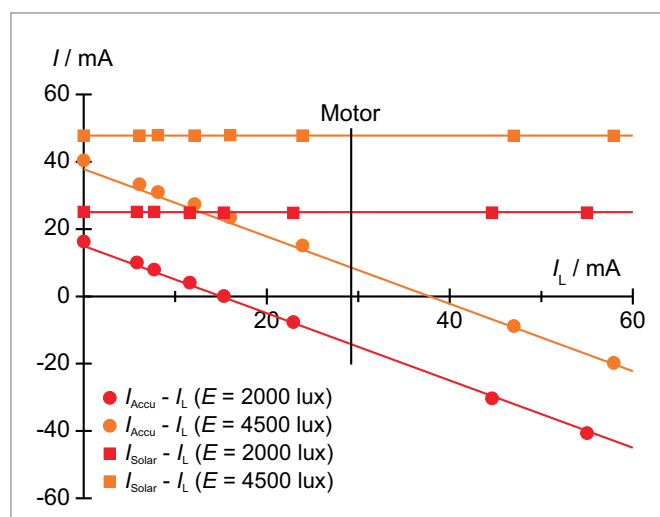


Fig. 2: Curve caratteristiche di sollecitazione dell'impianto a isola

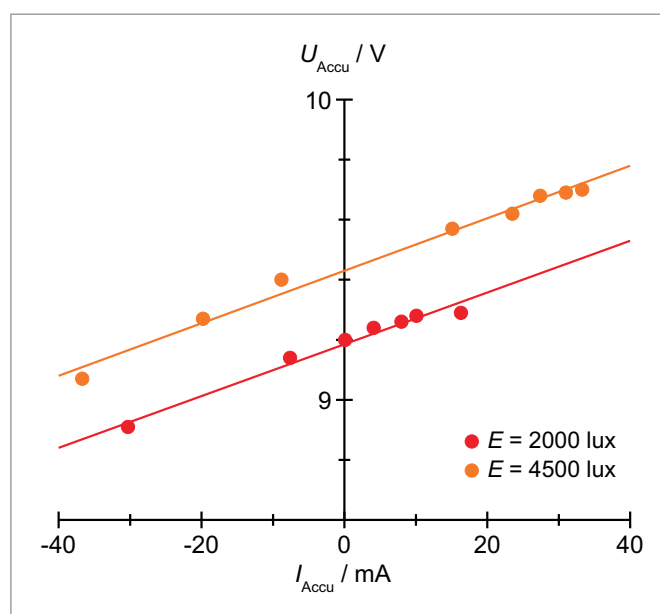
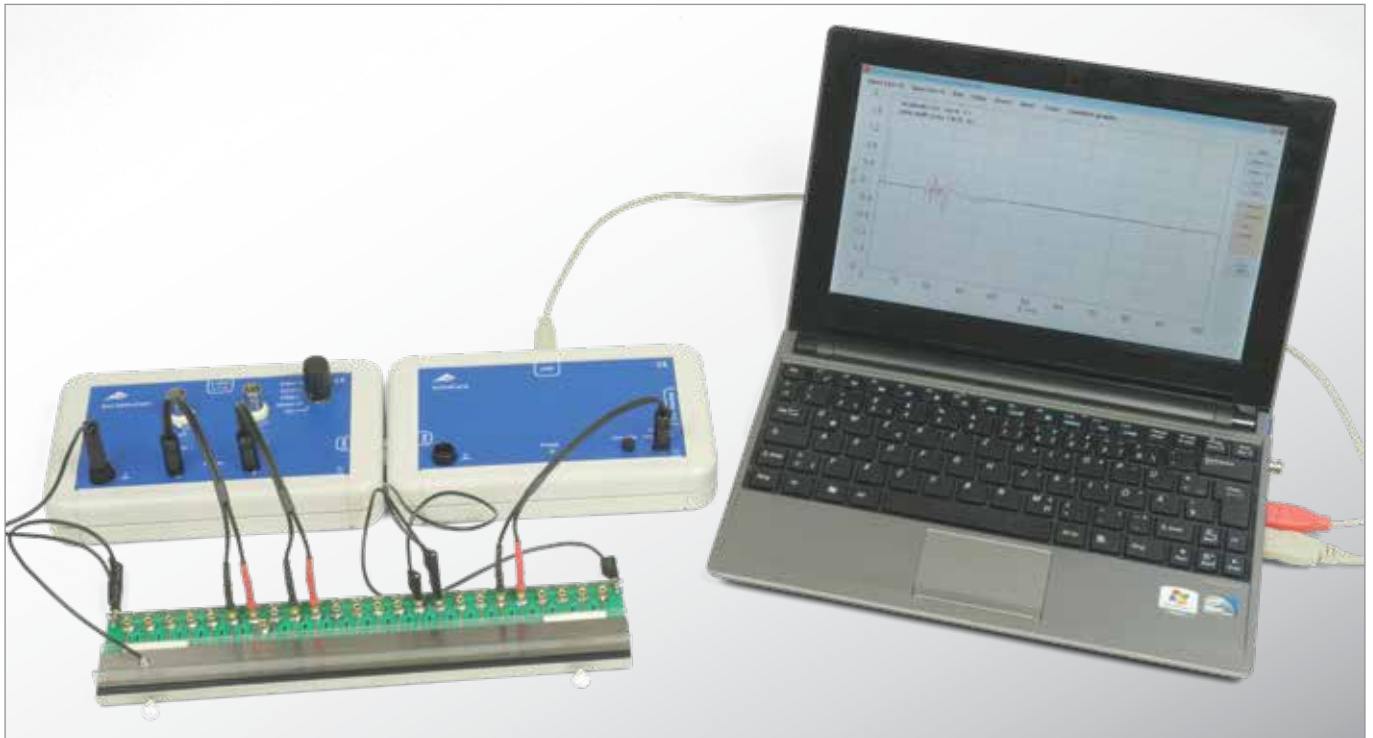


Fig. 3: Curve caratteristiche dell'accumulatore misurate in presenza di diverse intensità luminose. Queste curve caratteristiche si spostano lungo l'asse y verso l'alto o verso il basso a seconda dello stato di carica dell'accumulatore.



> FUNZIONI

- Registrare i potenziali d'azione delle fibre nervose giganti dei lombrichi a seguito di stimolazione elettrica.
- Registrare i potenziali d'azione delle fibre nervose giganti dei lombrichi a seguito di stimolazione elettrica.
- Facoltativo: Registrare un semplice elettromiogramma ed elettrocardiogramma in esseri umani.

AVVERTENZA

Gli esperimenti elettrofisiologici sugli esseri umani non devono essere eseguiti senza un isolamento affidabile dalla tensione di rete!

Utilizzare i valori misurati e le curve di misurazione unicamente a scopi educativi e non utilizzare mai i valori per valutare lo stato di salute di un individuo!

SCOPO

Investigare i potenziali d'azione delle fibre nervose giganti dei lombrichi a seguito di stimolazione elettrica e tattile

RIASSUNTO

In questo adattamento del famoso esperimento della gamba di rana di Luigi Galvani, la fibra nervosa gigante di un lombrico viene dapprima irritata elettricamente. I potenziali d'azione risultanti vengono amplificati e misurati con un'interfaccia. Nella fase successiva, il lombrico viene stimolato tattilmente, determinando nuovamente un potenziale d'azione. Facoltativamente, è possibile registrare un semplice elettrocardiogramma e un semplice elettromiogramma su esseri umani.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Camera di misura per esperimento lombrico	1020601
1	Bio-amplificatore (230 V, 50/60 Hz)	1020599 o
	Bio-amplificatore	1020600
1	Bio-interfaccia di misura	1020602
1	Stimolatore per esperimento lombrico	1020603
	Lombrichi giganti	
Ulteriormente consigliato:		
1	Cavo di collegamento per elettrocardiogramma	1020605
1	Set di 30 elettrodi per ECG / EMG	5006578

BASI GENERALI

Già nel 1790, il ricercatore bolognese *Luigi Galvani* aveva dimostrato sulla gamba di una rana il coinvolgimento di processi elettrici nel funzionamento di nervi e muscoli. Ancora oggi, campioni simili vengono utilizzati per la ricerca sulla funzionalità dei nervi e la contrazione muscolare. Un' alternativa è rappresentata dall'esecuzione degli esperimenti su un lombrico vivo.

Nella prima parte dell'esperimento, un lombrico gigante viene posto a contatto con una serie di elettrodi, collegati a un bio-amplificatore e un'interfaccia di bio-misurazione. La fibra nervosa gigante del lombrico viene quindi stimolata con diversi segnali di tensione a un'estremità. Non appena la tensione supera una determinata soglia, è possibile osservare un potenziale d'azione. Nella fase successiva, il lombrico viene stimolato tattilmente all'estremità posteriore e anteriore, determinando nuovamente l'accumulo di un potenziale d'azione. Dal momento che lo spessore cutaneo su entrambe le estremità del lombrico differisce, è possibile osservare che anche i potenziali d'azione hanno un comportamento differente.

I nervi del lombrico presentano una struttura più semplice rispetto a quelli della rana, il che consente la misurazione degli impulsi nervosi nelle singole fibre nervose. È possibile dimostrare la funzionalità dei potenziali nervosi per i riflessi mostrati dal lombrico intatto. È possibile misurare i meccanismi cellulari per l'assuefazione.

Durante l'esperimento, il lombrico rimane vivo e illeso. Successivamente, può essere rilasciato nel suo habitat naturale.

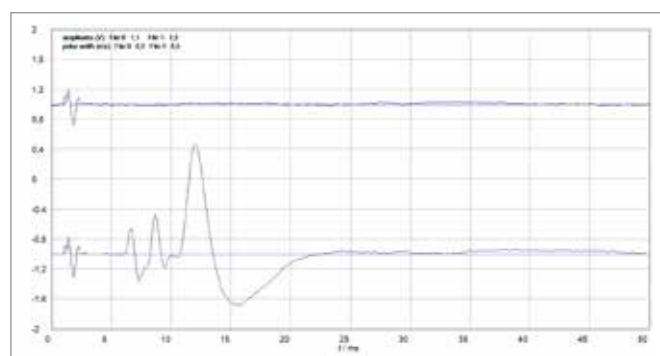


Fig. 1.: Reazioni alle stimolazioni elettriche

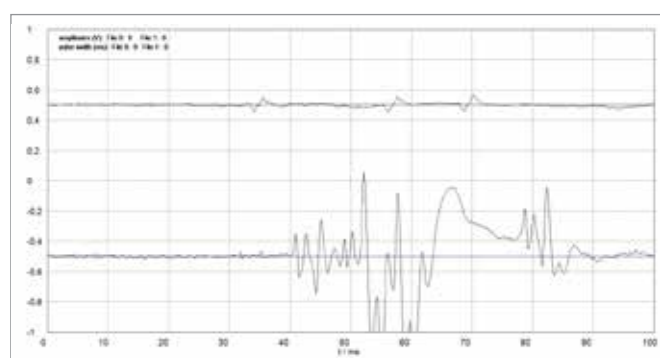


Fig. 2.: Reazioni alla stimolazione tattile all'estremità anteriore (grafico inferiore) e sulla coda (grafico superiore)

ANALISI

La figura 1 mostra le reazioni del lombrico alle stimolazioni elettriche. Nel grafico superiore, la stimolazione è stata troppo debole per suscitare un potenziale nervoso; una stimolazione di soli 0,1 V superiore, nel grafico inferiore, è stata sufficiente a dare origine a un potenziale d'azione.

Nella figura 2 sono indicati i potenziali d'azione dopo la stimolazione tattile all'estremità anteriore (grafico inferiore) e sulla coda (grafico superiore). Dopo la stimolazione all'estremità anteriore, la registrazione ha luogo nelle parti posteriori più estreme del lombrico, mentre le registrazioni successive alle stimolazioni sulla coda avvengono nelle parti anteriori.

