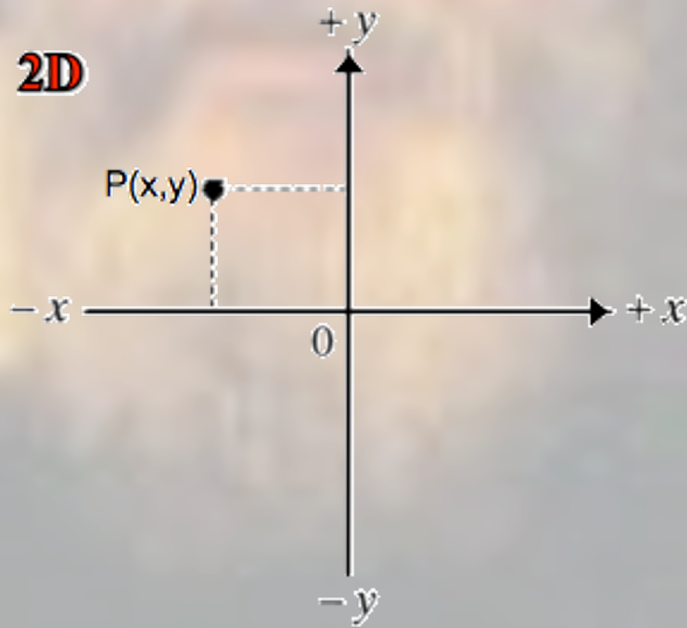


## LA CINEMATICA in DUE DIMENSIONI



# Moto di un proiettile in due dimensioni



**Galileo** fu il primo a capire che il moto di un proiettile soggetto alla gravità può essere analizzato molto più semplicemente ed efficacemente prendendo in considerazione **separatamente** le componenti orizzontale e verticale del moto. Così facendo, poiché l'accelerazione di gravità è diretta costantemente verso il basso (asse  $y$  negativo), il moto lungo l'asse  $y$  sarà **uniformemente accelerato**; il moto lungo l'asse  $x$  invece, non essendo soggetto ad accelerazione, sarà **uniforme** (cioè a velocità costante). **La velocità vettoriale complessiva sarà data quindi, ad ogni istante, dalla somma delle sue componenti lungo i due assi coordinati:**  $\vec{v}(t) = \vec{v}_x(t) + \vec{v}_y(t)$

## Equazioni del moto di un proiettile in 2 dim. ( $a_x = 0$ , $a_y = -g = \text{cost}$ )

**moto orizzontale (uniforme  $a_x = 0$ ,  $v_x = \text{cost.}$ )**

$$\text{(I-x)} \quad v_x = v_{x0}$$

$$\text{(II-x)} \quad x = x_0 + v_{x0}t$$

**moto verticale (unif.accel.  $a_y = -g$ )**

$$\text{(I-y)} \quad v_y = v_{y0} - gt$$

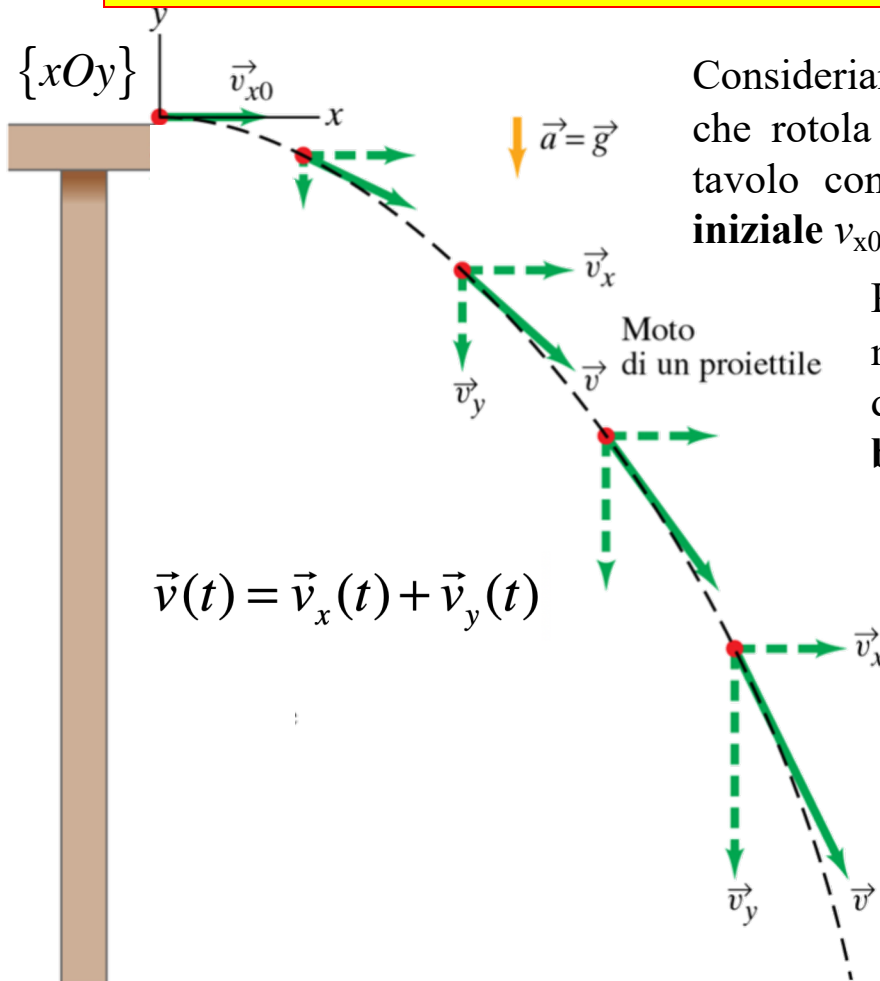
$$\text{(II-y)} \quad y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$\text{(III-y)} \quad v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g(y - y_0)$$

**Velocità vettoriale iniziale:**

$$\vec{v}_0 = \vec{v}_{x0} + \vec{v}_{y0}$$

# Moto di un proiettile in due dimensioni: esempio 1



Consideriamo una pallina (un proiettile) che rotola e cade oltre il bordo di un tavolo con componenti della **velocità iniziale**  $v_{x0} = \text{cost.}$  e  $v_{y0} = 0$ .  $\rightarrow \vec{v}_0 = \vec{v}_{x0}$

Per comodità assumeremo che il moto inizi al tempo  $t=0$  nell'origine del nostro sistema di riferimento **bidimensionale**  $\{xOy\}$  ( $x_0=0, y_0=0$ ).

In ogni punto della traiettoria il vettore della **velocità istantanea** è ad essa tangente ed è diretto nel verso del moto della pallina in quell'istante.

In accordo con **Galileo**, le equazioni cinematiche del moto per i corpi in caduta libera si applicano **separatamente** alle componenti  $x$  (moto uniforme) e  $y$  (moto uniformemente accelerato) del vettore velocità istantanea:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_x(t) + \vec{v}_y(t)$$

Equazioni del moto per le due componenti indipendenti

$$\begin{cases} v_x(t) = v_{x0} = \text{cost} \rightarrow x(t) = v_{x0}t \\ v_y(t) = -gt \rightarrow y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

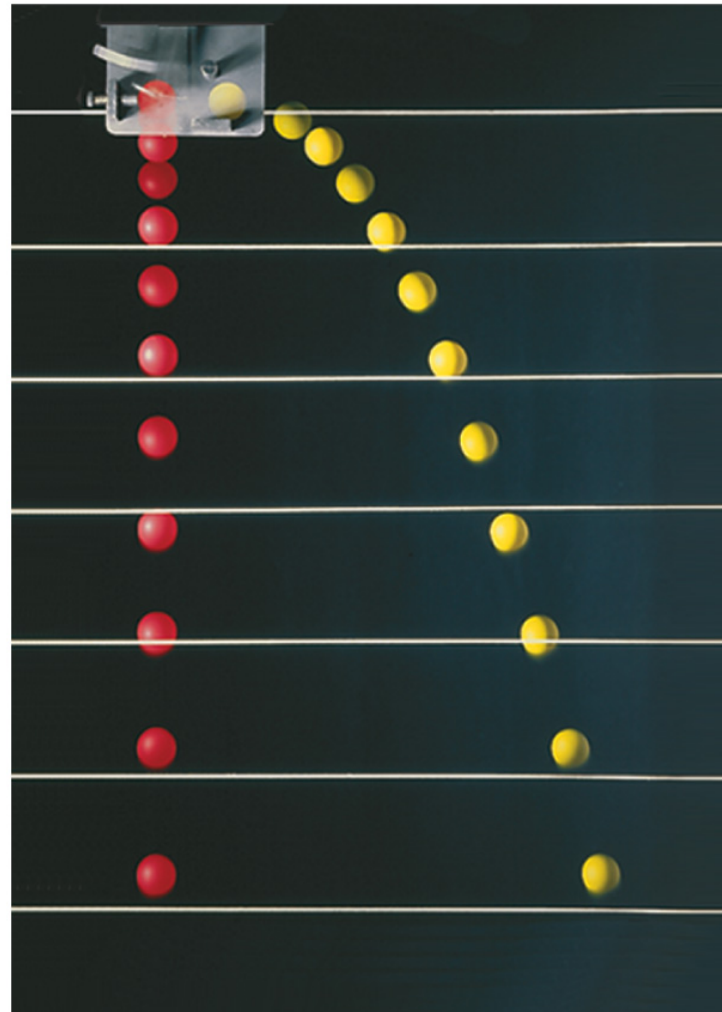
# Moto di un proiettile in due dimensioni: esempio 1

## Quesito

Se contemporaneamente alla pallina (gialla) dell'esempio precedente un'altra pallina (rossa) viene lasciata cadere dal bordo del tavolo da ferma ( $v_{x0}=0$  e  $v_{y0}=0$ ), quale delle due palline raggiungerà prima il suolo?

