



OBJAVUJEME VESMÍR

Astronómia
na základných školách

METODICKÁ PRÍRUČKA PRE UČITEĽOV 2. STUPŇA ZŠ



OBJAVUJEME VESMÍR

**Astronómia
na základných školách**

METODICKÁ PRÍRUČKA PRE UČITEĽOV 2. STUPŇA ZŠ

EXPOL PEDAGOGIKA, s.r.o.

Heydukova 12 – 14
811 08 Bratislava

Telefón: 00421/232 66 18 50

E-mailová adresa: info@expolpedagogika.sk

Webová stránka: www.expolpedagogika.sk, www.skolskyportal.sk

Konateľka spoločnosti: Mgr. Miroslava Bianchi Schrimpelová

Copyright:

© 2020 EXPOL PEDAGOGIKA, s. r. o. Všetky práva vyhradené.

Informácie k autorským právam

Obsah tejto metodickéj príručky, s výnimkou obrázkov a ilustrácií, podlieha licenci Creative Commons Attribution Non-Commercial 3.0 Unported (CC BY-NC 3.0), ďalšie informácie na <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>. Pod touto licenciou je komukoľvek povolené opätovné využitie na vlastné účely, kopírovanie, reprodukovanie celku alebo časti s neobmedzeným počtom kópií, na akékoľvek zverejnenie, predstavenie alebo sprístupnenie, na šírenie, úpravu a preklad. Používateľ je vždy povinný citovať zdroj a copyright. V prípade úpravy a prekladu metodickéj príručky nositeľ autorských práv nezodpovedá za takto upravené dielo. Používateľ nesmie používať diela na komerčné účely. Každý obrázok a ilustrácia podliehajú chráneným autorským právam v rôznom rozsahu od rôznych vlastníkov, a preto nesmú byť z metodickéj príručky vyňaté a používané akýmkoľvek spôsobom.

Autori:

PhDr. Ing. Ota Kéhar, Ph.D.; RNDr. Miroslav Randa, Ph.D.; PhDr. Václav Kohout, Ph.D.;
Bc. Pavel Kůs; Mgr. Lukáš Richterech, Ph.D.; doc. RNDr. Jan Šlégr, Ph.D.;
Jakub Vošmera, BA (Hons), MMath; Antoaneta Antonova, Assoc. Prof.;
Valeri Golev, Assoc. Prof.; Ivanka Stateva, Assoc. Prof.; Yoanna Kokotanekova

Preklad:

Mgr. Lucia Foltasová; Mgr. Eli Vanyova Kanova

Grafik:

Lucia Horineková, M7 s.r.o.

Projekt reprezentuje výlučne názor autora a SAAIC – Národná agentúra programu Erasmus+ ani Európska komisia nezodpovedajú za akékoľvek použitie informácií obsiahnutých v tejto publikácii. Tento projekt bol spolufinancovaný s podporou programu Erasmus+, Akcia KA2 Strategické partnerstvá pre školské vzdelávanie.

Názov projektu: STARS (Successfully Teaching AstRonomy in Schools)

Číslo projektu: 2017-1-SK01-KA201-035344

ISBN: 978-80-8091-689-3

Vydanie: prvé

Rok vydania: 2020

OBSAH

1. SÚHVEZDIA (VYSVETLENIE, ZOZNAM SÚHVEZDÍ, MÝTY, LEGENDY)	5
2. POHYB NEBESKÝCH TELIES (VIDITEĽNÝ, SKUTOČNÝ)	25
Keplerove zákony	35
Kuželosečky – orbity nebeských telies	61
3. NEWTONOV GRAVITAČNÝ ZÁKON	79
Newtonov gravitačný zákon, tretia kozmická rýchlosť, hmotnosť, tiaž	79
Stav beztiaže	89
4. OBJAVOVANIE VESMÍRU	105
Základná orientácia na oblohe (najviditeľnejšie súhvezdía), polárna hviezda, objekty hlbokého vesmíru, Messierov katalóg a nový všeobecný katalóg	105
Meranie času (čas, hodiny)	116
5. SLNEČNÁ SÚSTAVA	136
Planéty slnečnej sústavy	136
Trpasličie planéty	162
Malé telesá slnečnej sústavy	184
Zatmenie Mesiaca	204
Zatmenie Slnka	220
Vzdialenosti a veľkosti	247
6. GALAKTICKÉ PROSTREDIE	263
Život vo vesmíre	263
Exoplanéty	275
7. SLNKO A HVIEZDY	289
Zdroje energie: jadrové reakcie	289
Vývoj hviezd: základné vysvetlenie	299
Vývoj hviezd: záverečné fázy	307
Slnko ako hviezda: evolúcia Slnka	315

8. NAŠA GALAXIA A INÉ GALAXIE	322
Meranie vzdialeností vo vesmíre (svetelný rok, parsek, paralaxa)	322
Vzdialenosti vo vesmíre	336
9. VESMÍR	361
Vesmír – história, teória Veľkého tresku, radiácia	361
10. HVEZDÁRNE	372
Astronomické observatóriá	372
Astronomické ďalekohľady	386
Elektromagnetické spektrum	405

SÚHVEZDIA

(vysvetlenie, zoznam súhvezdí, mýty, legendy)

1. ÚVOD

Astronómovia sú často nazývaní hvezdármi, lebo vraj počítajú hviezdy. Pravda je taká, že astronómovia „nepočítajú“ hviezdy, ale študujú ich. Napriek tomu vieme, že na oblohe je voľným okom celkom možné vidieť asi 6 000 hviezd, pričom v určitom okamihu je nad našimi hlavami asi 3 000 hviezd. Týchto 3 000 hviezd tvorí minimálnu časť všetkých hviezd vo Vesmíre, ale ak ich potrebujeme poznať podľa mena a vedieť, čo sú zač a ako sa hýbu, bolo by to veľmi pre nás veľmi náročné.