Nella figura 3 è illustrato un esempio di elettromiogramma di un bicipite a lenta contrazione.

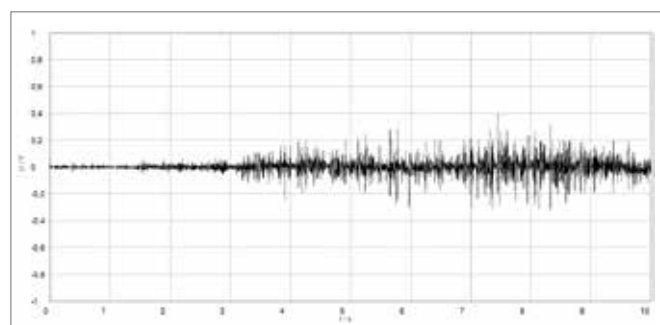
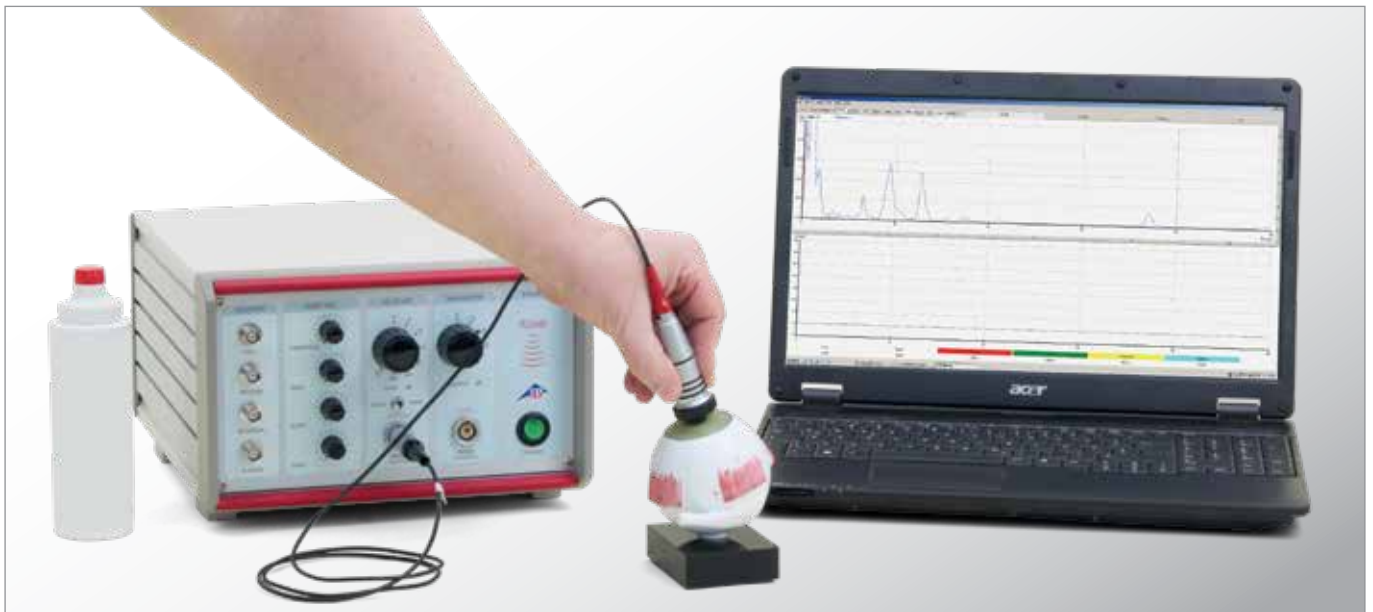


Fig. 3: Elettromiogramma di un bicipite a lenta contrazione

UE9020100 | BIOMETRIA A ULTRASUONI



> FUNZIONI

- Misurare i rapporti biometrici nel modello di occhio umano utilizzando un metodo eco a impulsi.
- Calcolare la geometria dei singoli elementi dell'occhio.

SCOPO

Determinazione delle dimensioni interne in un modello di occhio

RIASSUNTO

In questo esperimento, viene fornita un'applicazione tipica di biometria a ultrasuoni A-scan in diagnostica medica, utilizzata in oftalmologia. In un modellino di un occhio, vengono misurate tutte le parti dell'occhio sano e vengono effettuati calcoli correttivi.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Ecoscopio ad ultrasuoni GS200	1018616
1	Sonda ad ultrasuoni 2MHz GS200	1018618
1	Modello di occhio per biometria a ultrasuoni	1012869
1	Gel accoppiante per ultrasuoni	1008575

BASI GENERALI

Gli ultrasuoni vengono utilizzati anche in oftalmologia. La loro massima importanza si applica al campo della biometria, nella misurazione delle distanze nell'occhio. La distanza tra cornea e retina è molto importante per il calcolo delle caratteristiche del cristallino artificiale impiantato nei pazienti con cataratta. In questo caso, è necessaria una sonografia, dal momento che la cornea o il cristallino sono troppo velati per l'uso di metodi ottici. Le investigazioni dell'umore acqueo e vitreo e dello spessore del cristallino oggi vengono spesso effettuate con nuovi metodi di imaging con luce laser o B-mode a ultrasuoni.

Il tempo di volo misurato degli echi dell'A-scan non può essere calcolato come distanza in modo semplice, a causa delle diverse velocità nei diversi elementi (cornea, cristallino, umore vitreo). Pertanto, è necessario un calcolo correttivo. Per il modellino, vengono fornite due velocità: - cristallino: 2500 m/s, - umori: 1410 m/s. Tali valori e il tempo di volo dell'immagine A-scan misurata verranno utilizzati per determinare le distanze con l'aiuto della seguente equazione:

$$(1) \quad s = v \frac{\Delta t}{2}$$

In diagnostica medica, le "medie" utilizzate sono spesso note per esperienza. Questa velocità media verrà calcolata per il modellino con la seguente equazione:

$$(2) \quad v = \frac{v_1(t_1 + (t_3 - t_2)) + v_2(t_2 - t_1)}{t_3}$$

Viene utilizzato gel di accoppiamento ultrasonico per il collegamento della sonda alla cornea del modellino. Spostare lentamente la sonda sulla cornea per individuare segnali ottimali (2 grossi picchi dal cristallino e uno più piccolo dalla retina). Dopo la misurazione del tempo di volo dei picchi, è possibile calcolare le distanze reali.

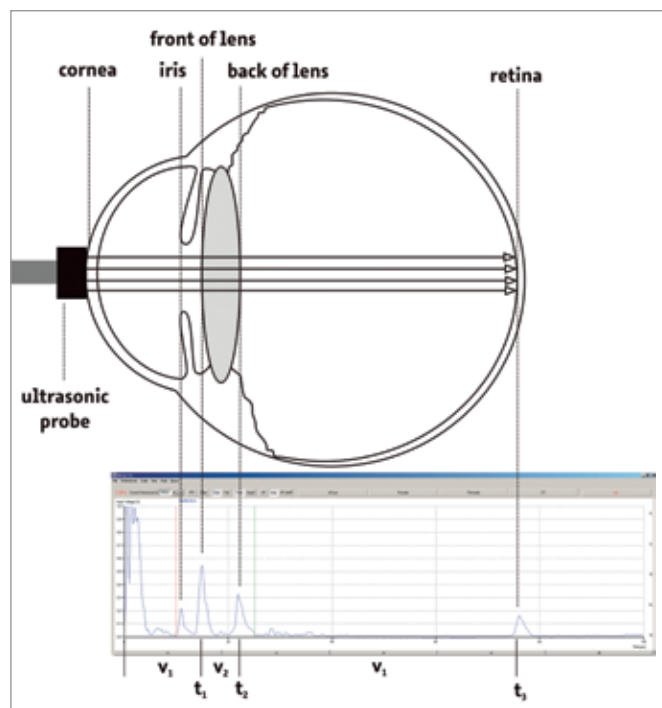


Fig. 1: Immagine A-mode e diagramma schematico dell'occhio umano

ANALISI

È stato misurato il tempo di volo di ciascun picco ed è stata calcolata la velocità media con l'equazione (2). Il risultato è stato regolato in base al dispositivo A-scan, è stato trasferito alla scala di profondità ed è stata misurata la profondità di ciascun picco.

Velocità in m/s

(Umore acqueo/vitreo) 1410 m/s

(Cristallino) 2500 m/s

Valori:	Fronte del cristallino	Retro del cristallino	Retina
Tempo in 10^{-6} s	13,7	21,1	74,8
Velocità media	1518 m/s		
Profondità misurata in mm	11,9	15,9	42,5
Profondità reale in mm	9,66	18,91	56,77
Spessore/distanza in mm	9,66	9,25	37,86

UE9020200

TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA A ULTRASUONI



> FUNZIONI

- Registrare un'immagine CT a ultrasuoni
- Analizzare i diversi parametri di misurazione
- Investigare l'influenza di filtraggio ed elaborazione di immagini

SCOPO

Investigare la formazione di un'immagine CT a ultrasuoni e i relativi parametri pertinenti

RIASSUNTO

Vengono illustrati i vari passaggi della formazione di una tomografia computerizzata. Viene analizzata la differenza tra smorzamento e velocità del suono come parametri di misurazione. Viene investigata l'influenza di filtraggio ed elaborazione di immagini.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Ecoscopio ad ultrasuoni GS200	1018616
1	Controllo CT	1017783
1	Scanner CT	1017782
1	Vasca di misurazione CT	1017785
1	Campione CT	1017784
2	Sonda ad ultrasuoni 2MHz GS200	1018618
1	Gel accoppiante per ultrasuoni	1008575

BASI GENERALI

TC radiografica, MRT e PET sono tecniche di imaging assistite da computer, utilizzate in diagnostica medica, industria e ricerca. Processi come assorbimento di radiazioni, risonanza magnetica nucleare o emissione di particelle vengono utilizzati per produrre immagini in sezione trasversale per mezzo di quantità fisiche adeguatamente misurabili. La tomografia computerizzata a ultrasuoni è un altro metodo di TC. Differisce dalla TC radiografica perché anziché misurare l'attenuazione dei raggi X, vengono misurati l'attenuazione e i tempi di volo dei segnali ultrasonici nell'oggetto di test. Con la TC a ultrasuoni, le scansioni lineari vengono registrate a diverse angolazioni e integrate per formare un'immagine in sezione trasversale. In questo processo, il campione disposto tra la sonda di trasmissione e la sonda ricevente viene spostato e girato sotto controllo del computer. La sovrapposizione delle proiezioni di scansioni individuali può essere seguita passo per passo sul PC.

Per formare l'immagine, si utilizzano l'attenuazione acustica e la velocità del suono. Il coefficiente di attenuazione del suono μ risulta dall'ampiezza misurata A e l'ampiezza senza campione A_0 in linea con la legge di attenuazione:

$$(1) \quad \mu \propto \ln \frac{A_0}{A}$$

Per la generazione del tomogramma della velocità del suono, viene utilizzato il tempo di volo come quantità di misurazione ed è valido quanto segue:

$$(2) \quad c \propto \frac{t_0}{t}$$

où t_0 est le temps de vol mesuré sans l'échantillon (la longueur de dove t_0 è il tempo di volo misurato senza il campione (la lunghezza del percorso s è costante).

Il campione (campione di smorzamento o velocità) viene fissato al relativo supporto e, per mezzo del comando dello scanner, viene posizionato esattamente tra i due sensori. Quindi il supporto del campione viene spostato a metà del percorso di scansione, gli intervalli di accuratezza di scansione e numero di angolazioni vengono regolati e viene avviata la scansione TC. Durante le misurazioni, vengono osservate le singole scansioni lineari e viene studiata la generazione dei tomogrammi mediante sovrapposizione delle proiezioni delle scansioni lineari. Le immagini derivanti vengono ottimizzate per mezzo di vari filtri e tramite la regolazione di luminosità e contrasto, quindi il tomogramma di smorzamento viene confrontato con il tomogramma della velocità.