## Risposta

Le due palline raggiungono il suolo **contemporaneamente**, perchè il loro moto (unif.accelerato) lungo la direzione verticale è il medesimo (essendo la componente verticale della velocità  $v_{y0}=0$  in entrambi i casi). Il moto **differisce** invece lungo la componente orizzontale (moto uniforme), in quanto la velocità  $v_{x0}$  iniziale è differente nei due casi – diversa da zero per la pallina gialla, uguale a zero per la rossa .



Fisica

Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

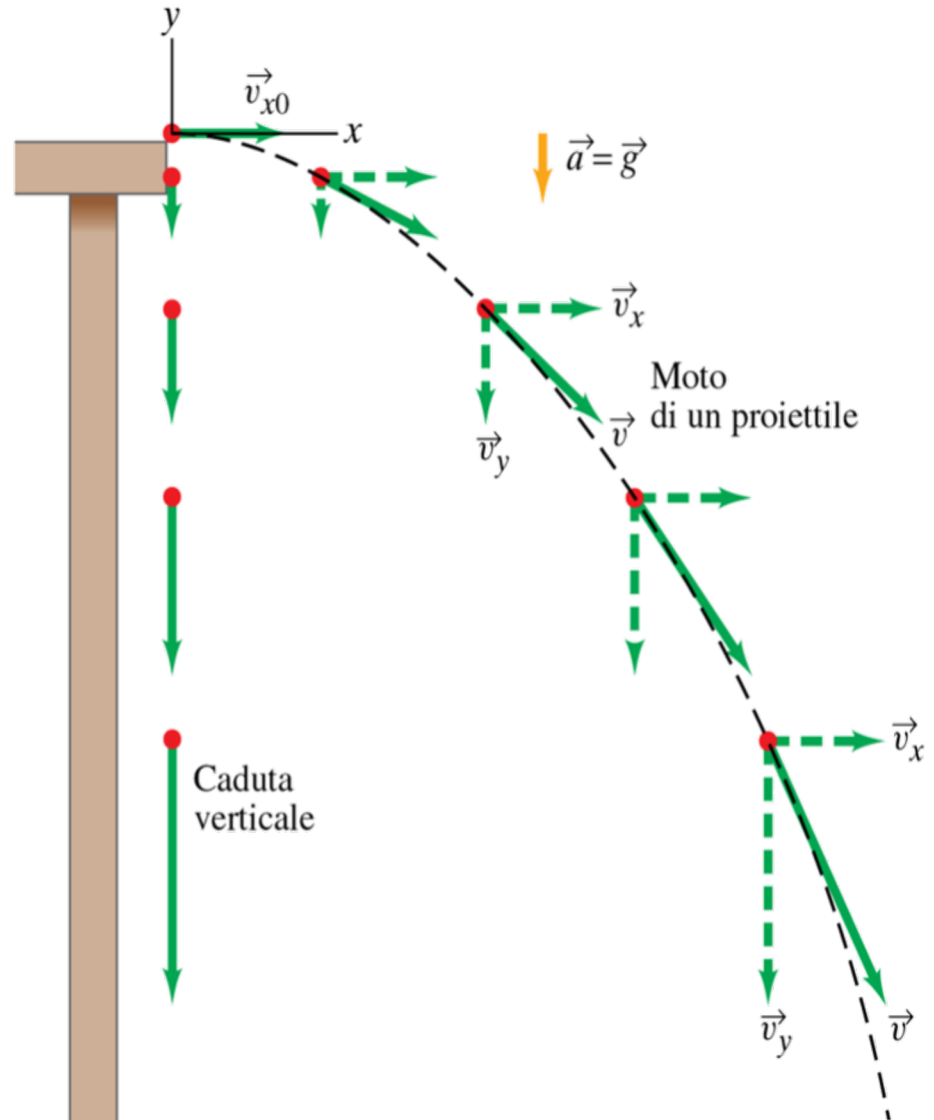
# Moto di un proiettile in due dimensioni: esempio 1

## Quesito

Se contemporaneamente alla pallina (gialla) dell'esempio precedente un'altra pallina (rossa) viene lasciata cadere dal bordo del tavolo da ferma ( $v_{x0}=0$  e  $v_{y0}=0$ ), quale delle due palline raggiungerà prima il suolo?

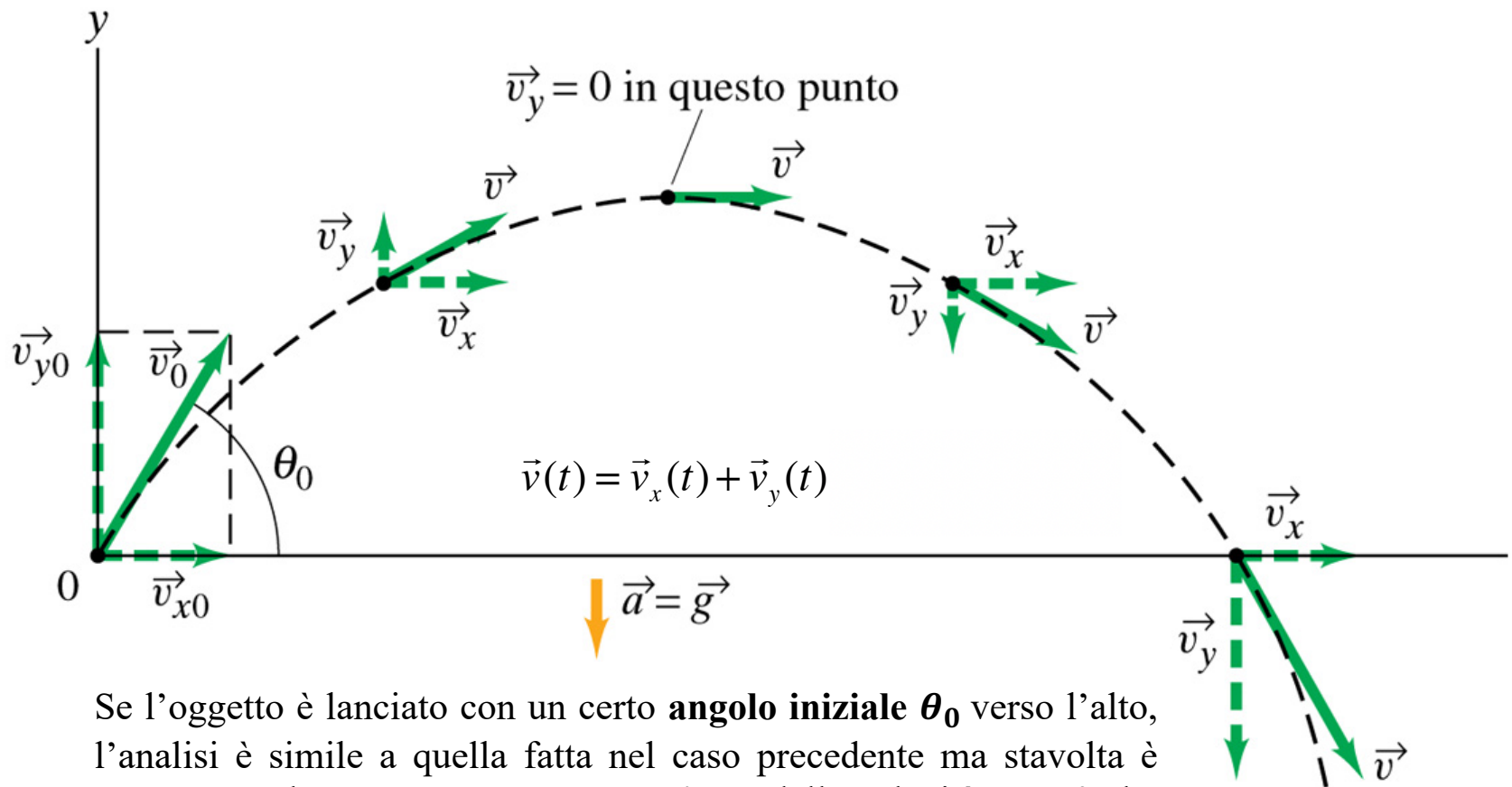
## Risposta

Le due palline raggiungono il suolo **contemporaneamente**, perchè il loro moto (unif.accelerato) lungo la direzione verticale è il medesimo (essendo la componente verticale della velocità  $v_{y0}=0$  in entrambi i casi). Il moto **differisce** invece lungo la componente orizzontale (moto uniforme), in quanto la velocità  $v_{x0}$  iniziale è differente nei due casi – diversa da zero per la pallina gialla, uguale a zero per la rossa .