V tejto téme zadefinujeme pojmy „súhvezdie“ a „asterizmus“. Urobíme stručný prehľad o histórii vzniku súhvezdí a o ich modernej nomenklatúre. Predstavíme niektoré mýty a legendy o súhvezdiach. Vysvetlíme pojem „zodiakálne súhvezdia“ alebo „zverokruh“. V prílohe poskytneme zoznam súhvezdí. V praktickej časti ponúkame zábavné hry a cvičenia súvisiace so súhvezdiami.

Obsah

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

súhvezdie

asterizmus

mýty a legendy

zodiakálne súhvezdia (zverokruhy)

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

2.1 Súhvezdia. Dejiny a nomenklatúra

Súhvezdia Dnes máme hodiny, kalendáre, kompas a mnoho ďalších nástrojov, ale pred tisíckami rokov sa ľudia v čase a priestore orientovali prevažne podľa hviezd. Aby si to uľahčili, rozdelili ich do skupín, ktoré dnes nazývame **súhvezdia**. Jasnejšie hviezdy, ktoré tvorili určité tvary, boli prirovnávané k predmetom (Lýra, Váhy, Trojuholník, Šíp, Severná koruna, Pohár, Štít atď.); zvieratám (Ryby, Baran, Býk, Rak, Lev, Škorpión, Veľká medvedica, Malý medveď, Veľký pes, Malý pes, Labuť, Orol atď.); mýtickým bytostiam (Drak, Pegas, Centaurus); alebo ľuďom (Herkules, Perzeus, Orión, Cefeus, Kasiopeja, Andromeda) a dostali názvy, ktoré sa väčšinou týkajú mýtov a legiend tradičných pre daný národ. Takmer každý národ mal svoje názvy pre súhvezdia. Dnes už máme dôkazy o názvoch súhvezdí starých Mezopotámcov, Sumerov, Babylončanov, Peržanov, Egyptanov, Číňanov, Mayov atď.

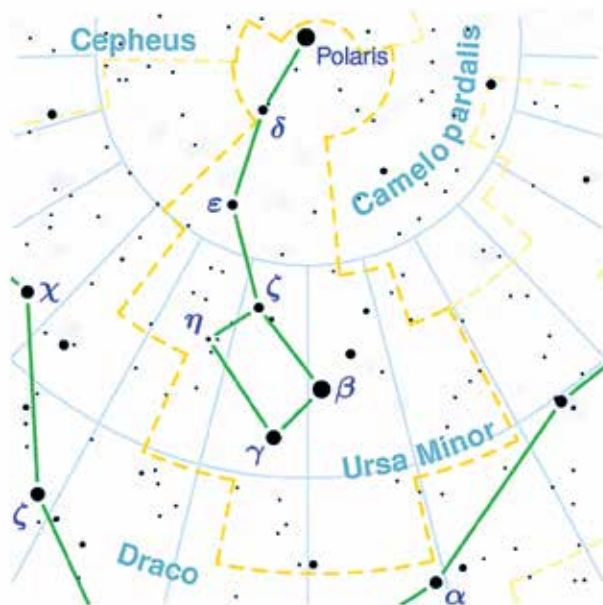


Obrázok 1: Hviezdna obloha starých Grékov (A), Mayov (B) a Egyptanov (C)

Tento spôsob zoskupovania hviezd veľmi pomohol astronómom, kňazom a obyčajným ľuďom orientovať sa na oblohe, monitorovať východy a západy Slnka, pohyby Slnka, Mesiaca a planét medzi nimi. Po celé stáročia pomáhal ľuďom pri poľnohospodárstve, chove hovädzieho dobytku, blízkom a vzdialenom cestovaní, vojenských činnostiach a rituáloch. Vtedy však súhvezdia neobsahovali slabé hviezdičky. Boli tam aj väčšie oblasti oblohy, ktoré netvorili žiadne súhvezdia. Keď vynasli ďalekohľad, ľudia videli, že existuje veľa hviezd neviditeľných voľným okom, a potom bolo objavených veľa „hmlistých objektov“. Začali zavádzať nové súhvezdia, ktoré vyplňali prázdne miesta na oblohe. Začali sa pokúšať meniť názvy súhvezdí. Veľké geografické objavy a plavby Európanov po južných moriach viedli k potrebe rozdeliť aj južnú oblohu na časti.

Vývoj astronómie Vtedy začali astronómia z rôznych krajín medzi sebou aj viac komunikovať a vymieňať si názory. Astronómia sa vyvíjala rýchlym tempom. Bolo potrebné „zaviesť poriadok“ na oblohe. Tak na svojom kongrese v roku 1922 Medzinárodná astronomická únia, ktorá bola vytvorená o niečo skôr, položila základy modernej, jednotnej mapy oblohy. Celú oblohu astronómia rozdelili na 88 oblastí, ktoré dnes zodpovedajú súčasným 88 súhvezdiami. Teraz sa pod pojmom „súhvezdie“ nerozumie iba tvar z pár jasnejších hviezd, ale všetky

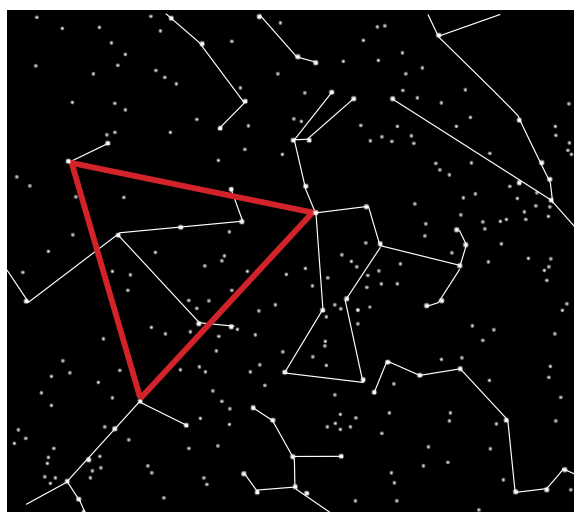
objekty v ňom – ide o **hviezdy, hviezdokopy, hmloviny alebo galaxie**, ktoré sú viditeľné alebo neviditeľné voľným okom a ktoré spadajú do danej oblasti, **teda patria do daného súhvezdia**. Samotné hranice súhvezdí sú vymedzené nebeskými rovnobežkami a poľudníkmi, a boli schválené Medzinárodnou astronomickou úniou ešte v roku 1930.