ANALISI

Il segnale di trasmissione (il diagramma in alto a sinistra nella Fig. 1) è stato misurato in relazione alla massima ampiezza e al tempo di volo della massima ampiezza e da questo è stato realizzato un profilo lineare (scansione a un'angolazione, distanza dei punti di 500 μm) (schema in basso a sinistra). La sovrapposizione per mezzo dell' algoritmo TC (intervalli di 25 angoli) determina l'attenuazione acustica nell'immagine in alto a sinistra (non filtrata, contrasto modificato) e la velocità del suono nell'immagine in alto a destra (sempre non filtrata, contrasto modificato). Filtrando l'immagine dell'attenuazione si migliora il contrasto, così i bordi diventano visibili (perdite di riflesso). La parte interna si distingue a malapena dall'acqua circostante, nell'immagine della velocità del suono (destra) il campione e l'inclusione sono chiaramente visibili come regioni omogenee di una diversa velocità del suono.

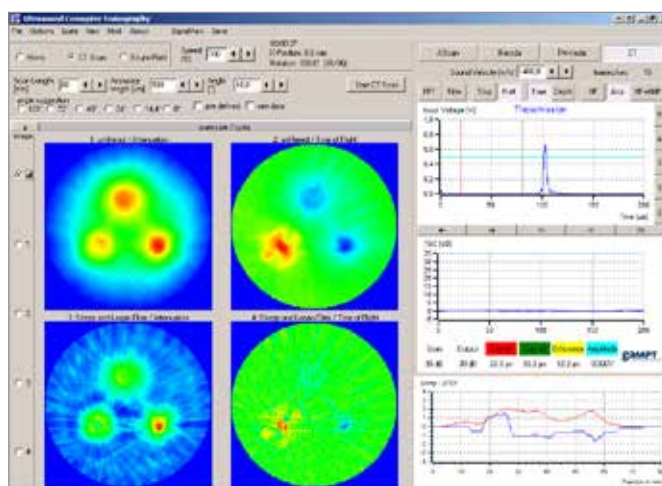
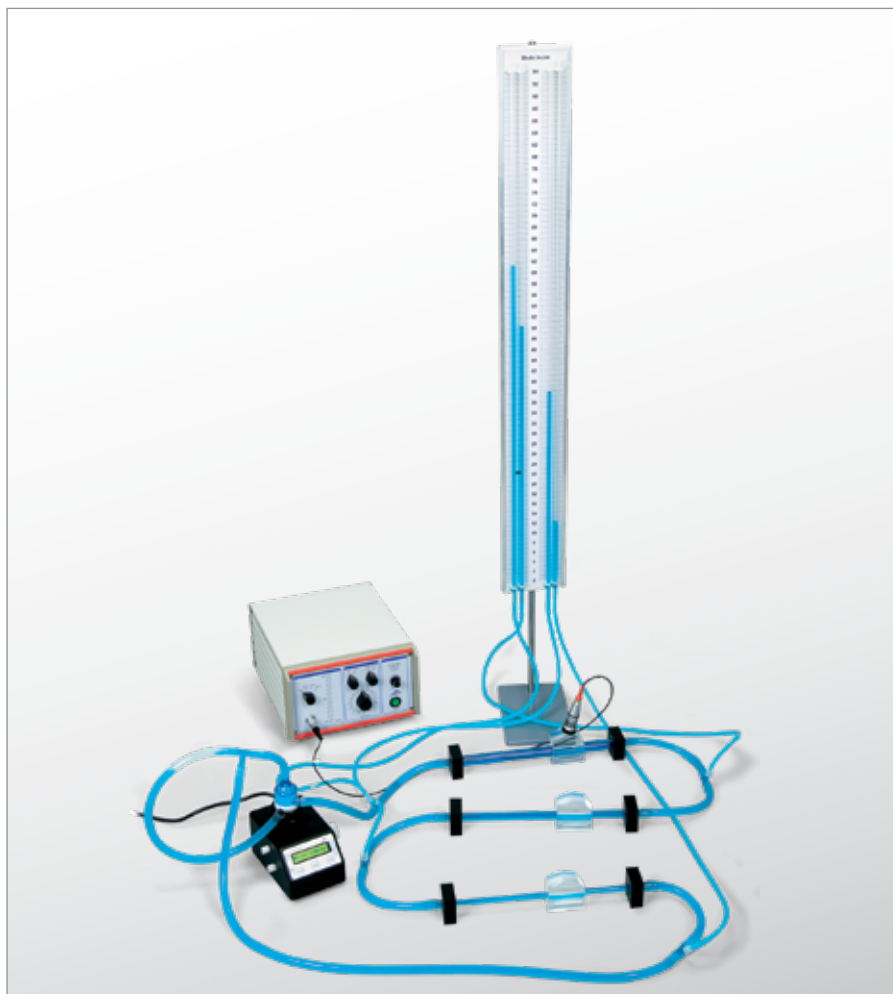


Fig. 1: Immagine screenshot con tomogrammi di attenuazione e tempo di volo del campione TC

UE9020300 | MECCANICA DI FLUSSO



SCOPO

Investigare le caratteristiche fondamentali dei liquidi a flusso stazionario e laminare utilizzando il metodo Doppler a ultrasuoni

> FUNZIONI

- Misurare la variazione di frequenza Doppler per diverse velocità della pompa e le cadute di pressione dei tubi di livello.
- Determinare portata di flusso, resistenze di flusso e viscosità dinamica del liquido Doppler utilizzando l'equazione di continuità, l'equazione di Bernoulli e l'equazione di Hagen-Poiseuille.
- Calcolare i numeri di Reynold per le diverse velocità del flusso e diametri dei tubi.

RIASSUNTO

Le misurazioni dei flussi secondo il metodo Doppler a ultrasuoni vengono utilizzate per dimostrare le leggi fondamentali che regolano il flusso di liquidi nei tubi e la loro dipendenza dalla velocità del flusso e dalla geometria dei tubi. Viene esaminato il rapporto tra velocità del flusso e sezione trasversale del tubo (condizione di continuità) e tra la resistenza del flusso e il diametro del tubo (legge di Hagen-Poiseuille).

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio Doppler a ultrasuoni	1022330
1	Sonda ad ultrasuoni 2MHz GS200	1018618
1	Set prismi doppler e tubi di flusso	1002572
1	Tubi montanti per misurazione della pressione	1002573
1	Liquido phantom doppler	1002574
1	Pompa centrifuga	1002575
1	Gel accoppiante per ultrasuoni	1008575

BASI GENERALI

L'effetto Doppler nella diagnostica medica si applica nell'investigazione dei movimenti di scorrimento e strutture mobili, come diagnostica cardiologica, vasi sanguigni arteriosi e venosi, circolazione sanguigna cerebrale e controllo postoperatorio dei vasi sanguigni.

Un liquido a flusso stazionario è caratterizzato da un flusso costante di liquido in ciascun punto del sistema. Pertanto, l'equazione di continuità per due diverse aree di tubi A_1 e A_2 è la seguente:

$$(1) \quad A_1 v_1 = A_2 v_2 = \dot{V} = \text{const.}$$

In cui v_1 e v_2 sono le velocità medie nella rispettiva sezione e \dot{V} la portata del flusso (volume per unità di tempo). La pressione statica in un liquido che scorre è sempre inferiore rispetto a un liquido privo di movimento e diminuisce all'aumentare della velocità del flusso (equazione di Bernoulli). Per il flusso attraverso un tubo orizzontale (senza pressione gravitazionale), la pressione p_0 totale è:

$$(2) \quad p + \frac{1}{2} \rho v^2 = p_0$$

Solo in un liquido privo di attrito p_0 è costante. In un flusso pertinente all'attrito, la pressione totale diminuisce in relazione alla viscosità η , la lunghezza l , la sezione trasversale A della regione di attraversamento e la portata del flusso \dot{V} . Per i liquidi con velocità di flusso non troppo alte (flusso laminare) in tubi stretti, la legge di Hagen-Poiseuille è valida per la caduta di pressione Δp :

$$(3) \quad \Delta p = R \dot{V}$$

$$(4) \quad R = \frac{8 l}{\pi r^4} \eta$$

dove r è il raggio del tubo e l è la lunghezza. Questo significa che una riduzione del diametro del vaso della metà determina un aumento della resistenza del flusso a 16 volte. Secondo questo principio, i vasi sanguigni regolano la distribuzione del sangue tra le estremità e gli organi interni.

Una circolazione viene costruita a partire da 3 linee di tubi di pari lunghezza ma diverso diametro. All'inizio e alla fine di ciascuna linea è presente un punto di misurazione di pari diametro. Nelle linee dei tubi, la velocità media viene misurata per 3 diverse portate del flusso (3 diverse tensioni nella pompa centrifuga) per mezzo del prisma Doppler e FlowDop. Conoscendo le velocità di flusso misurate, è possibile determinare la portata del flusso dopo (1) e confrontarla. Nei punti di misurazione, è possibile misurare la caduta di pressione causata dalla resistenza del flusso. Calcolando la portata del flusso da (1), è possibile determinare la resistenza del flusso dopo (4) e, da qui, è possibile ottenere la viscosità dinamica del liquido utilizzando la geometria nota.

ANALISI

Dalle portate del flusso misurate e le specifiche aree a sezione trasversale, è possibile calcolare il flusso corrispondente. Ciò è quasi equivalente, in questa configurazione sperimentale, per tutti i diametri dei tubi per le stesse impostazioni della pompa centrifuga, soddisfacendo così l'equazione di continuità. Come conseguente risultato, lo schema seguente mostra la resistenza del flusso R determinata per diversi diametri dei tubi e diversi flussi. Questo mostra la forte dipendenza dal raggio del tubo r prevista per l'equazione di Hagen-Poiseuille:

$$R \sim \frac{1}{r^4}$$

La Fig. 1 mostra che la portata del flusso viene calcolata dalla velocità misurata e l'area è quasi identica con tutti i diametri dei tubi per pari tensioni e, di conseguenza, l'equazione di continuità è soddisfatta.

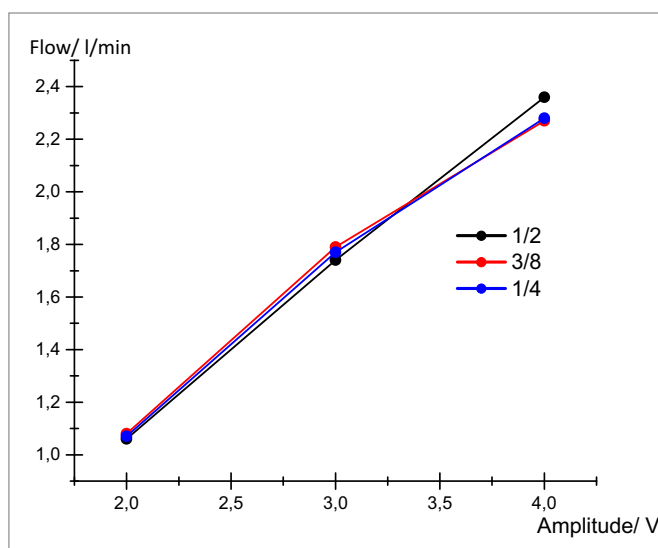


Fig. 1.: Portate del flusso per diversi diametri dei tubi

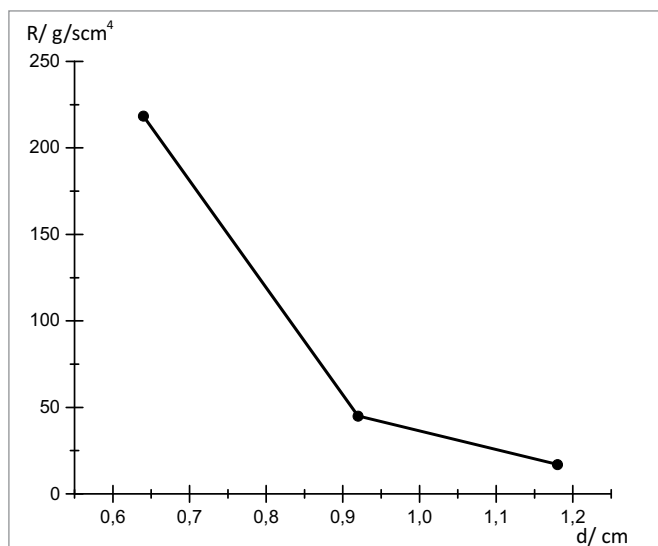


Fig. 2.: Resistenza per diversi diametri dei tubi

UE9020400 | SONOGRAFIA DOPPLER



> FUNZIONI

- Esami sonografici Doppler di un modello di braccio umano
- Misurazione della velocità del flusso sanguigno
- Diagnosi di stenosi (restrizione vascolare) in un braccio
- Registrazione delle curve spettrale e polso Doppler