# **Il moto dei proiettili**

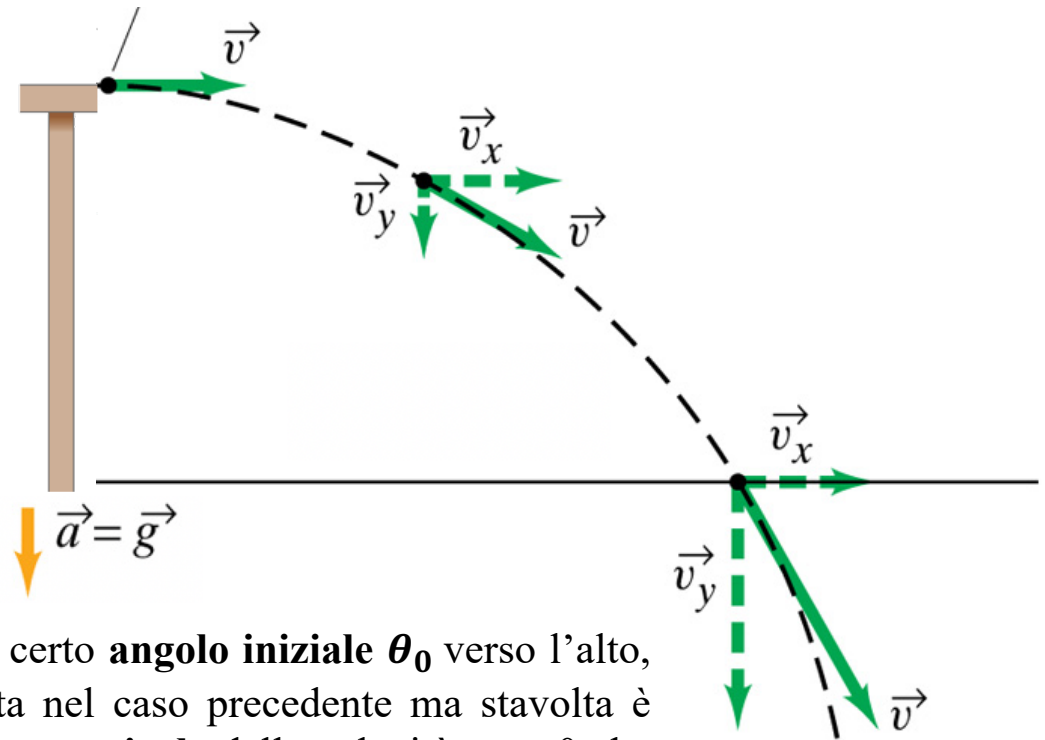
## Moto di un proiettile in due dimensioni: esempio 2



Se l'oggetto è lanciato con un certo **angolo iniziale**  $\theta_0$  verso l'alto, l'analisi è simile a quella fatta nel caso precedente ma stavolta è presente anche una **componente verticale** della velocità  $v_{y0} > 0$  che a causa della gravità decresce uniformemente fino a quando l'oggetto raggiunge il punto più alto della traiettoria, dopodiché cresce nuovamente in modulo e con verso opposto. La **componente orizzontale**  $v_{x0}$  resta invece costante come nell'esempio precedente.

## Moto di un proiettile in due dimensioni: esempio 2

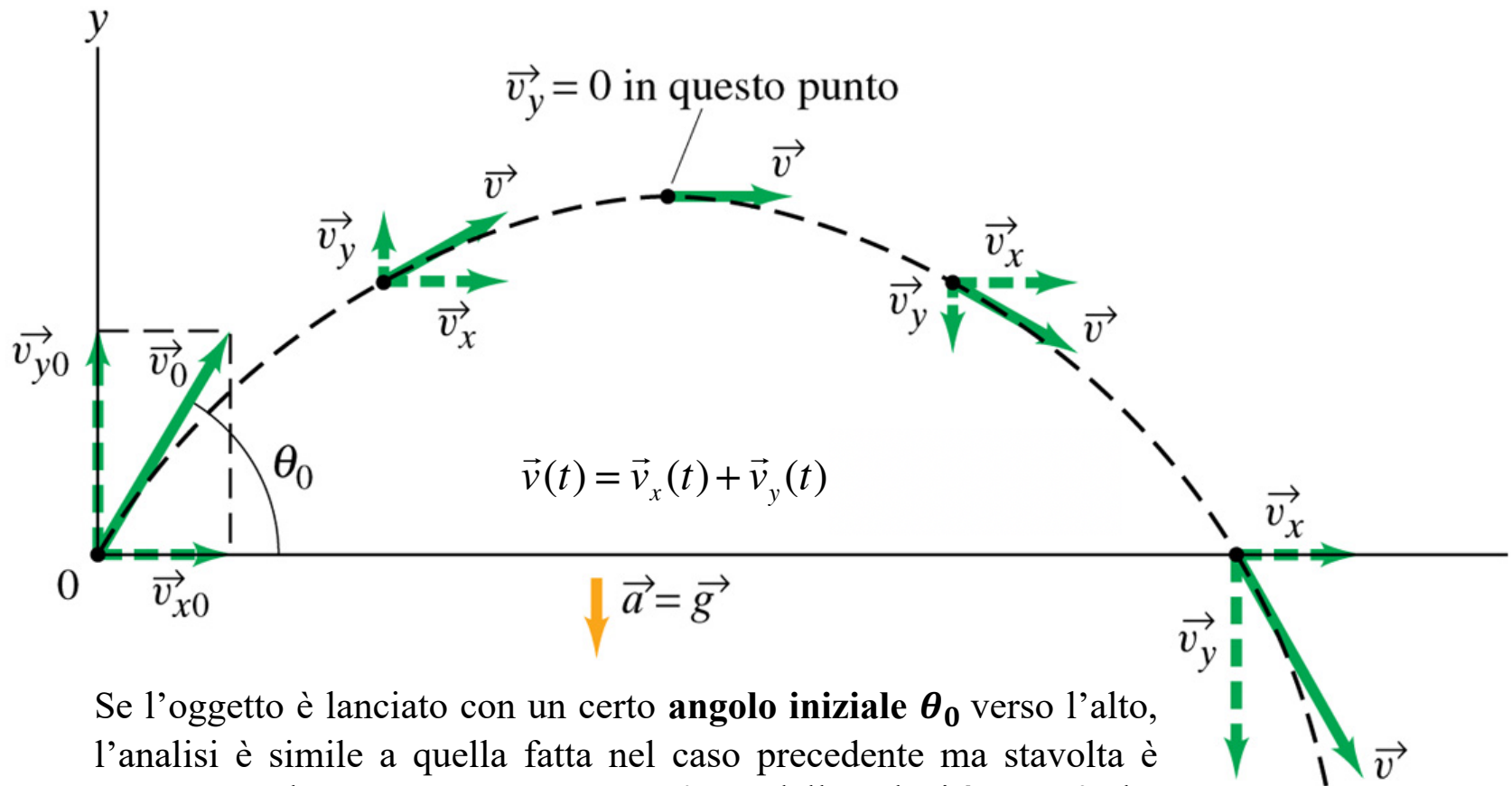
### Esempio 1



Se l'oggetto è lanciato con un certo **angolo iniziale**  $\theta_0$  verso l'alto, l'analisi è simile a quella fatta nel caso precedente ma stavolta è presente anche una **componente verticale** della velocità  $v_{y0} > 0$  che a causa della gravità decresce uniformemente fino a quando l'oggetto raggiunge il punto più alto della traiettoria, dopodiché cresce nuovamente in modulo e con verso opposto. La **componente orizzontale**  $v_{x0}$  resta invece costante come nell'esempio precedente.

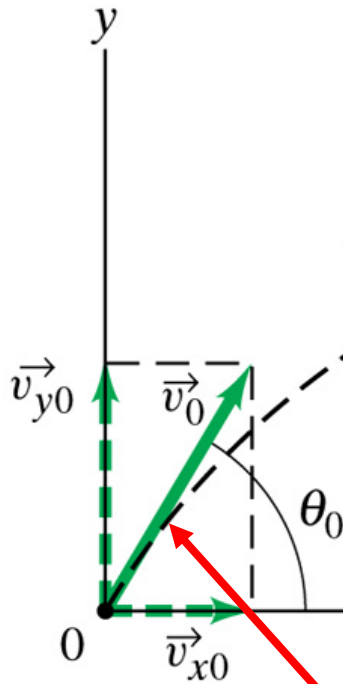


## Moto di un proiettile in due dimensioni: esempio 2



Se l'oggetto è lanciato con un certo **angolo iniziale**  $\theta_0$  verso l'alto, l'analisi è simile a quella fatta nel caso precedente ma stavolta è presente anche una **componente verticale** della velocità  $v_{y0} > 0$  che a causa della gravità decresce uniformemente fino a quando l'oggetto raggiunge il punto più alto della traiettoria, dopodiché cresce nuovamente in modulo e con verso opposto. La **componente orizzontale**  $v_{x0}$  resta invece costante come nell'esempio precedente.