Obrázok 2: Súhvezdie Malý medveď s jeho hranicami a asterizmus Malý voz

Obrázky, ktoré dnes tvoria jasnejšie hviezdy, sa nazývajú „asterizmus“. Častejšie sú súčasťou súhvezdí, napríklad Veľký voz (podľa súhvezdia Veľká medvedica), Malý voz (podľa súhvezdia Malý medveď, Obrázok 2), Čajová lyžička (podľa súhvezdia Strelec). Ďalšie asterizmy vytvárajú najjasnejšie hviezdy niekoľkých súhvezdí – napríklad asterizmus Letný trojuholník tvorí Vega (najjasnejšia hviezda súhvezdia Lýra), Deneb (zo súhvezdia Labuď) a Altair (zo súhvezdia Orol).

Asterizmy



Obrázok 3: Asterizmus Zimný trojuholník vytvárajú ďalšie tri jasné hviezdy – Betelgeuze zo súhvezdia Orión, Sírius zo súhvezdia Veľký pes a Prokyón zo súhvezdia Malý pes

1. Súhvezdia

Väčšina moderných súhvezdí sa zhoduje s tvarmi a názvami súhvezdí z čias starých Grékov a súvisí so starodávnymi gréckymi legendami a mýtmi. Sú to hlavne súhvezdia zo Severnej oblohy, ktoré bolo vidieť zo starovekého Grécka a takmer z celej Európy. Až 47 (48?) z týchto súhvezdí si zachovalo svoje starogrécke mená – súhvezdia uvedené vyššie, všetky zverokruhy a ďalšie, ako napríklad Povožník, Pastier, Veľryba, Vlasy Bereniky, Hydra.

Súhvezdia na Južnej pologuli nesú opäť mená zvierat (mýtických alebo exotických) – Tukan, Fénix, Páv, Rajka, Lietajúca ryba atď. Ďalšie časti južných súhvezdí sú odrazom doby, v ktorej boli pomenované – Obdobie veľkých zemepisných objavov a Vedecko-technická revolúcia (ďalekohľad, mikroskop, sextant, oktant, kvadrant, pneumatický stroj a ďalšie).

2.2 Mýty a legendy o súhvezdiach

Mytológia spojila súhvezdia Cefeus, Kasiopeja, Andromeda, Veľryba a Perseus v jednej úžasnej legende, ktorú poznajú ľudia od najstarších čias.

Ďaleko, až na južnom konci Zeme, bola rozkvitajúca krajina Etiópia, ktorej vládol kráľ Cefeus so svojou manželkou kráľovnou Kasiopejou.

Kráľ Cefeus a kráľovná Kasiopeja mali jedinou dcéru – volala sa Andromeda. V starostlivosti svojich rodičov Kasiopeja vyrastala šťastne a stala sa krásnym dievčaťom, krajším ako všetci Etiópcania. Očarená krásou svojej dcéry sa kráľovná Kasiopeja všade chválila, že Andromeda je krajšia ako morské nymfy, ktoré v hĺbinách mora priadli so svojimi zlatými praslicami.

Morské nymfy, pobúrené a zarmútené kráľovnou Kasiopejou, so slzami v očiach vyliali svoju bolesť pred vládcu morí a hlbín, boha Poseidóna. Zmrštil Poseidón obočie a nahnevaný poslal Etiópii nevidanú katastrofu. Každý deň, keď Helios lietal na svojom zlatom voze cez oblohu, z búrlivého mora vychádzala príšera – obrovská a hrôzostrašná Veľryba. Z jej obrovských úst a strašidelných očí vychádzali ohnivé plamene a z jej uší vychádzali čierne oblaky, po ktorých nastávala zlovestná tma.

Obrovitánska a strašidelná Veľryba sa každý deň vynárala z hlbín mora a plávala pozdĺž brehov Etiópie. Všade tam, kadiaľ prešla, všetko spálila a obrátila na popol kvôli prudkým plameňom, ktoré hádzala na všetky strany. Nad rozkvitajúcou Etiópiou viselo nebezpečenstvo, že sa z nej ostane iba spálená púšť. Skončili piesne vtákov, na poliach už neboli žiadne stáda, Etiópcania pociťovali strach a hrôzu. Všade bolo počuť iba plač a vzlykanie. Nikto nedokázal zachrániť krajinu pred veľkou pohromou, ktorá ju postihla.

Zúfalý kráľ Cefeus sa opýtal veštca, ako sa dá krajina zachrániť pred pohromou, ktorá ju zasiahla. Veštec mu odpovedal takto:

„Veľryba prestane spopolňovať vašu krajinu len vtedy, keď ju necháte, aby zjedla vašu jedinou dcéru Andromedu. Taká je vôľa bohov!“

Kráľ Cefeus, ktorý sa skoro udusil vlastnými slzami, povedal Kasiopeji, aká je vôľa bohov. Aj ona sa rozplakala a nemohla povedať nič.

Kráľ Cefeus a kráľovná Kasiopeja teda dlho plakali, ale ako aj naďalej sledovali ako obrovské plamene každý deň vychádzajú z úst Veľryby a premieňajú ich krajinu na púšť, rozhodli sa podrobiť sa vôli bohov. Raz, veľmi skoro ráno, ešte pred tým, ako bohyňa Éós svojimi ružovými prstami otvorila dvere nebeského paláca, aby vypustila Helia na jeho voze zo zlata, vzal Cefeus a Kasiopeja svoju dcéru Andromedu na skalnaté morské pobrežie. Zviazali ju reťazami, priviazali ju silno na strmú skalú a nechali ju tam plakať osamote. Iba líce boha slnka Helia sa nežne dotýkali krásnej tváre Andromedy.