SCOPO

Sonografia Doppler - Investigazione di un modello di braccio

RESUME

L'obiettivo dell'esperimento è apprendere come vengono effettuate le misurazioni del flusso sanguigno con l'ecoDoppler. Viene utilizzato un modello di braccio realistico per mostrare le differenze tra il flusso continuo (venoso) e pulsatile (arterioso) e tra flusso sanguigno normale e stenosi.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio Doppler a ultrasuoni	1022330
1	Kit braccio phantom	1022331
1	Pompa centrifuga	1002575
1	Gel accoppiante per ultrasuoni	1008575

BASI GENERALI

La sonografia Doppler utilizza l'effetto Doppler per valutare se le strutture (solitamente il sangue) si spostano verso la sonda ultrasonica o in direzione opposta e la relativa velocità. Calcolando la variazione di frequenza di un particolare volume campione, ad esempio un getto di flusso sanguigno su una valvola cardiaca, è possibile determinare e visualizzare velocità e direzione di tale volume campione. La variazione di frequenza Doppler è la differenza di frequenza ultrasonica tra l'eco trasmesso e ricevuto, ovvero la frequenza di eco meno la frequenza trasmessa. La frequenza Doppler è proporzionale alla velocità del flusso sanguigno.

La sonografia Doppler è particolarmente utile negli studi cardiovascolari (sonografia del sistema vascolare e cardiaco) e fondamentale in numerose aree, come la determinazione del flusso sanguigno inverso nel sistema vascolare epatico nell'ipertensione portale. Le informazioni Doppler vengono visualizzate graficamente utilizzando il Doppler spettrale o come immagine utilizzando il Color Doppler.

Per l'esperimento, viene attivata una pompa e la velocità viene regolata su un intervallo medio (ca. 4000min⁻¹). La modalità è GK (continuo, venoso). Con la sonda Doppler e il gel di accoppiamento, il modello di braccio viene scansionato per rilevare un caso con notevole segnale audio.

Il flusso nell'immagine spettrale viene analizzato per individuare componenti negativi e positivi. La direzione della sonda viene poi modificata di 180°. Quindi il vaso viene scansionato per rilevare modifiche all'immagine spettrale (stenosi) e verranno caratterizzate le differenze tra le immagini del vaso "sano" e della stenosi.

Infine, la pompa viene fatta passare alla modalità P_1 e P_2 (pulsatile), vengono analizzate le immagini e determinata la frequenza di polso.

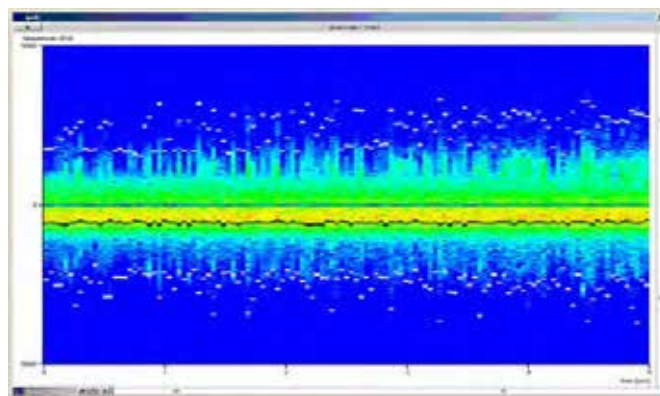


Fig. 1: Spettro Doppler del flusso sanguigno nelle vene

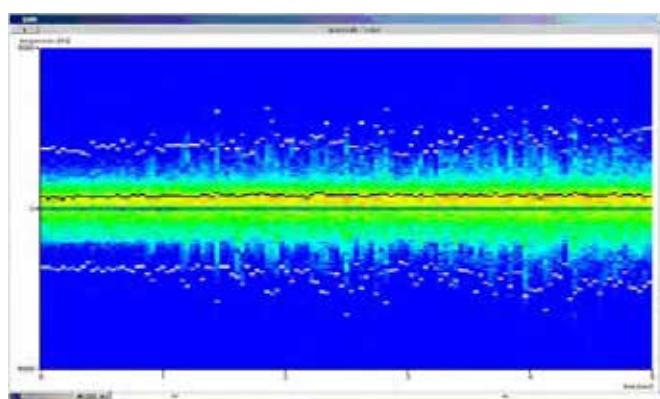


Fig. 2: Distribuzione spettrale con sonda ruotata

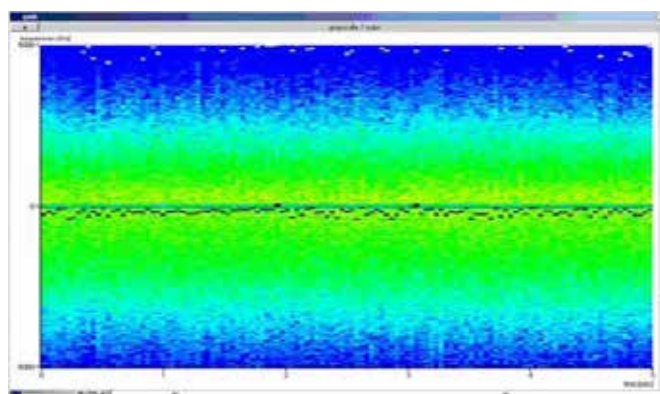


Fig. 3: Spettro Doppler di una stenosi

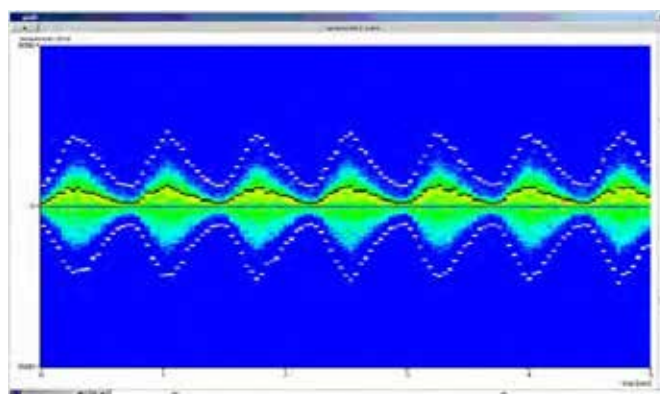


Fig. 4: Flusso pulsatile

ANALISI

La figura 1 mostra un flusso continuo (venoso) con variazione Doppler di ca. -700 Hz. Il meno nella variazione Doppler indica un flusso in direzione opposta alla sonda.

La figura 2 è la distribuzione spettrale con sonda ruotata. Flusso in direzione della sonda (stessa variazione Doppler, ma positiva).

La figura 3 rappresenta l'immagine Doppler spettrale di una stenosi. Le differenze con un'immagine normale (sana) come mostrato nella figura 1 sono:

1. Aumento locale della massima variazione Doppler (massima velocità di flusso).
2. Riduzione della frequenza media e ampliamento degli spettri.
3. Aumento del fenomeno del reflusso (parti negative e positive degli spettri).

La figura 4 mostra il flusso pulsatile di P_1 con una frequenza di polso di ca. 90min⁻¹.

ESPERIMENTI PER STUDENTI

OSCILLAZIONI E ONDE MECCANICHE



> DOTAZIONE:

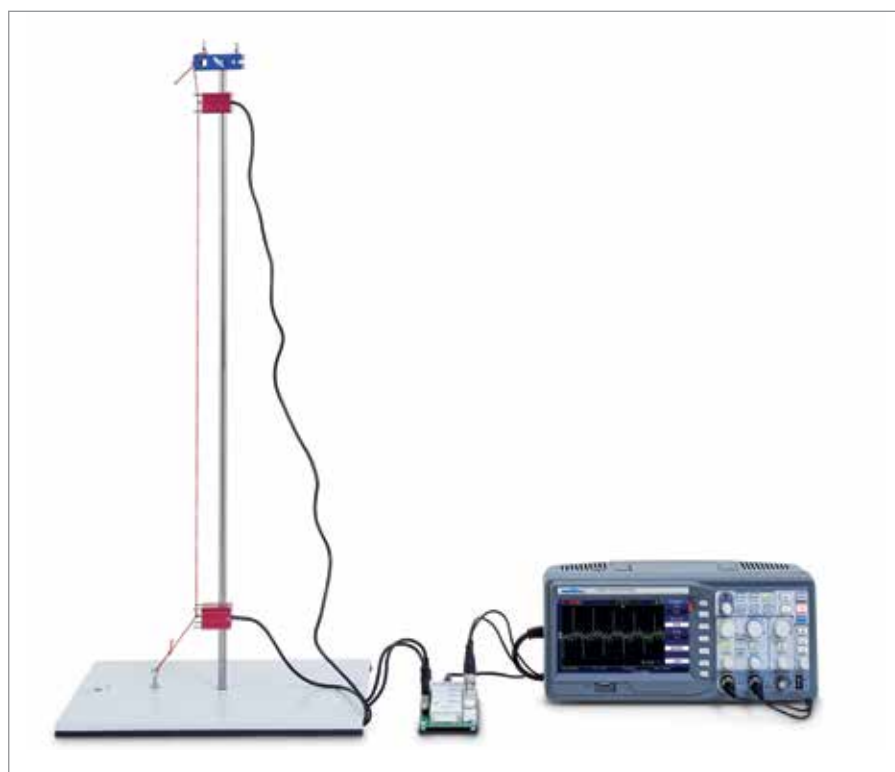
- 1 apparecchio MEC
- 1 alimentatore a spina
- 2 sensori di forza dinamici
- 1 motore eccentrico
- 1 bobina d'induzione
- 1 cronometro
- 4 molle ad elica
- 1 set di 10 pesi da 50 g
- 1 piastra di base
- 1 asta trasversale
- 2 aste di supporto con filettatura esterna
- 2 aste di supporto con filettatura interna ed esterna
- 2 doppi manicotti
- 1 attacco magnetico
- 1 magnete a barra circolare
- 1 corda di gomma
- 1 rocchetto di filo di canapa per legature
- 1 bobina
- 1 anello di sfasamento
- 1 metro pieghevole
- 2 cavi BNC, 1 m
- 1 cavo BNC/ 4 mm

> CD CON DESCRIZIONI DI ESPERIMENTI COMPRESO!

Kit completo per l'esecuzione di 23 esperimenti basilari sulle proprietà di oscillazioni meccaniche e onde. In scatola in plastica stabile con inserto in con alloggiamenti per componenti e coperchio trasparente. Incluso CD con descrizioni di esperimenti.