## Moto di un proiettile in due dimensioni: esempio 2



**Equazioni del moto di un proiettile in 2 dim. ( $a_x = 0$ ,  $a_y = -g = \text{cost}$ )**

**moto orizzontale (uniforme  $a_x = 0$ ,  $v_x = \text{cost.}$ )**

$$\text{(I-x)} \quad v_x = v_{x0}$$

$$\text{(II-x)} \quad x = x_0 + v_{x0}t$$

**moto verticale (unif. accel.  $a_y = -g$ )**

$$\text{(I-y)} \quad v_y = v_{y0} - gt$$

$$\text{(II-y)} \quad y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$$

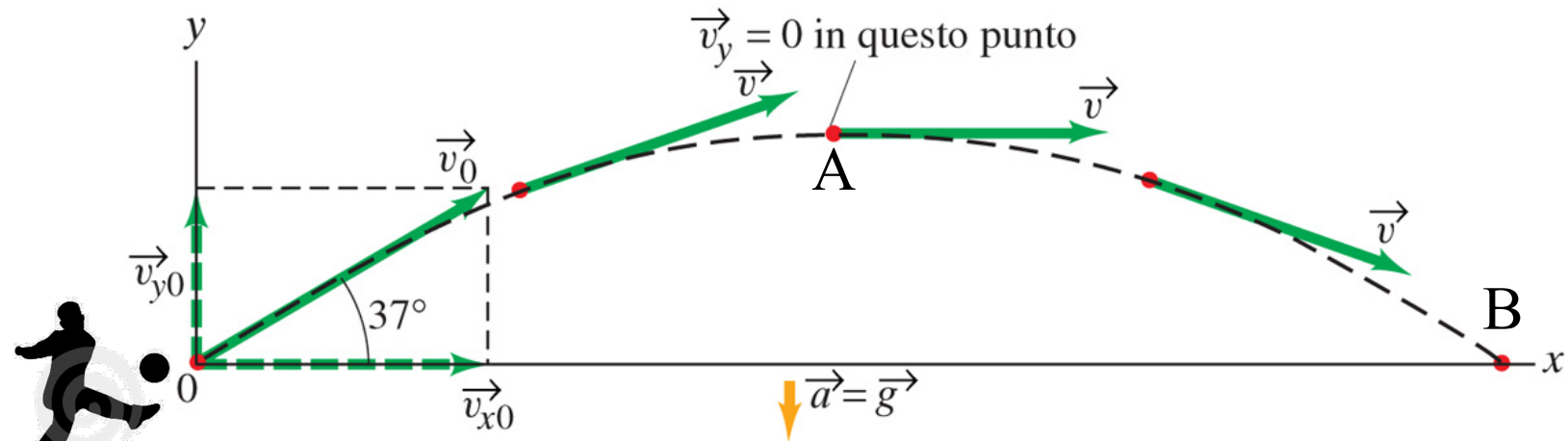
$$\text{(III-y)} \quad v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g(y - y_0)$$

**Velocità vettoriale iniziale:**

$$\vec{v}_0 = \vec{v}_{x0} + \vec{v}_{y0}$$

**Componenti:**

$$v_{x0} = v_0 \cos \theta_0; \quad v_{y0} = v_0 \text{sen} \theta_0$$



### Esercizio

Un pallone viene calciato a un angolo  $\theta=37.0^\circ$  con una velocità iniziale  $v_0=20\text{m/s}$ , come mostrato in figura. Trascurando la resistenza dell'aria e la rotazione del pallone, determinare:

(a) l'altezza massima  $y_A$  raggiunta dal pallone nel punto A

...

### Suggerimenti

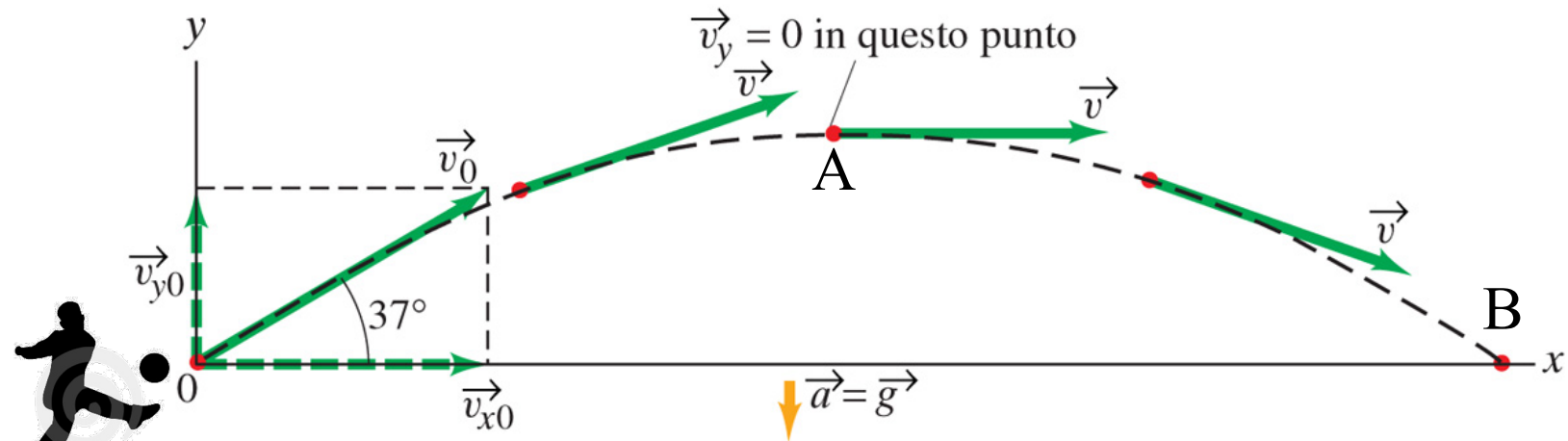
- Trattare separatamente i moti lungo gli assi x e y e usare le equazioni del moto di un proiettile;
- Considerare che il tempo totale che il pallone trascorre in aria e l'altezza massima che raggiunge sono determinati solo dal moto lungo y, mentre la distanza massima in orizzontale (gittata) è determinata dal moto congiunto lungo gli assi x e y;
- Ricordare che il moto lungo x avviene a velocità costante mentre quello lungo y è a velocità variabile.

Innanzitutto occorre scomporre la velocità iniziale nelle sue componenti:

$$v_{x0} = v_0 \cos \theta ; v_{y0} = v_0 \sin \theta$$

$$v_{x0} = v_0 \cos 37.0^\circ = (20.0\text{m/s})(0.799) = 16.0\text{m/s}$$

$$v_{y0} = v_0 \sin 37.0^\circ = (20.0\text{m/s})(0.602) = 12.0\text{m/s}$$



### Esercizio

Un pallone viene calciato a un angolo  $\theta=37.0^\circ$  con una velocità iniziale  $v_0=20\text{m/s}$ , come mostrato in figura. Trascurando la resistenza dell'aria e la rotazione del pallone, determinare:

(a) l'altezza massima  $y_A$  raggiunta dal pallone nel punto A

...