Zrazu sa more začalo búriť. Obrovské vlny začali narážať do pobrežných skál... Z jeho hlbín vyšla príšera – obrovská Veľryba. Široko otvorila svoje strašidelné ústa a z nich vychádzali divoké plamene. Jej dlhý chvost, pokrytý hustými čiernymi šupinami, sa preháňal búrlivými vlnami.

Videla Veľryba Andromedu pripútanú o skalú a otvorila svoje ústa ešte širšie. Zuby mala ostré ako meče a z jej očí vyskakovali krvavé blesky. Potom sa otočila k princeznej a začala sa k nej približovať. Andromeda vykrikla. O chvíľu by ju príšera roztrhla... Ale z výšok, kde mal na sebe svoje okrídlené sandále, videl Perzeus príšeru, ktorá sa blížila ku skale, a začul výkriky dievčaťa, ktoré bolo o ňu pripútané. Ako šíp vyletel Perzeus k hrozivej príšere a bodol ju mečom. Príšera sa nahnevala a začala chrliť ešte väčšie plamene, ktoré sa už dotýkali nôh nešťastnej Andromedy. Nebol čas, aby Perzeus v boji pokračoval. Siahol do tašky, vytiahol hlavu Medúzy, svoj zrak od nej odvrátil tak, aby sa na ňu nepozeral, a nasmeroval ju na príšeru. V tom okamihu sa z Veľryby stal obrovský skalnatý ostrov uprostred rozbúreného mora. Perzeus dal hlavu Medúzy späť do tašky, oslobodil Andromedu a opýtal sa jej, kto vlastne je a prečo je tak pripútaná.

Ešte so slzami v očiach Andromeda povedala Perzeovi o svojom prekliatome osude. Perzeus ju zobral späť do paláca jej rodičov. V očiach kráľa Cefea a kráľovnej Kasiopeje sa objavili slzy radosti, keď videli svoju krásnu Andromedu nažive. Dlho obdivovali nevídaný hrdinský čin Perzea a svoju dcéru Andromedu, ktorú zachránil, mu dali za ženu.

Dokonca aj niektoré „nové“ súhvezdia (zavedené v 17. – 19. storočí) dostali mená súvisiace so starogréckou mytológiou. Toto je prípad súhvezdia Poľovné psy.

Legenda o súhvezdiach Veľká medvedica, Malý medveď, Pastier a Poľovné psy

Podľa starogréckej legendy je Veľká medvedica krásavica Kallisto, ktorú najmocnejší boh Zeus miloval nadovšetko a s ktorou mal syna menom Arkas. Ale Zeusova manželka, ktorá na neho veľmi žiarlila, sa rozhodla prefíkane zničiť svoju sokyňu tým, že ju premení na medvedicu. Jedného večera, keď sa Arkas vracal z poľovačky, na prahu matkinho domu uvidel veľkú medvedicu. Natiahol luk, a práve keď šíp vyletel k šelme, to videl boh Zeus. V tom okamihu chytil medvedicu za chvost a odniesol ju na oblohu, odkiaľ aj dnes žiari ako súhvezdie Veľká medvedica (preto má aj tak neprirodzené dlhý chvost). Arkasa premenil na hviezdu, ktorá dnes svieti ako jasná hviezda Arktúr zo súhvezdia Pastier. V súhvezdí Malý medveď starí Gréci videli milovanú slúžku krásnej Kallisto. Až v roku 1690 sa v hviezdnom atlase

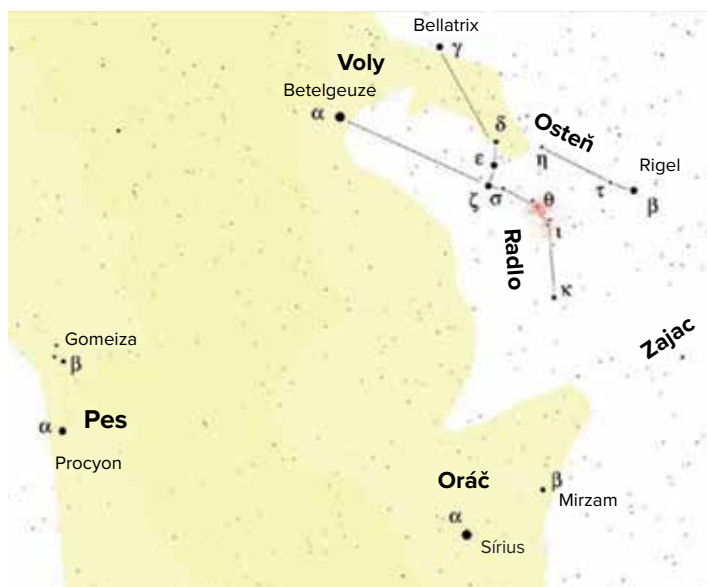
1. Súhvezdia

Jána Hevelia objavilo nové súhvezdie, ktoré sa nachádza v dovedy „prázdnej“ oblasti oblohy pod chvostom súhvezdia Veľká medvedica. Toto súhvezdie nazval Poľovné psy, čím „doplnil“ mýtus o jednom z najznámejších súhvezdí.