SES Oscillazioni e onde meccaniche (230 V, 50/60 Hz)

SES Oscillazioni e onde meccaniche (115 V, 50/60 Hz)



Riflessione delle onde di una corda

- Determinazione degli indici di rigidità (2x)
- Oscillazioni di un pendolo a molla *
- Oscillazioni di due pendoli a molla "uguali" * / **
- Oscillazioni di due pendoli a molla „uguali“ in fase o in opposizione di fase * / **
- Eccitazione di un pendolo a molla fermo attraverso un pendolo a molla oscillante * / **
- Sovrapposizione delle oscillazioni di due pendoli a molla * / **
- Pendolo a molla con disposizione della molla in serie * / **
- Pendolo a molla con disposizione della molla in parallelo * / **
- Oscillazioni proprie di un pendolo a molla *
- Forme delle oscillazioni di una molla a elica *
- Pendolo a filo (2x)
- Pendolo a secondi
- Pendolo di Galileo
- Oscillazioni smorzate di un pendolo a molla (2x) *
- Onde stazionarie di una corda (2x) *
- Riflessione delle onde di una corda *
- Velocità di propagazione delle onde di una corda (2x)*
- Vibrazioni delle corde *

Dotazione oscillazioni e onde meccaniche:

1016652 SES Oscillazioni e onde meccaniche (230 V, 50/60 Hz)

oppure

1018476 SES Oscillazioni e onde meccaniche (115 V, 50/60 Hz)

Oscilloscopio a due canali, p.e.

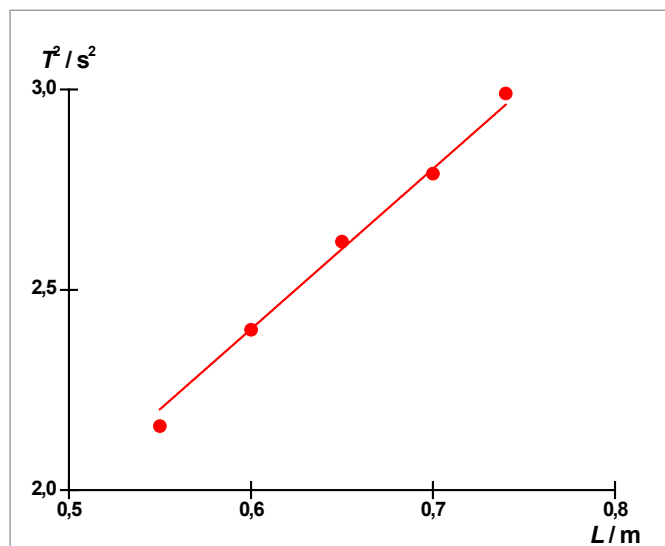
1020910 Oscilloscopio digitale 2x30 MHz

(per esperimenti con contrassegno *)

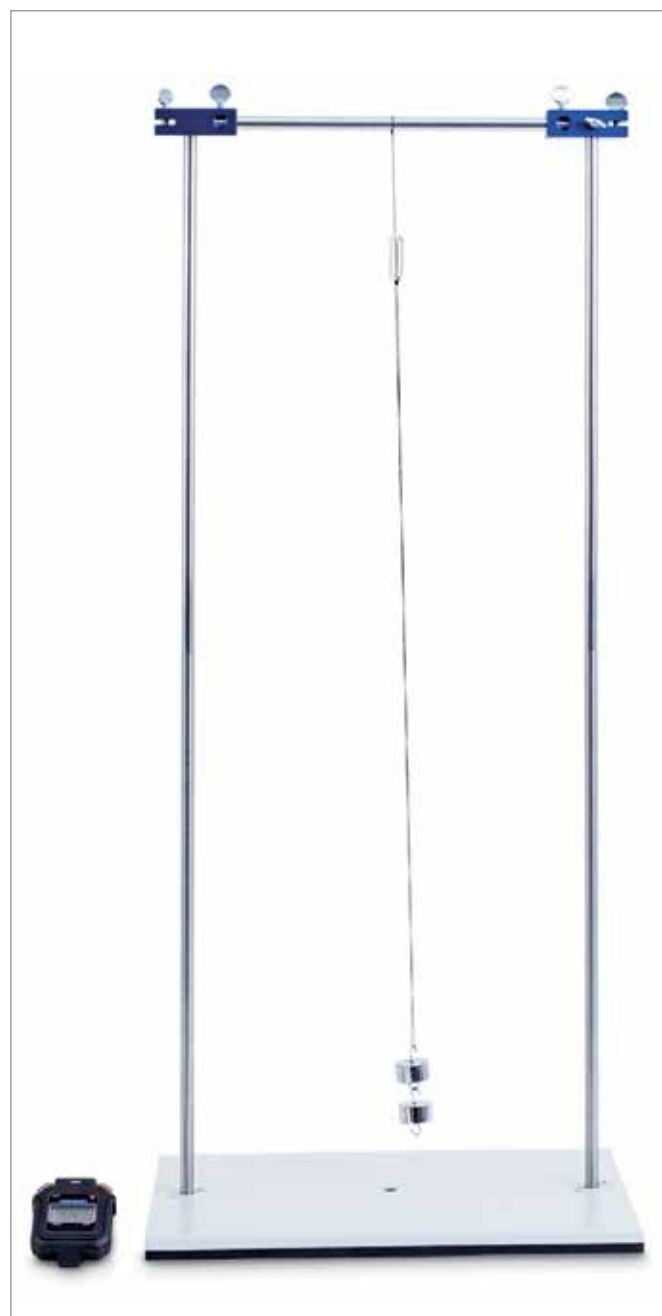
1013526 Multimetro analogico ESCOLA 30

(per esperimenti con contrassegno **)

RICHIEDETE GLI SCONTI SPECIALI SUI SET PER LA CLASSE A PARTIRE DA 8 PEZZI



Quadrato del periodo in funzione della lunghezza del pendolo



Pendolo a filo

KIT DI ESPERIMENTI PER STUDENTI

ONDE ULTRASONORE



> DOTAZIONE:

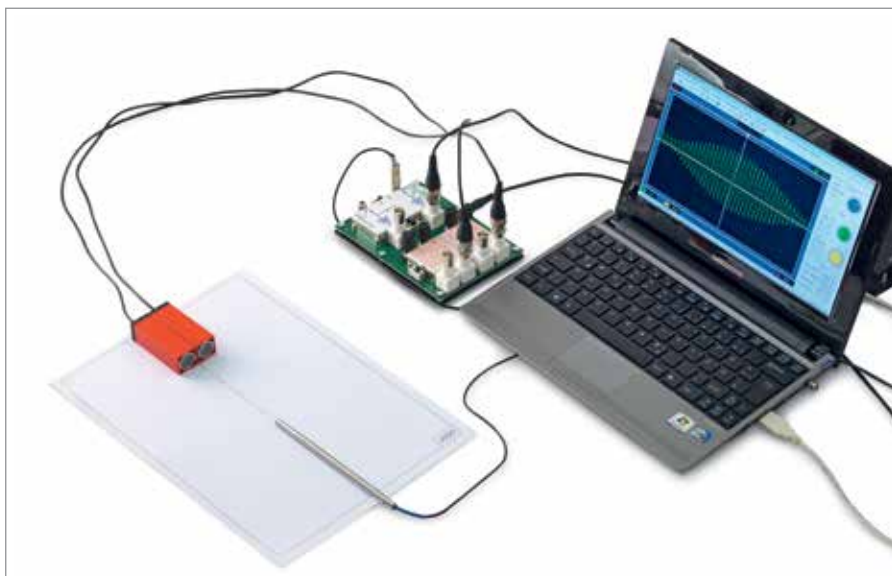
- 1 apparecchio a ultrasuoni
- 2 trasmettitori di ultrasuoni da 40 kHz
- 1 penna a ultrasuoni
- 1 supporto per penna a ultrasuoni
- 1 base del supporto per penna a ultrasuoni
- 1 sonda microfono
- 2 divisori di fascio
- 3 morsetti per divisore di fascio
- 1 piastra di zone Fresnel
- 1 specchio concavo
- 2 elementi laterali per doppia fenditura / riflettori
- 1 barra centrale per doppia fenditura
- 1 morsetto per doppia fenditura
- 1 assorbitore per ultrasuoni
- 2 cavi BNC, 1 m
- 1 cavo BNC/ 4 mm
- 1 alimentatori ad innesto

> CD CON DESCRIZIONI DI ESPERIMENTI COMPRESO!

Kit completo per lo studio delle proprietà basilari delle onde sfruttando di onde ultrasonore da 40 kHz in 30 esperimenti scolastici. In scatola in plastica stabile con inserto in con alloggiamenti per componenti e coperchio trasparente. Incluso CD con descrizioni di esperimenti. Con due trasmettitori di ultrasuoni, una sonda microfono ad asta per la registrazione e l'analisi delle oscillazioni con un oscilloscopio standard e una penna a ultrasuoni per la registrazione di fronti d'onda sul piano del tavolo come linee di fase uguale (isofasi). Molti esperimenti possono essere eseguiti anche senza oscilloscopio. Per la misurazione delle ampiezze ultrasonore basta in molti casi un voltmetro analogico per tensioni alternate con una sufficiente risposta in frequenza.

1016651 SES Onde ultrasonore (230 V, 50/60 Hz)

1014529 SES Onde ultrasonore (115 V, 50/60 Hz)



INCLUSE 30 DESCRIZIONI DI ESPERIMENTI PER ONDE ULTRASONORE:

- Rappresentazione di vibrazioni sonore sull'oscilloscopio *
- Correlazione tra oscillazioni e onde *
- Confronto delle oscillazioni su due punti di un'onda *
- Analisi delle relazioni di fase con la penna ad ultrasuoni *
- Determinazione della lunghezza d'onda e della velocità del suono
- Dipendenza dalla temperatura della velocità del suono
- Caratteristica di trasmissione del trasmettitore di ultrasuoni **
- Curva di risonanza del convertitore a ultrasuoni *
- Trasmissione e riflessione delle onde ultrasonore **
- Assorbimento di onde ultrasonore **
- Sovrapposizione di oscillazioni sinusoidali *
- Amplificazione ed estinzione in caso di sovrapposizione delle oscillazioni sinusoidali *
- Registrazione dei fronti d'onda con la penna ad ultrasuoni
- Creazione e dimostrazione di fronti d'onda piani
- Diffrazione di onde ultrasonore su un bordo
- Diffrazione di onde ultrasonore sulla fenditura singola
- Interferenza fra due raggi **
- Legge di reciprocità con l'interferenza fra due raggi **
- Diffrazione su doppia fenditura **
- Relazioni di fase con diffrazione su fenditura doppia I *
- Relazioni di fase con diffrazione su fenditura doppia I **
- Raffigurazione con uno specchio concavo sferico **
- Costruzione di zone Fresnel **
- Raffigurazione con una piastra di zone Fresnel **
- Interferenza di onde ultrasonore su uno specchio di Lloyd**
- Struttura di un interferometro semplice **
- Struttura di un interferometro di Michelson **
- Eliminazione dell'interferenza interrompendo il percorso *
- Creazione di onde ultrasonore stazionarie **
- Battimento con onde ultrasonore *
- Effetto Doppler con onde ultrasonore

Dotazione supplementare necessaria:

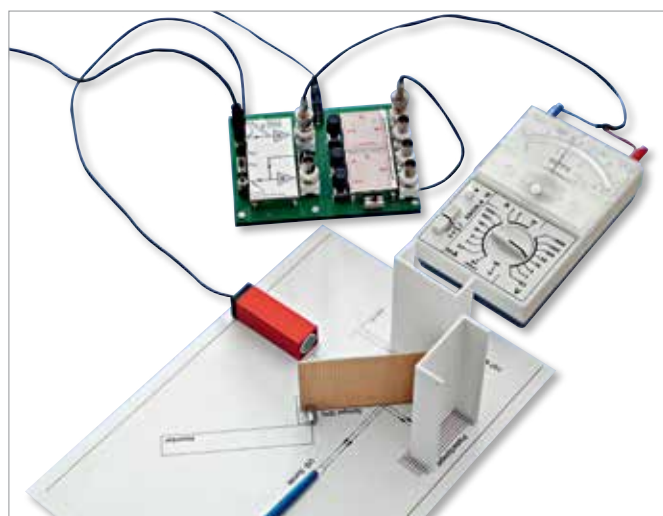
1020857 Oscilloscopio PC 2x25 MHz

(per esperimenti con contrassegno *)