## Equazioni del moto di un proiettile ( $a_x=0$ , $a_y = -g = \text{cost}$ )

**moto orizzontale ( $a_x=0$ ,  $v_x=\text{cost.}$ )**

**UNIFORME**

**(I-x)**  $v_x = v_{x0}$

**(II-x)**  $x = x_0 + v_{x0}t$

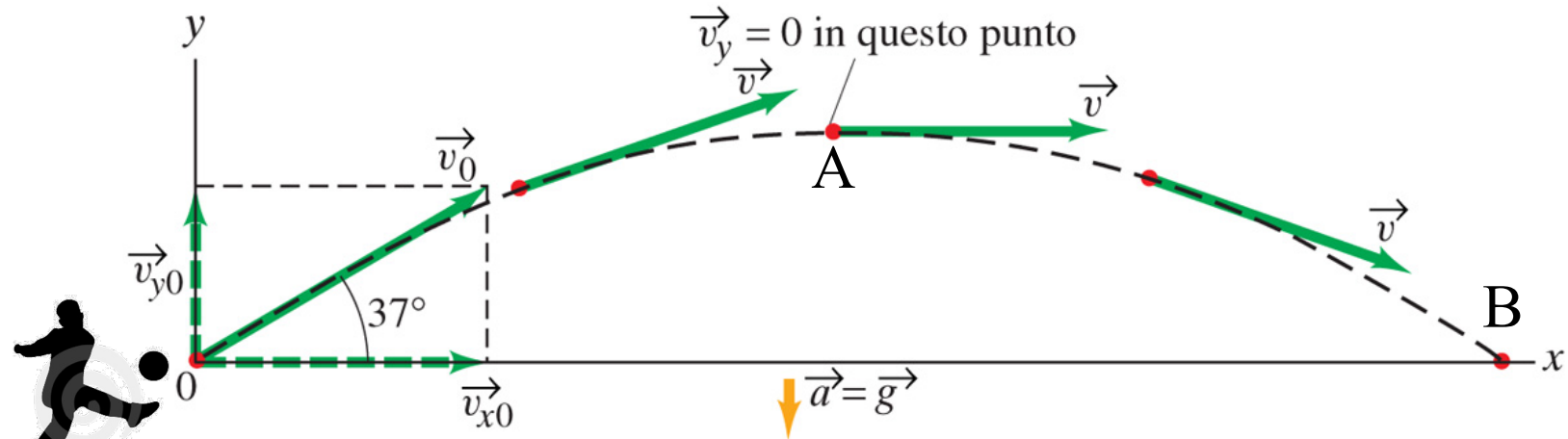
**moto verticale ( $a_y = -g$ )**

**UNIFORMEMENTE ACCELERATO**

**(I-y)**  $v_y = v_{y0} - gt$

**(II-y)**  $y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$

**(III-y)**  $v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g(y - y_0)$



### Esercizio

Un pallone viene calciato a un angolo  $\theta=37.0^\circ$  con una velocità iniziale  $v_0=20\text{m/s}$ , come mostrato in figura. Trascurando la resistenza dell'aria e la rotazione del pallone, determinare:

(a) l'altezza massima  $y_A$  raggiunta dal pallone nel punto A

...

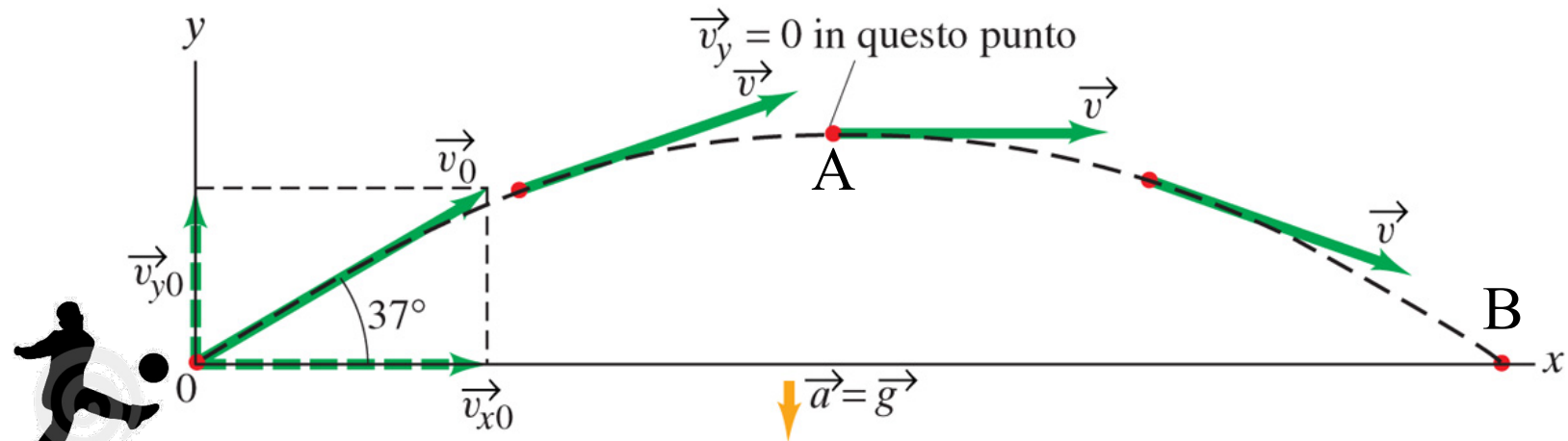
Nel punto A la velocità ha direzione orizzontale, dunque  $v_y=0$  e il tempo  $t_A$  necessario a raggiungere il punto A sarà dato dall'equazione I-y risolta rispetto a t:

$$v_y = v_{y0} - gt \rightarrow t_A = \frac{v_{y0}}{g} = \frac{12.0\text{m/s}}{9.80\text{m/s}^2} = 1.22\text{s}$$

da cui, essendo  $x_0=0$  ed  $y_0=0$ , dall'equazione II-y si ricava la coordinata  $y_A$  della massima altezza:

$$y_A = v_{y0}t_A - \frac{1}{2}gt_A^2 = (12.0\text{m/s})(1.22\text{s}) - \frac{1}{2}(9.80\text{m/s}^2)(1.22\text{s})^2 = 7.35\text{m}$$

Questo risultato si poteva ricavare anche utilizzando solo l'equazione III-y (considerando che il pallone raggiunge la quota  $y_A$  con velocità  $v_y=0$ ) ma in questo modo abbiamo ottenuto una informazione supplementare sul tempo  $t_A$  che ci risulterà utile per rispondere alle prossime domande...



### Esercizio

Un pallone viene calciato a un angolo  $\theta=37.0^\circ$  con una velocità iniziale  $v_0=20\text{m/s}$ , come mostrato in figura. Trascurando la resistenza dell'aria e la rotazione del pallone, determinare:

...

(b) il tempo trascorso prima che il pallone tocchi terra nel punto B

...

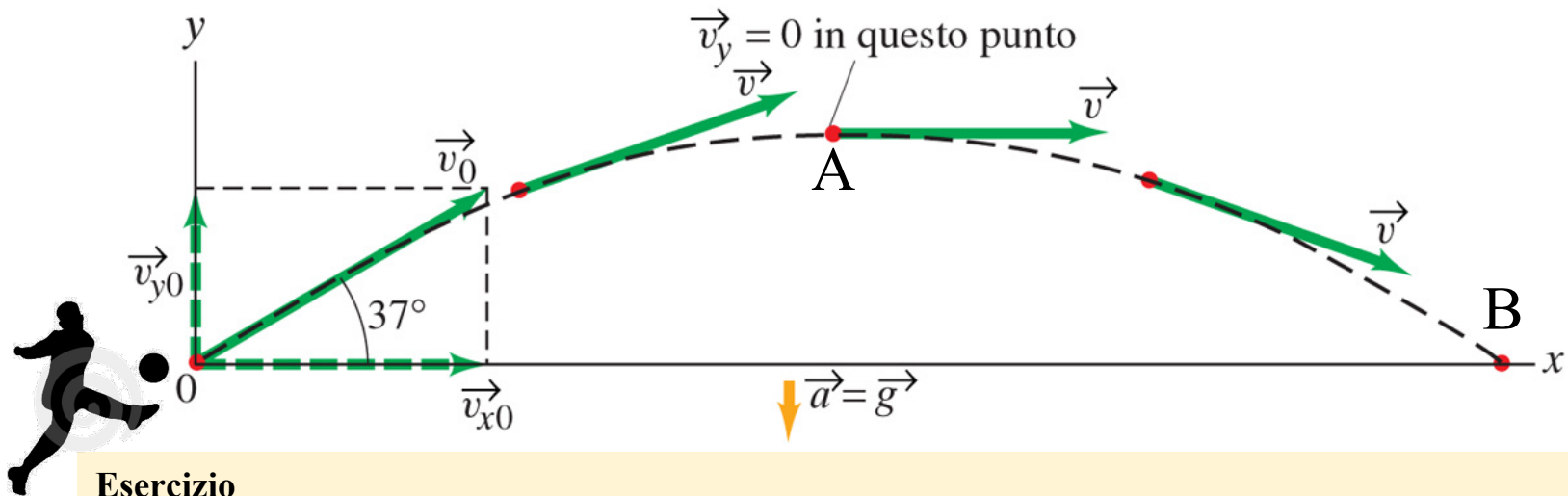
Sarebbe semplicemente uguale al doppio del tempo  $t_A$  necessario a raggiungere il punto A:

$$t_B = 2t_A = 2 \cdot (1.22\text{s}) = 2.44\text{s}$$

ma è possibile ricavarlo anche dall'equazione II-y con  $y_0=0$  ed  $y=0$ , risolvendola rispetto al tempo:

$$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow 0 = 0 + (12\text{m/s})t - \frac{1}{2}(9.80\text{m/s}^2)t^2$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \left[ \frac{1}{2}(9.80\text{m/s}^2)t - 12.0\text{m/s} \right] t &= 0 & \rightarrow t = 0 \\ \rightarrow t_B &= \frac{2(12.0\text{m/s})}{(9.80\text{m/s}^2)} = 2.45\text{s} \end{aligned}$$



### Esercizio

Un pallone viene calciato a un angolo  $\theta=37.0^\circ$  con una velocità iniziale  $v_0=20\text{m/s}$ , come mostrato in figura. Trascurando la resistenza dell'aria e la rotazione del pallone, determinare:

...