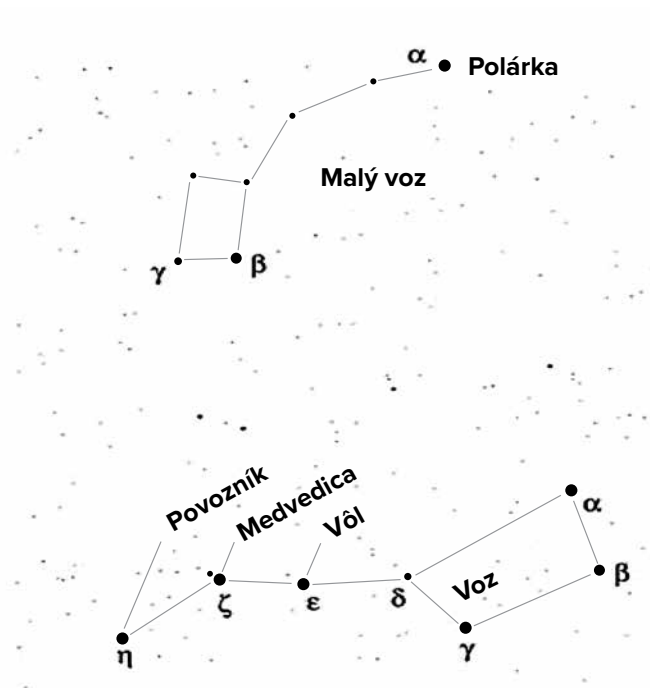
Obrázok 4: Súhvezdie Veľká medvedica

Bulharský ľud tiež mal „svoje“ súhvezdia. Aj keď je zachovaných piesní a básní veľmi málo, dnes vieme, že v súhvezdiach Orión, Veľký pes a Malý pes starí Bulhari videli postavy ako Oráč, Radlo, Voly, Osteň a Pes. Aj táto scéna na oblohe veľmi dobre zapadá s časom jej viditeľnosti – keď okolo polnoci videli tieto súhvezdia vysoko na oblohe, ľudia vedeli, že je čas na oranie a siatie.



Obrázok 5: Bulharská verzia legendy o súhvezdí Orión, Veľký pes a Malý pes

Jedna z nebeských bulharských legiend hovorí o súhvezdí Veľká Medvedica, v ktorej vystupuje samotná Veľká medvedica, Povožník, Vól, Pes a Voz. Príbeh hovorí, že kým Povožník zbieral drevo v lese, jedného z volov zjedla veľká medvedica. Potom Povožník (hviezda Alkaid) chytil medvedicu (hviezda Mizar), vedľa druhého vola (hviezda Alioth) ju zapriahol do voza (štyri hviezdy Dubhe, Merak, Phekda a Megrez), pričom štekala jeho pes (hviezda Alcor).

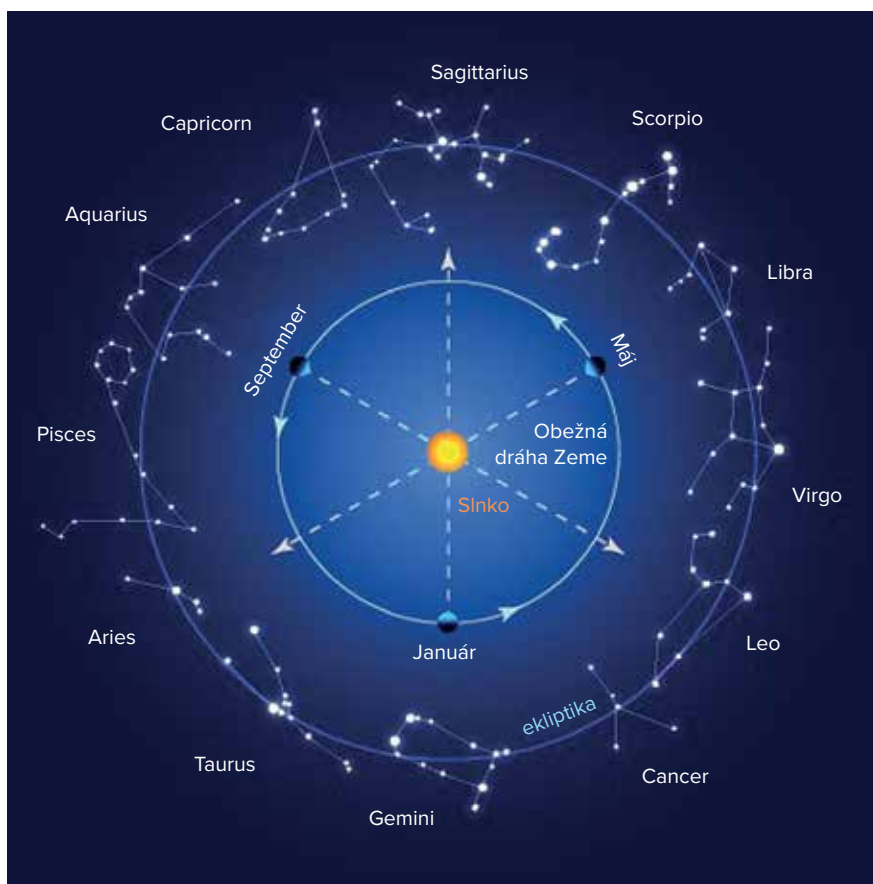


Obrázok 6: Bulharské názvy hviezd z bulharského súhvezdia „Voz“ (Veľká medvedica)

2.3 Zodiakálne súhvezdia (zverokruh)

Zodiakálne súhvezdia zaujímajú medzi súhvezdiami zvláštne miesto. Sú to súhvezdia, cez ktoré Slnko prechádza počas svojho viditeľného pohybu na oblohe po dobu jedného roka. Počet týchto súhvezdí je 13, ale astrológovia, ktorí sa obávali „smrteľnej“ číslice 13, v priebehu stáročí presadili „Zverokruh“, ktorý pozostáva z 12 „znamení“ – Baran, Býk, Blíženci, Rak, Lev, Panna, Váhy, Škorpión, Strelce, Kozorožec, Vodnár, Ryby. Trináste zodiakálne súhvezdie je Hadonos a nachádza sa medzi Škorpiónom a Strelcom, a trocha nad nimi. Pretože všetky tieto súhvezdia (okrem súhvezdia Váhy) nesú mená živých bytostí, tento kruh nebeskej sféry sa nazýva „zvierací“ alebo jedným slovom „zverokruh“ – v gréckom slovo „zoo“ znamená zviera. Medzi týmito súhvezdiami sa pohybuje Mesiac a všetky planéty, a preto sú zodiakálne súhvezdia veľmi dobre známe a rozpoznateľné (mimo ich astrologických dôsledkov).