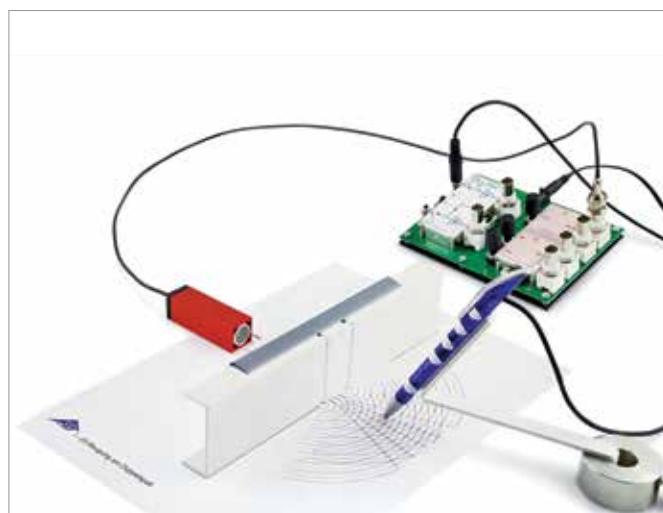
1013526 Multimetro analogico ESCOLA 30

(per esperimenti con contrassegno **)

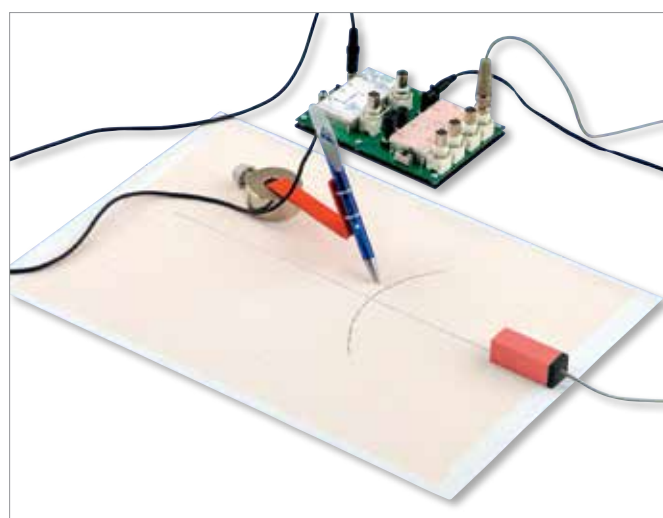
RICHIEDETE GLI SCONTI SPECIALI SUI SET PER LA CLASSE A PARTIRE DA 8 PEZZI



Interferometro di Michelson



Diffrazione su doppia fenditura



Registrazione di fronti d'onda

KIT DI ESPERIMENTI PER STUDENTI OTTICA DI KRÖNCKE



> DOTAZIONE:

- 1 lampada ottica K
- 1 trasformatore 12 V, 25 VA
- 1 banco ottico, 1.000 mm
- 6 cavalieri ottici K
- 2 morsetti K
- 2 lenti convergenti K, $f = 50$ mm
- 2 lenti convergenti K, $f = 100$ mm
- 2 lenti convergenti K, $f = 150$ mm
- 1 lente convergente K, $f = 300$ mm
- 1 lente convergente K, $f = 500$ mm
- 1 lente divergente K, $f = -100$ mm
- 1 lente divergente K, $f = -500$ mm
- 1 diaframma con 1 fenditura
- 3 diaframmi con 3 fenditure
- 1 foto in telaio per diapositive
- 1 schermo, trasparente
- 1 schermo, bianco
- 1 set di 4 filtri colorati
- 1 scala, 15 mm
- 1 sagoma traforata
- 1 diaframma con foro, $d = 1$ mm
- 1 diaframma con foro, $d = 6$ mm

> CD CON DESCRIZIONI DEGLI ESPERIMENTI COMPRESO!

OTTICA KRÖNCKE NEGLI ESERCIZI DIDATTICI E NELLA PRATICA

Il sistema ottico di Kröncke garantisce un grado di affidabilità elevato, collaudato negli anni, e offre la precisione necessaria per gli esercizi didattici e pratici in numerosi esperimenti di ottica geometrica e ondulatoria. Gli esperimenti vengono eseguiti in modo classico utilizzando la luce bianca di una lampadina, il cui filamento viene riprodotto attraverso una fenditura regolabile in particolare per l'osservazione di interferenza.

Tutti i componenti ottici vengono installati su schermi senza asta e per ottenere la debita precisione possono essere spinti senza problemi anche perpendicolarmente al percorso della luce. I cavalieri ottici possono essere spostati liberamente sul profilo a U del banco ottico e bloccati con sforzo minimo.

OTTICA GEOMETRICA:

- Camera oscura a foro
- Riproduzione dell'immagine mediante lente convergente
- Aberrazioni ottiche
- Riproduzione dell'immagine nell'occhio (modello dell'occhio)
- Correzione degli errori di visione
- Lente di ingrandimento
- Microscopio
- Cannocchiale astronomico
- Cannocchiale terrestre
- Proiettore per diapositive

Dotazione per ottica geometrica:

- 1009932 Set di base per ottica di Kröncke (230 V, 50/60 Hz)
- oppure
- 1009931 Set di base per ottica di Kröncke (115 V, 50/60 Hz)

POLARIZZAZIONE:

- Polarizzazione di onde trasversali
- Polarizzatore e analizzatore
- Visibilità di luce polarizzata in acqua torbida
- Doppia rifrazione
- Rotazione dei piani di polarizzazione in una soluzione zuccherina

Dotazione polarizzazione:

- 1009932 Set di base per ottica di Kröncke (230 V, 50/60 Hz)
oppure
1009931 Set di base per ottica di Kröncke (115 V, 50/60 Hz)
1009701 Kit aggiuntivo polarizzazione

KIT AGGIUNTIVO POLARIZZAZIONE

Kit aggiuntivo per kit base ottica Kröncke (1009932 o 1009931) per l'esecuzione di esperimenti scolastici sulla polarizzazione delle onde luminose.

Dotazione:

- 1 paio di filtri di polarizzazione K
1 diaframma di apertura 10 mm
1 cuvetta, rettangolare
1009701

INTERFERENZA:

- Specchio di Fresnel
- Diffrazione su piccole aperture e dischi
- Diffrazione su fenditura
- Diffrazione lungo un filo
- Diffrazione su fenditure multiple
- Diffrazione su un reticolo
- Potere di risoluzione ottico
- Determinazione della lunghezza d'onda della luce

Dotazione interferenza:

- 1009932 Set di base per ottica di Kröncke (230 V, 50/60 Hz)
oppure
1009931 Set di base per ottica di Kröncke (115 V, 50/60 Hz)
1009700 Kit aggiuntivo Interferenza

KIT AGGIUNTIVO INTERFERENZA

Kit aggiuntivo per kit base ottica Kröncke (1009932 o 1009931) per l'esecuzione di esperimenti scolastici sull'interferenza delle onde luminose.

Dotazione:

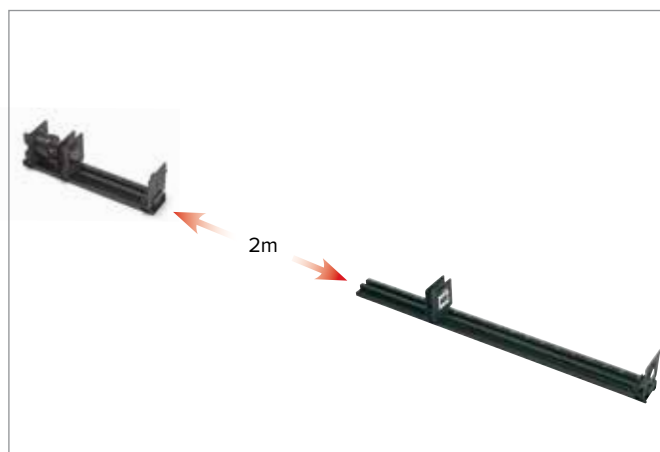
- 1 banco ottico, 500 mm
1 fenditura regolabile K
1 diaframma con 9 dischi circolari
1 diaframma con 9 fori circolari
1 diaframma con 3 fenditure singole e 1 fenditura doppia
1 diaframma con 4 fenditure multiple e reticolo
1 diaframma con 3 reticoli incisi
1 vite micrometrica K
1 specchio di Fresnel
1009700



Visibilità di luce polarizzata in acqua torbida



Proiettore per diapositive



Diffrazione su fenditura multipla

RICHIEDETE GLI SCONTI SPECIALI SUI SET PER LA CLASSE A PARTIRE DA 8 PEZZI

KIT DI ESPERIMENTI PER STUDENTI ELETTROTECNICA E MAGNETISMO



> DOTAZIONE:

- 1 set di cavi per esperimenti
- 1 magnete a barra, ca. 65x16x5 mm³
- 1 magnete a ferro di cavallo, ALNICO, piatto
- 1 tavola di resistenza
- 1 nucleo trasformatore 20x20 mm²
- 1 tirante a vite
- 1 bobina, 200/400/600 spire
- 1 bobina, 400/400/800 spire
- 2 diramazioni di corrente (elemento a spina)
- 1 potenziometro 100 Ω (elemento a spina)
- 1 interruttore (elemento a spina)
- 1 condensatore 4700 μF (elemento a spina)
- 1 condensatore 10 μF (elemento a spina)
- 1 resistenza 33 Ω (elemento a spina)
- 1 resistenza 47 Ω (elemento a spina)
- 1 resistenza 1 kΩ (elemento a spina)
- 1 resistenza NTC 100 Ω (elemento a spina)
- 2 supporti E10 (elemento a spina)
- 2 lampade a incandescenza E10, 7 V
- 1 barattolo di conservazione con, 1 set di fili con o-ring, 2 boccole filettate, 2 perni filettati, 2 graffette da ufficio, 2 elettrodi di alluminio, filo di costantana
- 50 g di polvere di ferro
- 50 m di filo in cromo-nichel, 0,2 mm
- 50 m di filo di ferro, 0,2 mm
- 1 lumino

Versatile kit scolastico per l'esecuzione di 41 esperimenti di elettrotecnica e magnetismo. In scatola in plastica stabile con inserto in espanso formato sull'apparecchio e coperchio trasparente. Compreso CD con le descrizioni degli esperimenti. Gli esperimenti vengono strutturati ed eseguiti sulla piastra base SES (1000789) con sistemazione salva-spazio. 1008532

Alimentatore SES

Alimentatore CA/CC per SES elettro-tecnica e magnetismo (1008532).

- Limitazione di tensione a 25 V CA e 60 V CC
 - Trasformatore di sicurezza secondo la norma EN 61558-2-6
 - Separazione sicura tra alimentazione di rete e circuiti di uscita
- Tensioni: 1,5/ 3,0/ 4,5/ 6,0 V CA/CC

Alimentatore SES (230 V, 50/60 Hz) 1021686

oppure

Alimentatore SES (115 V, 50/60 Hz) 1021687



> CD CON DESCRIZIONI DEGLI ESPERIMENTI COMPRESO!