- (c) la distanza a cui tocca terra nel punto B
- (d) le componenti del vettore velocità nel punto A
- (e) le componenti del vettore accelerazione nel punto A

**moto orizzontale ( $a_x=0, v_x=\text{cost.}$ )**  
**UNIFORME**

**(I-x)**  $v_x = v_{x0}$

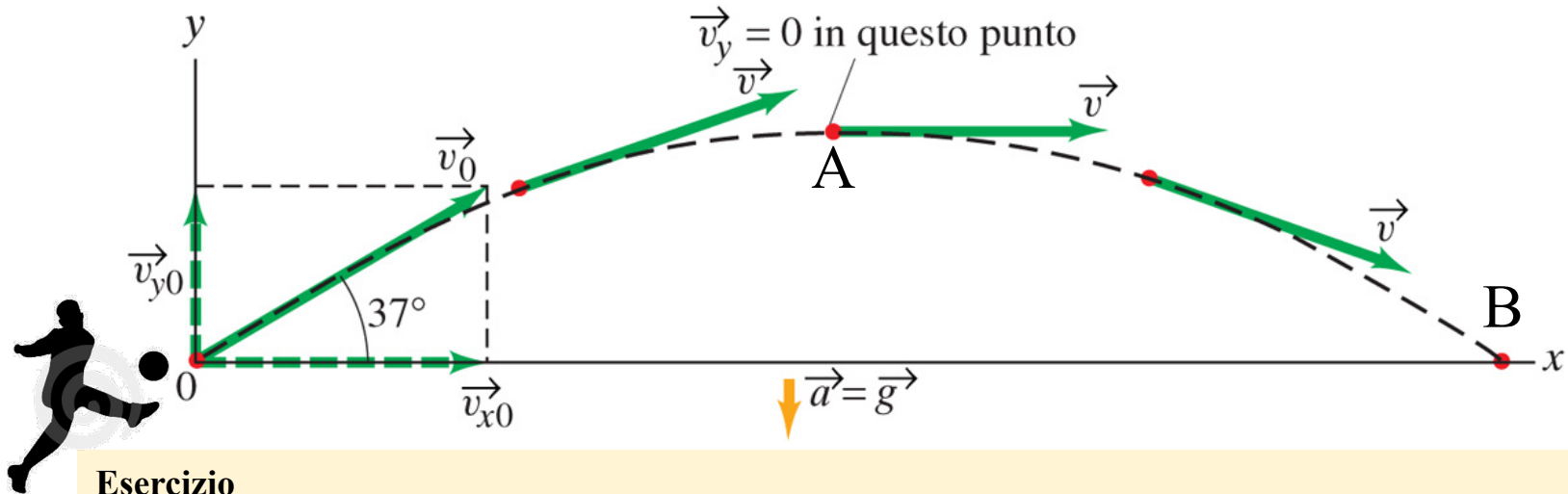
**(II-x)**  $x = x_0 + v_{x0}t$

**moto verticale ( $a_y = -g$ )**  
**UNIFORMEMENTE ACCELERATO**

**(I-y)**  $v_y = v_{y0} - gt$

**(II-y)**  $y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$

**(III-y)**  $v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g(y - y_0)$



### Esercizio

Un pallone viene calciato a un angolo  $\theta=37.0^\circ$  con una velocità iniziale  $v_0=20\text{m/s}$ , come mostrato in figura. Trascurando la resistenza dell'aria e la rotazione del pallone, determinare:

...

- (c) la distanza a cui tocca terra nel punto B
- (d) le componenti del vettore velocità nel punto A
- (e) le componenti del vettore accelerazione nel punto A

(c) La coordinata  $x_B$  si ricava semplicemente sostituendo  $t_B$  nell'equazione II-x con  $x_0=0$  e  $v_{x0}=16.0\text{m/s}$ :

$$x = x_0 + v_{x0}t \rightarrow x_B = v_{x0}t_B = (16.0\text{m/s})(2.45\text{s}) = 39.2\text{m}$$

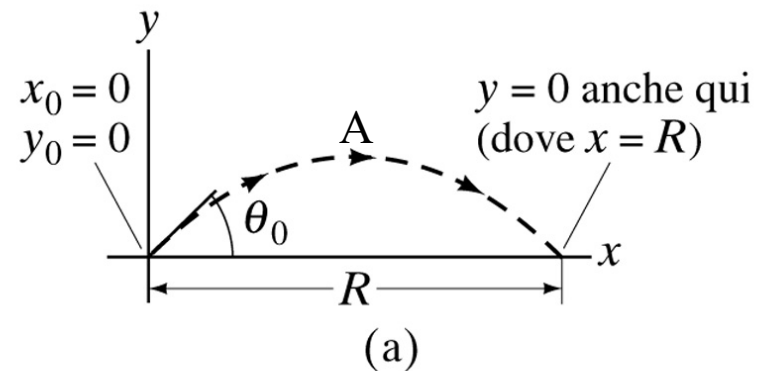
(d) La componente y della velocità nel punto A è nulla, mentre la componente x resta costante per tutta la durata del moto e dunque è uguale a  $v_{xA}=v_{x0}=16.0\text{m/s}$ ;

(e) Il vettore accelerazione, ormai dovrebbe essere chiaro, è sempre costante, di modulo pari a  $g$  e rivolto verso il basso.



# Gittata orizzontale di un proiettile

La **gittata orizzontale** di un proiettile è definita come la *distanza orizzontale percorsa dal proiettile prima di tornare all'altezza iniziale  $y=y_0$*  (che di solito è quella del suolo). E' interessante derivare una **formula generale** che permetta di calcolare la gittata orizzontale  $R$  di un proiettile sparato al tempo  $t=0$  dall'origine  $(x_0, y_0)$  di un sistema di riferimento (nel verso delle  $x$  crescenti) in funzione della sua velocità iniziale  $v_0$  e del suo angolo di sparo  $\theta_0$ .



Calcoliamo il tempo totale di volo dall'equazione (I-y) per il moto verticale, ponendo a zero la componente  $y$  della velocità nel punto A e poi raddoppiando il tempo necessario a raggiungere quel punto:

$$0 = v_{y0} - gt_A \rightarrow t_A = \frac{v_{y0}}{g} \rightarrow t = 2 \frac{v_{y0}}{g}$$

...e sostituiamo nell'equazione per il moto orizzontale:

$$R = x = v_{x0}t \rightarrow R = v_{x0} \left( \frac{2v_{y0}}{g} \right) = \frac{2v_{x0}v_{y0}}{g} = \frac{2v_0^2 \text{sen}\theta_0 \cos\theta_0}{g} \quad \text{essendo: } \vec{v}_0 \begin{cases} v_{x0} = v_0 \cos\theta_0 \\ v_{y0} = v_0 \text{sen}\theta_0 \end{cases}$$

Da qui, utilizzando l'identità trigonometrica  $2\text{sen}\theta\cos\theta=\text{sen}2\theta$ , avremo infine l'espressione cercata:

$$\rightarrow R = \frac{v_0^2 \text{sen}2\theta_0}{g}$$

## Nota

Da questa equazione si vede che **la gittata orizzontale aumenta col quadrato di  $v_0$** , perciò una velocità iniziale doppia (a parità di angolo di sparo  $\theta_0$ ) porta ad un incremento di quattro volte nella gittata massima!

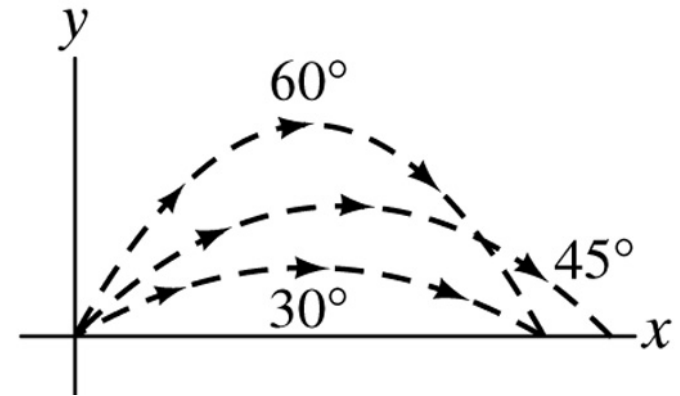
# Gittata orizzontale di un proiettile

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g}$$

Fissata invece la velocità iniziale  $v_0$ , e facendo variare l'angolo di sparo  $\theta_0$ , dalla formula appena vista avremo che la **gittata massima**  $R_{\max}$  si otterrà quando il  $\sin(2\theta_0)$  assume il suo valore massimo (=1), e cioè quando:

$$2\theta_0 = 90^\circ \rightarrow \theta_0 = 45^\circ \text{ per cui } R_{\max} = \frac{v_0^2}{g}$$

Ovviamente se la **resistenza** dell'aria non è trascurabile (come si è tacitamente supposto finora) la gittata – per un certo valore della velocità iniziale – sarà minore di quella appena calcolata, e si può verificare che il suo valore massimo si ottiene per un angolo minore di  $45^\circ$ .



angolo in gradi	angolo in radianti	seno
0°	0	0
30°	0,52	0,5
45°	0,79	0,71
60°	1,05	0,87
90°	1,57	1
180°	3,14	0

# La traiettoria di un proiettile è parabolica

Dagli esempi visti finora, e dalla nostra esperienza, sappiamo che la **traiettoria** di un proiettile, di un pallone o di un qualsiasi altro corpo in volo soggetto alla sola accelerazione di gravità (assumendo tale accelerazione costante e trascurando la resistenza dell'aria) è una **parabola**.