1. Súhvezdia



Obrázok 7: Zodiakálne súhvezdia (zverokruh)

PRÍLOHA 1 – ZOZNAM SÚHVEZDÍ

č.	Slovenský názov	Skratka	Latinský názov
1	Andromeda	And	Andromeda
2	Výveva	Ant	Antlia
3	Rajka	Aps	Apus
4	Vodnár	Aqr	Aquarius
5	Orol	Aql	Aquila
6	Oltár	Ara	Ara
7	Baran	Ari	Aries
8	Povožník	Aur	Auriga
9	Pastier	Boo	Boötes
10	Rydlo	Cae	Caelum
11	Žirafa	Cam	Camelopardalis
12	Rak	Cnc	Cancer
13	Poľovné psy	CVn	Canes Venatici
14	Veľký pes	CMA	Canis Major
15	Malý pes	CMi	Canis Minor
16	Kozorožec	Cap	Capricornus
17	Kýl	Car	Carina
18	Kasiopeja	Cas	Cassiopeia
19	Centaurus	Cen	Centaurus
20	Cefeus	Cep	Cepheus
21	Veľryba	Cet	Cetus
22	Chameleón	Cha	Chamaeleon
23	Kružidlo	Cir	Circinus
24	Holubica	Col	Columba
25	Vlasy Bereniky	Com	Coma Berenices
26	Južná koruna	CrA	Corona Australis
27	Severná koruna	CrB	Corona Borealis
28	Havran	Crv	Corvus
29	Pohár	Crt	Crater
30	Južný kríž	Cru	Crux
31	Labuť	Cyg	Cygnus
32	Delfín	Del	Delphinus
33	Mečiar	Dor	Dorado
34	Drak	Dra	Draco
35	Koník	Equ	Equuleus
36	Eridanus	Eri	Eridanus
37	Pec	For	Fornax
38	Blíženci	Gem	Gemini
39	Žeriav	Gru	Grus
40	Herkules	Her	Hercules
41	Hodiny	Hor	Horologium
42	Hydra	Hya	Hydra
43	Vodný had	Hyi	Hydrus
44	Indián	Ind	Indus

1. Súhvezdia

č.	Slovenský názov	Skratka	Latinský názov
45	Jašterica	Lac	Lacerta
46	Lev	Leo	Leo
47	Malý Lev	LMi	Leo Minor
48	Zajac	Lep	Lepus
49	Váhy	Lib	Libra
50	Vlk	Lup	Lupus
51	Rys	Lyn	Lynx
52	Lýra	Lyr	Lyra
53	Stolový vrch	Men	Mensa
54	Mikroskop	Mic	Microscopium
55	Jednorožec	Mon	Monocerus
56	Mucha	Mus	Musca
57	Pravítko	Nor	Norma
58	Oktant	Oct	Octans
59	Hadonos	Oph	Ophiuchus
60	Orión	Ori	Orion
61	Páv	Pav	Pavo
62	Pegas	Peg	Pegasus
63	Perseus	Per	Perseus
64	Fénix	Phe	Phoenix
65	Maliar	Pic	Pictor
66	Ryby	Psc	Pisces
67	Južná ryba	PsA	Piscis Austrinus
68	Korma	Pup	Puppis
69	Kompas	Pyx	Pyxis
70	Sieť	Ret	Reticulum
71	Šíp	Sge	Sagitta
72	Strelec	Sgr	Sagittarius
73	Škorpión	Sco	Scorpius
74	Sochár	Scl	Sculptor
75	Štít	Sct	Scutum
76	Had	Ser	Serpens
77	Sextant	Sex	Sextans
78	Býk	Tau	Taurus
79	Ďalekohľad	Tel	Telescopium
80	Trojuholník	Tri	Triangulum
81	Južný trojuholník	TrA	Triangulum Australe
82	Tukan	Tuc	Tucana
83	Veľká Medvedica	UMa	Ursa Major
84	Malý Medveď	Umi	Ursa Minor
85	Plachty	Vel	Vela
86	Panna	Vir	Virgo
87	Lietajúca ryba	Vol	Volans
88	Líštička	Vul	Vulpecula

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY A TESTY PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Názvy súhvezdí

Žiaci vymenujú súhvezdia, ktoré vedia naspamäť.

Úloha 2: Druhy súhvezdí

Cieľ úlohy

Rozdeliť súhvezdia podľa ich mien – zvieracie (vtáky, vodné, pozemské a mýtické zvieratá), ľudské (ženské a mužské), predmety (vedecké nástroje atď.) – podľa úrovne detí.

Pomôcky

- PRÍLOHA 1 – Zoznam súhvezdí
- Tabuľka pre rozdelenie súhvezdí do skupín

1. Súhvezdia

Súhvezdia										
	Ľudia		Zvieratá				Predmety			
	Muži	Ženy	Suchozemské	Vodné	Vtaky	Mýtické zvieratá	Vedecké prístroje	Ostatné		
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										

Metodické pokyny pre učiteľov

Deti majú k dispozícii zoznam súhvezdí a prázdnu tabuľku na vyplnenie názvov súhvezdí rozdelených do skupín. Tabuľka obsahuje **3 hlavné skupiny súhvezdí** – ľudia, zvieratá a predmety. Skupina ľudí sa dá rozdeliť do dvoch podskupín – muži a ženy. Skupina zvierat je rozdelená takto: suchozemské zvieratá, vodné živočích (nie ryby), vtáky a mýtické bytosti. Skupina predmetov je rozdelená na vedecké prístroje a iné predmety. U starších detí je možné prístroje používané v astronómii dať do samostatnej skupiny.