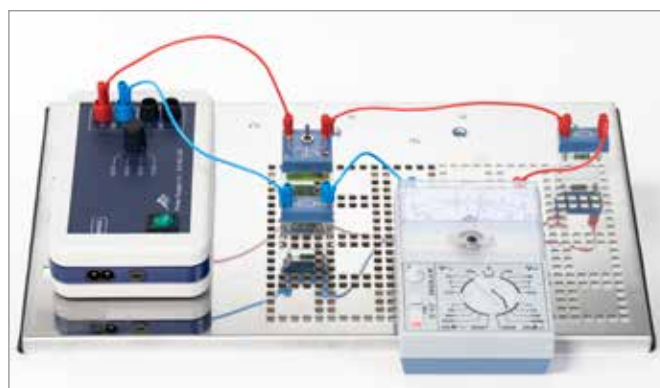
INCLUSE 41 DESCRIZIONI DI ESPERIMENTI SULL'ELET- TROTecnica E SUL MAGNETISMO:

- Circuito di corrente chiuso
- Conduttori e non conduttori
- Circuito di corrente non diramato
- Circuito di corrente diramato
- Intensità di corrente in circuito di corrente non diramato
- Intensità di corrente in circuito di corrente diramato
- Tensione primaria e tensione ai morsetti
- Tensione in circuito di corrente non diramato
- Tensione in circuito di corrente diramato
- Divisore di tensione
- Legge di Ohm
- Dipendenza della temperatura della resistenza (filo in ferro)
- Diagramma corrente-tensione di una lampada a incandescenza
- Diagramma corrente-tensione di un conduttore a caldo
- Legge di resistenza
- Resistenza in circuito di corrente non diramato
- Resistenza in circuito di corrente diramato
- Resistenza e tensione in circuito di corrente non diramato
- Resistenza e intensità di corrente in circuito di corrente diramato
- Divisore di tensione non sotto carico e sotto carico
- Diagramma tensione-tempo per carica e scarica di un condensatore
- Diagramma intensità di corrente-tempo per carica e scarica di un condensatore
- Correlazione tra carica e tensione
- Condensatore in circuito di corrente continua e alternata (comportamento)
- Provino nel campo magnetico
- Poli magnetici
- Campo magnetico di un magnete a ferro di cavallo e di un magnete a barra
- Dipoli magnetici
- Bobina come magnete
- Forze nel campo magnetico di una bobina
- Induzione tramite movimento relativo
- Induzione tramite modifica del campo magnetico
- Legge di induzione
- Resistenza ohmica in circuito di corrente continua e alternata
- Condensatore in circuito di corrente continua e alternata (resistenza)
- Bobina in circuito di corrente continua e alternata
- Funzionamento di un trasformatore
- Tensione e numero di spire con trasformatore non sotto carico
- Trasformatore sotto carico
- Trasformatore fortemente sotto carico
- Termoelettricità

Dotazione elettrotecnica:

- 1008532 SES Elettrotecnica e magnetismo
- 1000789 Piastra base SES
- 1013526 Multimetro analogico ESCOLA 30
- 1021686 Alimentatore SES (230 V, 50/60 Hz) oppure
- 1021687 Alimentatore SES (115 V, 50/60 Hz)

**RICHIEDETE GLI SCONTI SPECIALI SUI SET PER
LA CLASSE A PARTIRE DA 8 PEZZI**



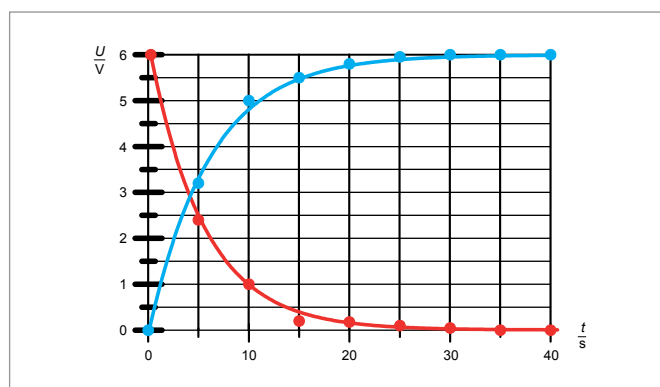
Intensità di corrente elettrica nel circuito elettrico non ramificato



Legge di resistenza



Carica e scarica di un condensatore (tensione)



Condensatore: carica (blu) e scarica (rosso)(rouge)

KIT DI ESPERIMENTI PER STUDENTI ELETTRONICA



> DOTAZIONE:

- 1 Set di 10 connettori a nastro
- 1 Resistenza 100 Ω , 2W
- 1 Resistenza 470 Ω , 2 W
- 1 Resistenza 1 k Ω , 2 W
- 1 Resistenza 4,7 k Ω ,
- 1 Resistenza 10 k Ω , 0,5 W
- 1 Resistenza 47 k Ω , 0,5 W
- 1 Condensatore elettrolitico 100 μ F, 35 V
- 1 Condensatore elettrolitico 470 μ F, 16 V
- 1 Portalampada E10 in alto
- 1 Set 10 portalampade E10, 12 V;
100 mA
- 1 Set 10 portalampade E10, 4 V; 40 mA
- 1 Interruttore a levetta unipolare
- 1 Interruttore unipolari, contatto di
apertura
- 1 Interruttore unipolari, contatto di
chiusura
- 4 Diodi Si 1N 4007
- 1 Diode Ge
- 1 Diode Z ZPD 6,2
- 1 LED verde
- 1 LED, rosso
- 1 Fotoresistenza LDR 05
- 1 Termistore NTC 2,2 k Ω
- 1 Termistore PTC 100 Ω
- 1 Potenzimetro 220 Ω , 3 W
- 1 Transistor NPN BD 137
- 1 Transistor PNP BD 138
- 1 Transistor ad effetto di campo BF 244
- 1 Tiristore TYN 1012
- 1 Commutatore unipolare
- 1 Cuffia auricolare

Kit per l'esecuzione di 11 esperimenti scolastici nel campo dell'elettronica. In scatola in plastica stabile con inserto in espanso formato sull'apparecchio e coperchio trasparente. I circuiti vengono realizzati con componenti nell'alloggiamento del conduttore su una scheda. L'alimentazione di corrente avviene tramite un alimentatore esterno. La fornitura comprende un CD con le istruzioni per gli esperimenti.

1021672

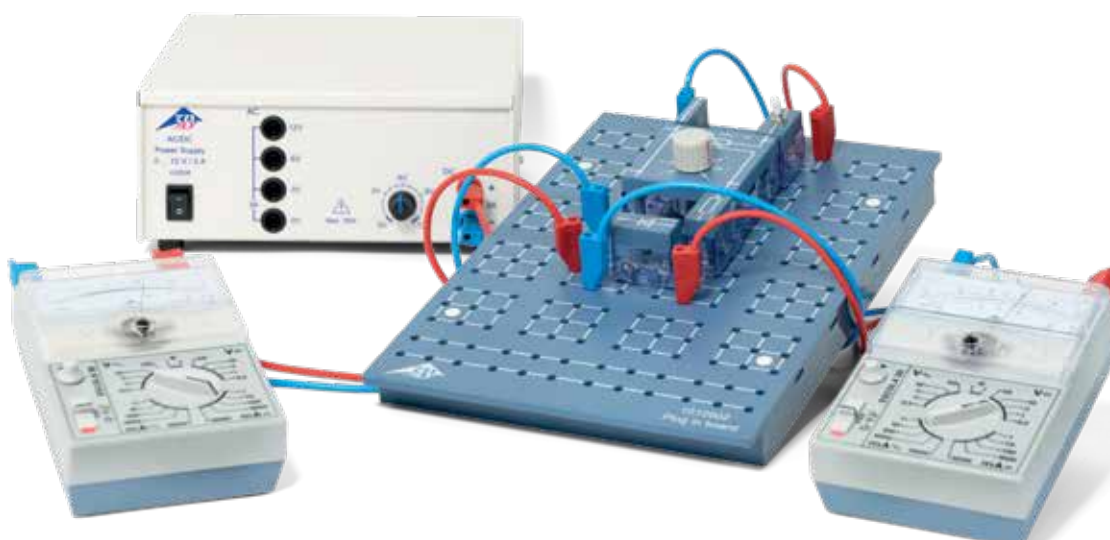
INCLUSE 11 DESCRIZIONI DI ESPERIMENTI SULL'ELETTRONICA:

- Caratteristica di un diodo semiconduttore
- Caratteristica di un LED
- Caratteristica di un diodo Z
- Verifica del flusso di corrente in un transistor
- Caratteristiche di un transistor
- Fotoresistenza LDR
- Tiristore nel circuito a corrente continua
- Resistenze NTC e PTC al variare della temperatura
- Tempi di commutazione
- Caratteristiche di un transistor ad effetto di campo
- Rumore

DOTAZIONE ELETTROTECNICA:

- 1021672 SES elettronica
- 1012902 Scheda per componenti
- 1021091 Alimentatore CA/CC 0 - P-12 V, 3 A (230 V; 50/60 Hz)
oppure
- 1021092 Alimentatore CA/CC 0 - P-12 V, 3 A (115 V; 50/60 Hz)
- 1013526 Multimetro analogico ESCOLA 30 (2x)
- 1002840 Set di 15 cavi per esperimenti, 75 cm

> CD CON DESCRIZIONI DEGLI ESPERIMENTI COMPRESO!



Caratteristica di un diodo Z



Verifica del flusso di corrente in un transistor

RICHIEDETE GLI SCONTI SPECIALI SUI SET PER LA CLASSE A PARTIRE DA 8 PEZZI



Tiristore nel circuito a corrente continua

KIT DI ESPERIMENTI PER STUDENTI

ENERGIA SOLARE



> DOTAZIONE:

- 1 faretto alogeno
- 2 moduli solari
- 2 multimetri digitali
- 1 luxmetro
- 1 termometro digitale
- 1 scheda di connessione con resistenze in cascata
- 1 regolatore di potenza
- 1 connettore a nastro
- 1 set di cavi per esperimenti
- 1 traversa
- 1 staffa di installazione
- 1 set di coperture per modulo
- 1 valigetta

> CD CON DESCRIZIONI DEGLI ESPERIMENTI COMPRESO!

Kit completo per l'esecuzione di 16 esperimenti sull'energia solare. È possibile dimostrare sperimentalmente parametri e caratteristiche fondamentali dei moduli solari e i fattori di influenza sulla loro efficienza energetica. In scatola in plastica stabile con inserto in con alloggiamenti per componenti. Il sistema consente di preparare in modo semplice e compatto tutti gli esperimenti nel coperchio o sul coperchio della valigetta. Incluso CD con descrizioni di esperimenti.

SES Energia solare (230 V, 50/60 Hz) 1017732

SES Energia solare (115 V, 50/60 Hz) 1017731

INCLUDE 16 DESCRIZIONI DI ESPERIMENTI SULL'ENERGIA SOLARE:

- Intensità d'illuminazione delle diverse sorgenti luminose
- Fattori di influenza sulla potenza di un modulo solare
- Ombreggiamento di moduli solari collegati in serie
- Influenza dell'ombreggiamento sulla tensione ai morsetti di un modulo solare
- Influenza dell'intensità d'illuminazione su tensione a vuoto e corrente di cortocircuito di un modulo solare
- Influenza dell'angolo d'irradiazione su tensione a vuoto e corrente di cortocircuito di un modulo solare
- Tensione a vuoto e corrente di cortocircuito di moduli solari con collegamento in serie e in parallelo
- Curva caratteristica corrente-tensione di un modulo solare
- Curva caratteristica corrente-tensione con collegamento in serie
- Curva caratteristica corrente-tensione con collegamento in parallelo
- Resistenza di carico ottimale con angolo d'irradiazione modificato
- Dipendenza dalla temperatura della tensione a vuoto e della corrente di cortocircuito di un modulo solare
- Dipendenza dalla temperatura della potenza dei moduli solari
- Curva caratteristica corrente-tensione del modulo solare illuminato e non illuminato *
- Preparazione di un sistema di rete a isola **
- Conversione di energia ***

DOTAZIONE ENERGIA SOLARE:

1017732 SES Energia solare (230 V, 50/60 Hz)

oppure

1017731 SES Energia solare (115 V, 50/60 Hz)

1003312 Alimentatore CC (230 V, 50/60 Hz)

oppure

1003311 Alimentatore CC (115 V, 50/60 Hz)
(per esperimenti con contrassegno *)

1017734 Contatore di carica con accumulatore

1002811 Cronometro digitale
(per esperimenti con contrassegno **)

1017735 Motoriduttore con puleggia

1018597 Set di pesatura, da 1 g a 500 g, a fessura con supporto

1007112 Corda per esperimenti

1002811 Cronometro digitale
(per esperimenti con contrassegno ***)

CONTATORE DI CARICA CON ACCUMULATORE

Contatore di carica per la misurazione del flusso di corrente con accumulatore per l'immagazzinamento di energia. Attraverso il voltmetro vengono visualizzati carica o consumo. A seconda del campo di misurazione 1 V sul voltmetro corrisponde a 0,1, 1 oppure 10 A.