Ma come si fa a **dimostrarlo** usando le equazioni del moto di un proiettile in 2D?

Occorre trovare **y in funzione di x** eliminando il tempo  $t$  tra le due equazioni (II-x) e (II-y) per il moto orizzontale e verticale (in cui poniamo anche  $x_0=y_0=0$ ):

**moto orizzontale ( $a_x=0$ ,  $v_x=\text{cost.}$ )**  
**UNIFORME**

$$\text{(I-x)} \quad v_x = v_{x0}$$

$$\text{(II-x)} \quad x = x_0 + v_{x0}t$$

$$v_{x0} = v_0 \cos \theta ; v_{y0} = v_0 \sin \theta$$

**moto verticale ( $a_y = -g$ )**  
**UNIFORMEMENTE ACCELERATO**

$$\text{(I-y)} \quad v_y = v_{y0} - gt$$

$$\text{(II-y)} \quad y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$\text{(III-y)} \quad v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g(y - y_0)$$



(a)



(b)



(c)

**Fisica**

# La traiettoria di un proiettile è parabolica

Dagli esempi visti finora, e dalla nostra esperienza, sappiamo che la **traiettoria** di un proiettile, di un pallone o di un qualsiasi altro corpo in volo soggetto alla sola accelerazione di gravità (assumendo tale accelerazione costante e trascurando la resistenza dell'aria) è una **parabola**.

Ma come si fa a **dimostrarlo** usando le equazioni del moto di un proiettile in 2D?

Occorre trovare **y in funzione di x** eliminando il tempo  $t$  tra le due equazioni (II-x) e (II-y) per il moto orizzontale e verticale (in cui poniamo anche  $x_0=y_0=0$ ):

$$x = v_{x0}t \rightarrow t = \frac{x}{v_{x0}}$$

$$y = v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2 = v_{y0}\left(\frac{x}{v_{x0}}\right) - \frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_{x0}}\right)^2 \rightarrow y = \left(\frac{v_{y0}}{v_{x0}}\right)x - \left(\frac{g}{2v_{x0}^2}\right)x^2$$

da cui, considerando che  $v_{x0}=v_0\cos\theta_0$  e che  $v_{y0}=v_0\sin\theta_0$ , avremo:

$$\rightarrow y = \underbrace{(tg\theta_0)}_A x - \underbrace{\left(\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0}\right)}_B x^2 \quad \text{del tipo: } y = Ax - Bx^2$$



(a)



(b)



(c)

**Fisica**

# La traiettoria di un proiettile è parabolica

Dagli esempi visti finora, e dalla nostra esperienza, sappiamo che la **traiettoria** di un proiettile, di un pallone o di un qualsiasi altro corpo in volo soggetto alla sola accelerazione di gravità (assumendo tale accelerazione costante e trascurando la resistenza dell'aria) è una **parabola**.

Ma come si fa a **dimostrarlo** usando le equazioni del moto di un proiettile in 2D?

Occorre trovare **y in funzione di x** eliminando il tempo  $t$  tra le due equazioni (II-x) e (II-y) per il moto orizzontale e verticale (in cui poniamo anche  $x_0=y_0=0$ ):

$$x = v_{x0}t \rightarrow t = \frac{x}{v_{x0}}$$

$$y = v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2 = v_{y0}\left(\frac{x}{v_{x0}}\right) - \frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_{x0}}\right)^2 \rightarrow y = \left(\frac{v_{y0}}{v_{x0}}\right)x - \left(\frac{g}{2v_{x0}^2}\right)x^2$$

da cui, considerando che  $v_{x0}=v_0\cos\theta_0$  e che  $v_{y0}=v_0\sin\theta_0$ , avremo:

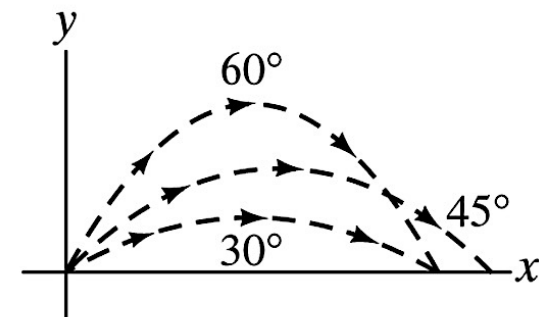
$$\rightarrow y = \underbrace{(tg\theta_0)}_A x - \underbrace{\left(\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0}\right)}_B x^2 \quad \text{del tipo: } y = Ax - Bx^2$$



(a)



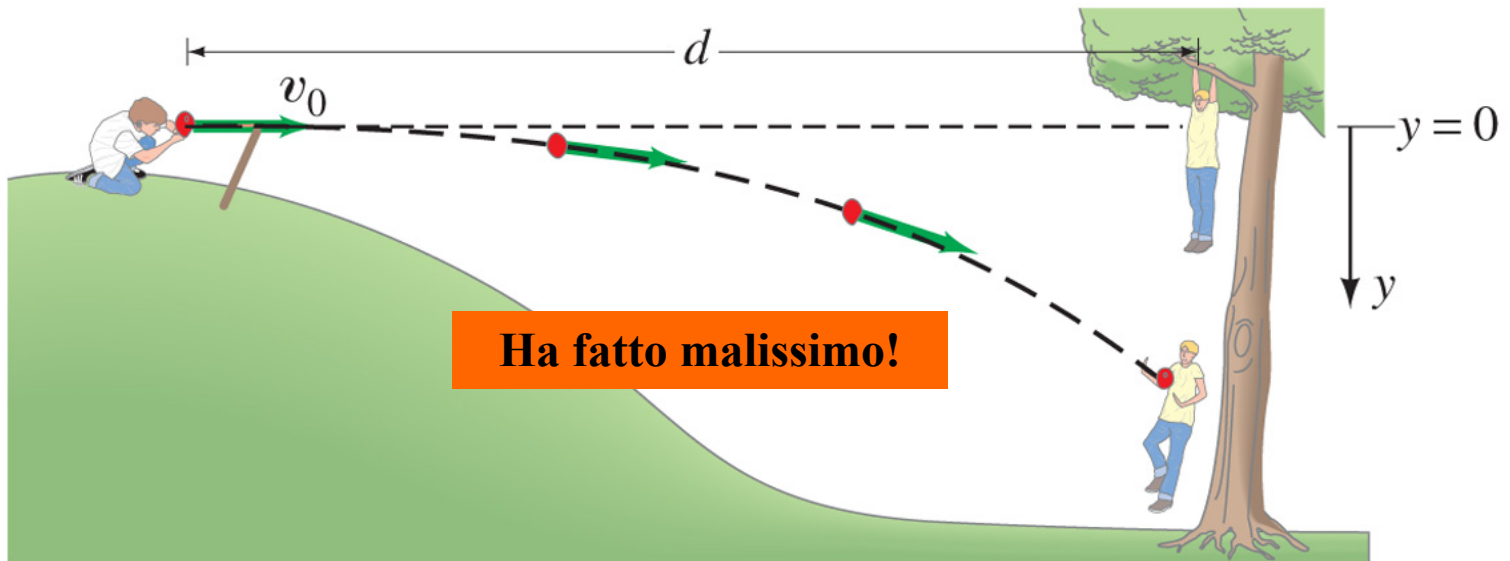
(b)



### Problema concettuale n.1

Un ragazzo su una collina punta la sua **fionda** caricata con un palloncino ad acqua orizzontalmente verso un secondo ragazzo che fa da bersaglio (poverino!) e che sta appeso al ramo di un **albero** (non avendo evidentemente di meglio da fare!). Nell'istante in cui il palloncino viene lanciato, il ragazzo-bersaglio, pensando di fare una **furbata** e di evitare così di essere colpito, abbandona istintivamente la presa e si lascia cadere dal ramo...

**Ha fatto bene o ha fatto male a mollare la presa?**



## Problema concettuale n.2

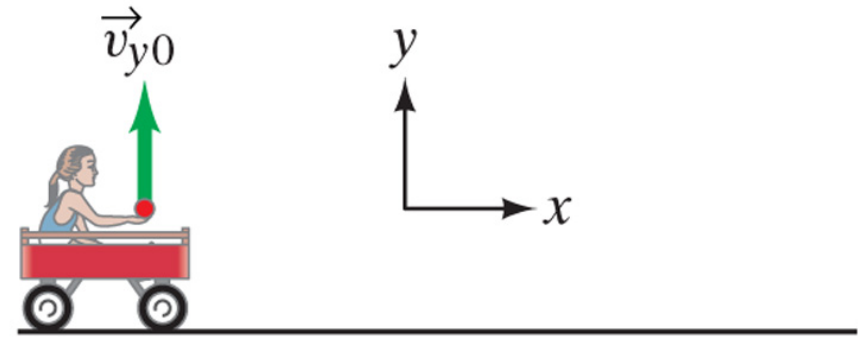
Una bambina è seduta su un **carretto** che si muove verso destra con velocità costante. La bambina stende la mano e lancia una **mela** verticalmente verso l'alto (nel suo sistema di riferimento), mentre il carretto continua a muoversi con **velocità costante**.