Deti majú spočiatku možnosť sami rozdeliť súhvezdia podľa týchto kritérií. Vo všetkých prípadoch je vhodné, aby učiteľ tento proces v určitej fáze podporoval, pretože deti budú mať problémy s mnohými názvami súhvezdí. Žiaci nepoznajú veľa mien postáv zo starogréckej mytológie. Niektoré súhvezdia nesú mená postáv – Cefeus, Perzeus, Andromeda, Kasiopeja, Herkules, Orión; iné odzrkadľujú povolania – Vodnár, Povožník, Pastier, Maliar, Sochár, Hadonos, Strelec; v tretej podskupine sú súhvezdia Blíženci a Panna. Prípad Strelca je trochu zvláštny, pretože je aj mýtickým stvorením – Centaurus, ale aj stvorenie s ľudskou hlavou a telom koňa. To isté platí pre súhvezdie Vlasy Bereniky – toto meno môže byť obsiahnuté v súhvezdiach s menami žien a môže byť zahrnuté aj do súhvezdí podľa predmetov. Žiaci môžu rozhodnúť, kam umiestnia tieto súhvezdia v tabuľke. To zase podnieti diskusiu, ktorá ďalej pomôže deťom zapamätať si a pochopiť mená súhvezdí.

U zvierat nie je takmer žiadny problém s ich rozdelením do štyroch skupín a deti by mali byť schopné to zvládnuť relatívne ľahko. Niektorým žiakom môže robiť problém súhvezdie Tukan, keďže ide v našich zemepisných šírkach o menej známeho vtáka. Mečiar a Lietajúca ryba môžu u detí tiež vyvolať pochybnosti o tom, či tieto ryby skutočne existujú, ale ukázalo sa, že áno. To isté platí aj pre súhvezdie Rajka, ktoré zoskupuje skupinu vtákov skutočne existujúcich v prírode.

Skupina mýtických tvorov zahŕňa niektoré „zvieratá“, ktoré môžu žiakov zavádzať. Väčšina mien týchto stvorení je veľmi populárna a dokonca aj dospelí sa môžu pomýliť, že sa takéto zvieratá ozaj objavujú v prírode. Najväčší dôraz je kladený na súhvezdie Veľryba. Veľryba je skutočným existujúcim zvieratom, ale starí Gréci videli v tomto súhvezdí krvilačnú príšeru zo známej legendy, kde vystupujú Cefeus, Kasiopeja, Andromeda, Perzeus, Pegas a Kit.

Mnohé súhvezdia sú pomenované podľa predmetov a prístrojov. Učítelia môžu tieto súhvezdia rozdeliť podrobnejšie, ale v navrhovanej tabuľke sú podmiennečne rozdelené na prístroje používané vo vede a v každodennom živote.

Pokyny pre žiakov

Rozdeľte súhvezdia zo zoznamu do skupín v prázdnej tabuľke. Tabuľka obsahuje 3 hlavné skupiny súhvezdí – ľudia, zvieratá a predmety. Skupina ľudí sa dá rozdeliť do dvoch podskupín – muži a ženy. Skupina zvierat je rozdelená takto: suchozemské zvieratá, vodné živočích (nie ryby), vtáky a mýtické bytosti. Skupina predmetov je rozdelená na vedecké prístroje a iné predmety.

1. Súhvezdia

Po vyplnení tabuľky sa žiakom môžu položiť niektoré z nasledujúcich otázok:

- Kolko mužov je na nebi? – 14 (Blíženci – dvojčatá sú dve)
- Kolko žien je na nebi? – 4
- Kolko psov je v súhvezdiach? – 4 (V súhvezdí Poľovné psy sú dva psy)
- Kolko koní existuje? – 3 (Malý kôň/Koník – jediné skutočne existujúce zviera, Pegas a Jednorožec). Žiaci by mohli ku koňom zariadiť aj súhvezdia Strelec a Centaurus, pričom sú to na polovicu kone a na polovicu ľudia.
- Kolko rýb je na nebi? – 5 (v súhvezdí Ryby sú so stuhou priviazané 2 ryby). Ak hovoríme o vodných živočíchoch, potom ich počet je 8.

Možno si vymyslieť podobné otázky, ktoré uľahčia žiakom zapamätať si názvy súhvezdí, umožnia vyprovokovať ich fantáziu, uľahčia im rozpoznávanie hviezd na hviezdnych mapách a pod.

Niečo navyše:

Pre žiakov bude zaujímavé vyfarbiť zodiakálne súhvezdia určitou farbou tak, aby sami sebe dokázali, že všetky zodiakálne súhvezdia, okrem súhvezdia Váhy, sú živými bytosťami, z ktorých pochádza aj názov tejto skupiny súhvezdí, cez ktoré prechádza Slnko.

Pokročilejší žiaci môžu mať za úlohu rôznymi farbami vyfarbiť rovníkové súhvezdia, nezapadajúce súhvezdia a súhvezdia, cez ktoré prechádza Mliečna cesta. Táto úloha si však vyžaduje, aby žiaci disponovali hviezdou mapou alebo špecializovaným počítačovým programom. Túto úlohu možno zadať aj po tretej téme, keď sú žiaci už oboznámení s ostatnými klasifikáciami súhvezdí a so skutočným a viditeľným pohybom oblohy. V závislosti od úrovne detí môžu učители improvizovať vo vzťahu k množstvu variantov úloh a otázok.

PRÍLOHA 2

Predstavuje doplnenú tabuľku pre učiteľov, v ktorej sú súhvezdia vyfarbené nasledovne:

- žlté pole – zodiakálne súhvezdia,
- modré pole – nezaradené súhvezdia,
- zelené pole – ekvatoriálne súhvezdia.