Campo di misurazione: 1/10/100 A (carica max. misurabile ± 499 A)

Alimentazione: accumulatore da 9 V con prese CC

Corrente di carico: max. 500 mA

Corrente di

carica accumulatore: max. 50 mA

Sorgente di

tensione esterna: pannello solare oppure alimentatore CC (max. 12 V CC) con limitazione della corrente di 50 mA senza carica sul contatore di carica

Attacchi: jack di sicurezza da 4 mm

Dimensioni: ca. 105x75x45 mm³

Peso: ca. 200 g con accumulatore con alloggiamento

1017734

MOTORIDUTTORE CON PULEGGIA

Il motoriduttore con puleggia serve per il collegamento con il sistema di apparecchi per esperimenti scolastici sull'energia solare come consumatore per la dimostrazione della conversione di energia. Il motore è montato su una piastra di base ed è dotato di una puleggia. Il collegamento elettrico avviene mediante jack di sicurezza da 4 mm. È possibile sollevare pesi fino a max. 1 Kg.

Alimentazione: max. 12 V CC

Corrente di carico: max. 50 mA

Momento torcente: 0,41 Nm

Numero di giri: a vuoto 76,1 giri/min.

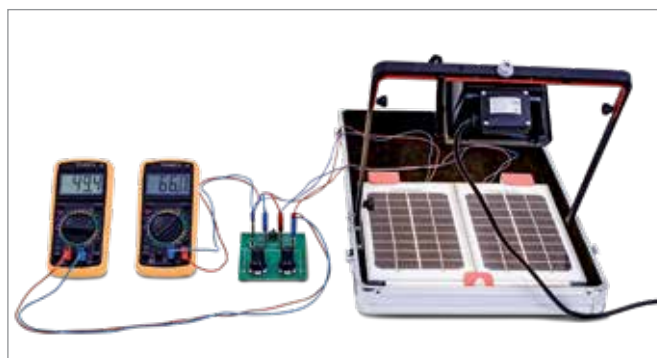
Attacchi: jack di sicurezza da 4 mm

Dimensioni: ca. 105x75x45 mm³

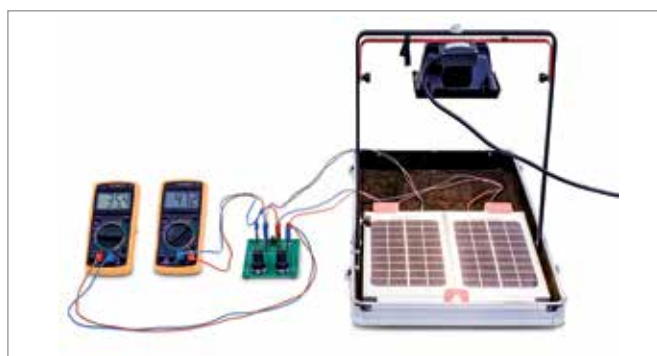
Peso: ca. 220 g

1017735

RICHIEDETE GLI SCONTI SPECIALI SUI SET PER LA CLASSE A PARTIRE DA 8 PEZZI



Resistenza di carico ottimale con angolo d'irradiazione modificato



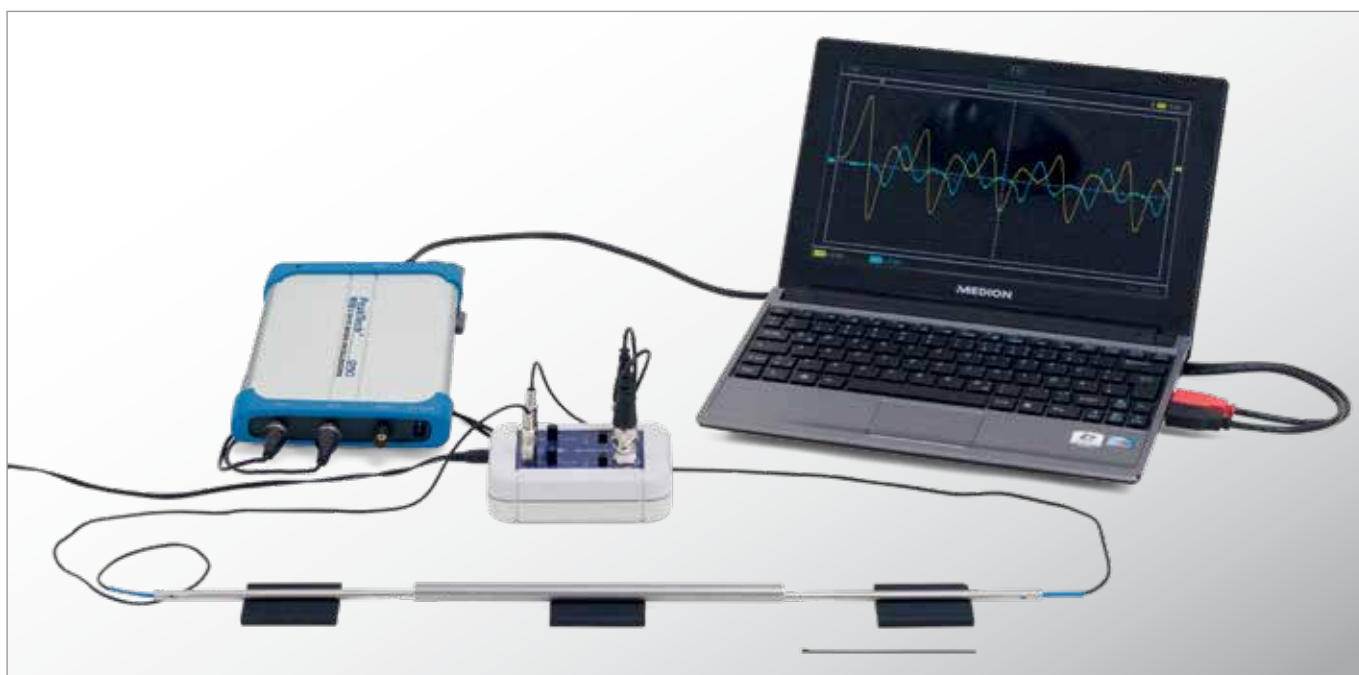
Curva caratteristica corrente-tensione con collegamento in serie



Dipendenza dalla temperatura della potenza dei moduli solari

KIT DI ESPERIMENTI PER STUDENTI

PROPAGAZIONE DEL SUONO IN CORPI SOLIDI



> DOTAZIONE:

- 6 aste campione da 200 mm in vetro, vetro acrilico, PVC, legno (faggio), acciaio inossidabile e alluminio
- 4 aste campione da 100 mm in rame, ottone, acciaio inossidabile e alluminio
- 1 asta campione da 400 mm in acciaio inossidabile
- 2 martelletti
- 2 sonde microfono
- 1 scatola microfono
- 1 alimentatore a spina 12 V CA
- 3 tappetini in gomma 50x40x5 mm³

> STRUTTURA COMPATTA SUL TAVOLO DI LABORATORIO

KIT “PROPAGAZIONE DEL SUONO IN ASTE”

Kit per l'analisi della propagazione del suono e per la determinazione della velocità del suono in aste di diversi materiali. Il kit è costituito da diverse aste campione, due sonde microfono e una scatola microfono per il collegamento a un oscilloscopio. In scatola in plastica stabile con inserto in espanso formato sull'apparecchiatura e coperchio trasparente.

Kit velocità del suono in aste (230 V, 50/60 Hz) 1018469
oppure

Kit velocità del suono in aste (115 V, 50/60 Hz) 1018468

Dotazione supplementare necessaria:

Oscilloscopio a due canali ad es

1020857 Oscilloscopio PC 2x25 MHz

ARGOMENTI DEGLI ESPERIMENTI:

- Velocità di propagazione di impulsi sonori in diverse aste
- Confronto della propagazione di onde longitudinali e trasversali
- Onde sonore stazionarie in aste corte
- Polarità della riflessione all'estremità dell'asta
- Riflessione multipla alle estremità di aste lunghe



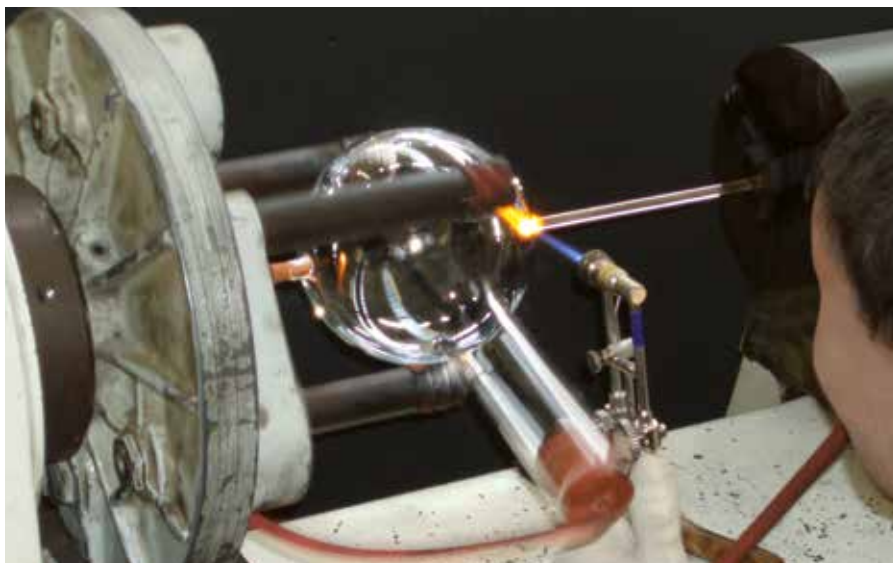
MISURAZIONE DI ONDE SONORE SENZA CONTATTO E A BASSA PERDITA

LA PRODUZIONE DI FISICA 3B SCIENTIFIC IN GERMANIA (KLINGENTHAL)



PRODUZIONE DI UN TUBO ELETTRONICO TELTRON® PRESSO LO STABILIMENTO 3B SCIENTIFIC BRITANNICO DI LONDRA

In tutto il mondo, i tubi elettronici vengono prodotti solo in un esiguo numero di stabilimenti. Solo tecnici in possesso di una formazione specialistica e con una lunga esperienza alle spalle sanno gestire il complesso processo tecnico necessario per potervi fornire tubi ad elevatissima qualità, quali sono i TELTRON®.



PRODUZIONE DI GRUPPI NEL CENTRO DI LAVORO CNC

I noti apparecchi didattici di qualità sono il risultato dell'interazione tra la nuova tecnica di processo e l'antica tradizione artigianale. Il centro di lavoro CNC di Klingenthal garantisce la precisione meccanica necessaria per gli apparecchi fisici di alta qualità ed anche la conveniente produzione in serie in grado di offrire una qualità sempre costante.

POSTAZIONE DI LAVORO CAD/CAM PRESSO

Con il programma CAD (Computer Aided Design) si esegue direttamente il comando CAM (Computer Aided Manufacturing) della fresatrice a base piatta. In questo modo è possibile dar forma ad idee e progetti speciali, rapidamente e con la necessaria precisione high precision.



Italia 3B Scientific S.r.l.

Via Progresso, 46

40064 Ozzano dell'Emilia (BO) • Italia

Tel.: +39 051 79 05 05 • Fax: +39 051 469 50 98

3bscientific.com • vendite.italia@3bscientific.com

TUBO A CROCE DI MALTA

Dimostrazione della diffusione rettilinea di elettroni nello spazio privo di campo

➤ Scopri di più a pagina 170