Trascurando l'attrito dell'aria, la mela cadrà (A) dietro il carretto, (B) sul carretto, (C) davanti al carretto?

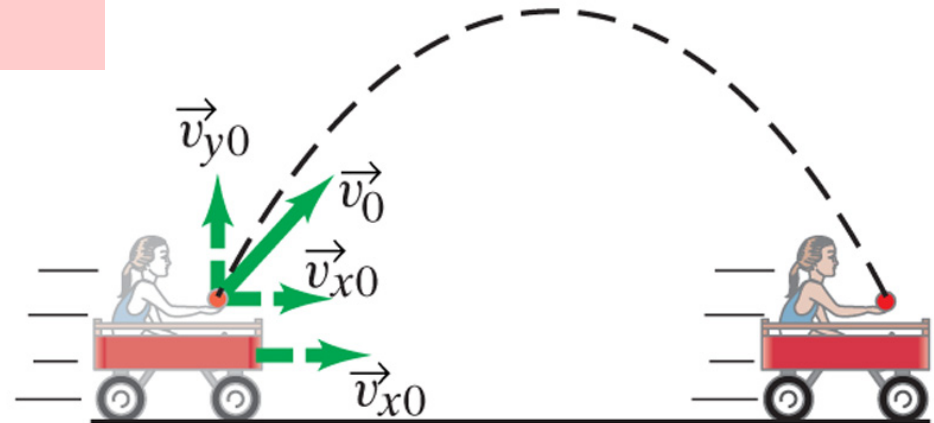
## Suggerimento

Ragionare ponendosi nel *sistema di riferimento del terreno*...

**La risposta corretta è la B!**



(a) Sistema di riferimento del carretto

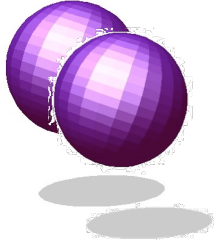


(b) Sistema di riferimento del terreno

Fisica

Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

## Qualche quesito...



### Quesito n.1

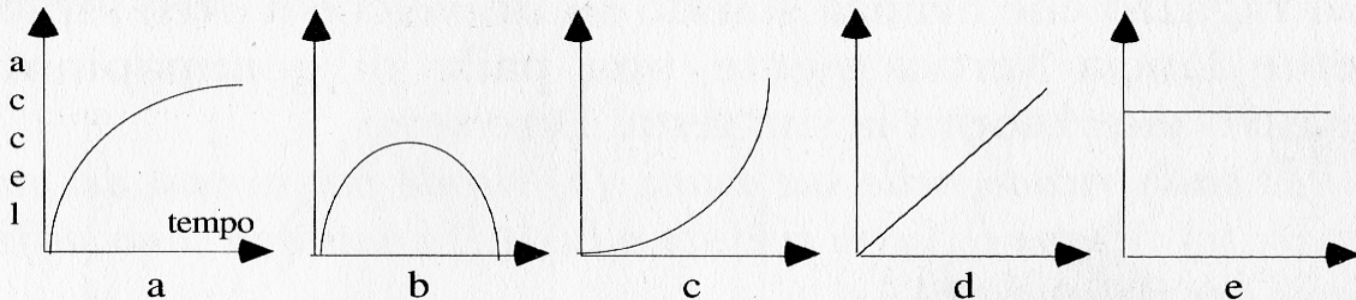
Due sfere uguali ma di diverso peso sono lanciate verso l'alto con la *stessa velocità iniziale*. Trascurando l'effetto dell'aria, si hanno dati sufficienti per dire **quale delle due sfere arriverà più in alto?**

*Possibili risposte: (a) sì, arriva più in alto la sfera che pesa meno; (b) sì, le due sfere arrivano alla stessa altezza; (c) sì, arriva più in alto la sfera che pesa di più; (d) no, non ci sono dati sufficienti per poterlo dire.*

(b)

### Quesito n.2

Una pietra è lanciata verso l'alto. Se si *trascura la resistenza dell'aria*, quale dei cinque grafici rappresenta l'**accelerazione** della pietra al trascorrere del tempo mentre è in aria?



(e)



### Quesito n.3

Un atleta che corre a *velocità costante* lascia cadere una boccia di piombo dalla sua mano. Dire se **essa tocca terra: (a) sulla verticale del punto da dove è lasciata cadere; (b) un po' più indietro; (c) nel punto dove, in quell'istante si troverà l'atleta; (d) in un punto intermedio tra (a) e (c).**

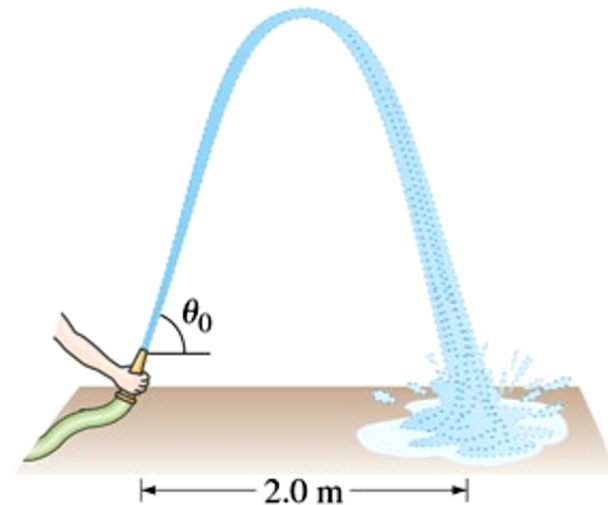
(c)



# Esercizi Cinematica 2-D

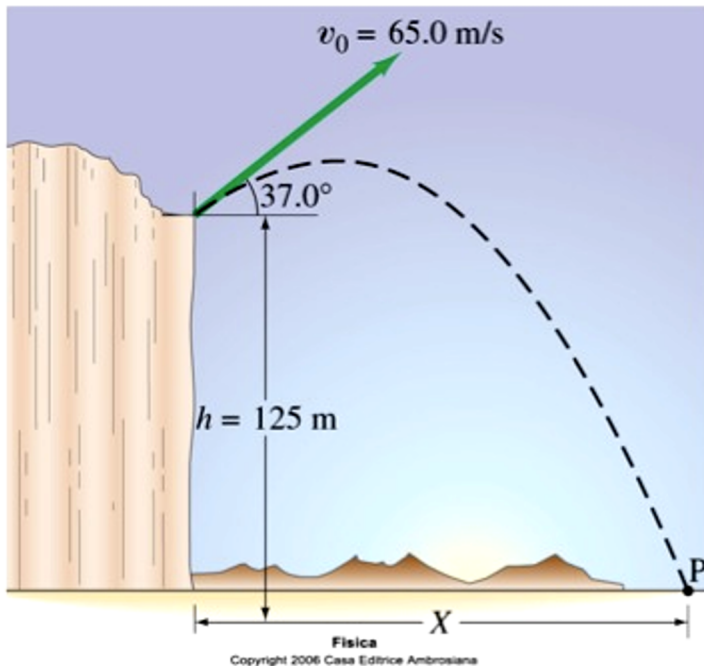
## Esercizio 1

La canna di una pompa antincendio, tenuta vicino al suolo, espelle l'acqua a una velocità pari a 6.8 m/s. A quale/i angolo/i deve essere orientata la canna per fare ricadere l'acqua a una distanza di 2.0 m (vedi figura)? Perché gli angoli sono due? Disegnate le due traiettorie.



## Esercizio 2

Un proiettile viene sparato dal bordo di una rupe, 125 m sopra il livello del terreno, con una velocità iniziale di 65 m/s e un angolo di  $37^\circ$  rispetto all'orizzontale (vedi figura). (a) Determinate il tempo impiegato dal proiettile per colpire il punto P a livello del terreno. (b) Determinate la gittata X del proiettile, misurata a partire dalla base della rupe. Nell'istante immediatamente prima di colpire il punto P, trovate (c) le componenti orizzontale e verticale della sua velocità, (d) il modulo della velocità e (e) l'angolo formato dal vettore velocità con l'orizzontale. (f) Trovate la massima altezza sopra la cima della rupe raggiunta dal proiettile.



## Esercizi Cinematica 2-D

### Esercizio 3

Durante il servizio, un tennista cerca di colpire la palla orizzontalmente. Qual'è la velocità minima che deve essere impressa alla palla per superare la rete alta 0.90 m e posta a circa 15.0 m di distanza dal tennista, se la palla viene lanciata da 2.50 m di altezza? Dove cadrà la palla, se sfiora la rete? E in tal caso sarà un servizio valido (cioè la palla cadrà entro 7.0 m dalla rete)? Quanto a lungo resterà in aria?