Súhvezdia										
Ľudia			Zvieratá				Predmety			
Muži	Ženy	Suchozemské	Vodné	Vtáky	Mýtické zvieratá	Vedecké prístroje	Ostatné			
Vodnár	Andromeda	Baran	Rak	Rajka	Kozorožec	Kružidlo	Výveva			
Povozník	Kasiopeja	Žirafa	Delfín	Orol	Centaurus	Hodiny	Oltár			
Pastier	Vlasy Bereniky	Poľovnícke psy	Méčiar	Holubica	Kýl	Váhy	Rydlo			
Cefeus	Panna	Veľký pes	Vodný had	Havran	Drak	Mikroskop	Kýl			
Blíženci		Malý pes	Ryby	Labuť	Hydra	Pravítko	Južná koruna			
Herkules		Chameleón	Južná ryba	Žeriav	Jednorožec	Oktant	Severná koruna			
Indián		Koník	Lietajúca ryba	Páv	Pegas	Kompas	Pohár			
Hadonos		Jašterica		Tukan	Fénix	Sextant	Južný kríž			
Orión		Lev				Ďalekohľad	Eridanus			
Perseus		Malý Lev				Trojuholník	Pec			
Maliar		Zajac				Južný trojuholník	Lýra			
Strelec		Vlk					Stolový vrch			
Sochár		Rys					Korma			
		Mucha					Sieť			
		Škorpión					Šíp			
		Had					Štít			
		Býk					Plachty			
		Veľká Medvedica								
		Malý Medveď								
		Líštička								

Zodiakálne súhvezdia

Ekvatoriálne súhvezdia

Nezaradené súhvezdia

Počet mužov

Počet psov

Počet hadov

Počet koní

Počet rýb

Počet zodiakálnych a ekvatoriálnych súhvezdí

14

4

2

2

5

5

Úloha 3: Osemsmerovka

Cieľ úlohy

Rozoznať názvy súhvezdí.

Metodické pokyny pre učiteľov

Osemsmerovky s názvami súhvezdí sú uvedené v prílohách. Tieto osemsmerovky slúžia iba ako príklad. V závislosti od veku a úrovne detí sa môžu pripraviť rôzne hry vo vzťahu k ich zložitosti a veľkosti.

Tu sú dve možnosti – v slovenčine a latinčine. Učiteľia v rôznych krajinách im môžu pripraviť takéto slovné hračky vo svojich jazykoch, pričom sami vyberú ľubovoľné názvy súhvezdí. Môže ísť o zodiakálne súhvezdia, o súhvezdia viditeľné iba z príslušnej krajiny atď.

Latinské jazykové varianty zahŕňajú iba súhvezdia, ktorých názvy sú takmer totožné s názvami súhvezdí v rodných jazykoch žiakov, ale v prípade pokročilejších žiakov môžu byť použité aj súhvezdia s inými názvami. Názvy 10 súhvezdí sú uvedené v osemsmerovke 1 (variant 10 × 10). Názvy 20 súhvezdí sú uvedené v osemsmerovke 2 (verzia 15 × 15). Vyhládajte ich a vyfarbite ich (alebo ich zapíšte osobitne).

Súhvezdia I

C	E	N	T	A	U	R	U	S	P
C	R	A	T	E	R	O	L	M	E
A	S	N	D	G	H	J	K	H	R
N	Y	D	R	A	C	O	K	E	S
L	Y	R	A	W	F	J	T	R	E
S	C	O	R	P	I	U	S	C	U
Q	X	M	D	G	Y	R	Z	U	S
E	R	E	O	R	I	O	N	L	A
H	Y	D	R	A	F	G	E	E	L
C	F	A	B	C	N	L	A	S	Y

Súhvezdia II

A	D	P	E	G	A	S	U	S	O	C	K	L	F	C
Z	Q	Y	K	C	H	A	M	A	L	E	O	N	H	O
C	E	N	T	A	U	R	U	S	P	P	D	R	J	R
W	T	A	Y	I	P	O	L	M	E	H	T	P	L	O
A	S	N	D	G	H	J	K	H	R	E	H	H	A	N
N	Y	D	R	A	C	O	K	E	S	U	Q	O	S	A
L	Y	R	A	W	F	J	T	R	E	S	D	E	S	A
S	C	O	R	P	I	U	S	C	U	C	E	N	C	U
Q	X	M	D	G	Y	R	Z	U	S	R	L	I	U	S
E	R	E	O	R	I	O	N	L	A	A	P	X	L	T
H	Y	D	R	A	F	G	E	E	L	T	H	G	P	R
C	F	A	B	C	N	L	A	S	Y	E	I	H	T	A
C	A	S	S	I	O	P	E	I	A	R	N	J	O	L
A	D	T	E	L	E	S	C	O	P	I	U	M	R	I
N	M	O	Y	E	R	I	D	A	N	U	S	I	L	S

1. Súhvezdia

Riešenie

Súhvezdia I

C	E	N	T	A	U	R	U	S	P
C	R	A	T	E	R	O	L	M	E
A	S	N	D	G	H	J	K	H	R
N	Y	D	R	A	C	O	K	E	S
L	Y	R	A	W	F	J	T	R	E
S	C	O	R	P	I	U	S	C	U
Q	X	M	D	G	Y	R	Z	U	S
E	R	E	O	R	I	O	N	L	A
H	Y	D	R	A	F	G	E	E	L
C	F	A	B	C	N	L	A	S	Y

Riešenie:

CENTAURUS
 CRATER
 DRACO
 LYRA
 SCORPIUS
 ORION
 HYDRA
 ANDROMEDA
 HERCULES
 PERSEUS

Súhvezdia II

A	D	P	E	G	A	S	U	S	O	C	K	L	F	C
Z	Q	Y	K	C	H	A	M	A	L	E	O	N	H	O
C	E	N	T	A	U	R	U	S	P	P	D	R	J	R
W	T	A	Y	I	P	O	L	M	E	H	T	P	L	O
A	S	N	D	G	H	J	K	H	R	E	H	H	A	N
N	Y	D	R	A	C	O	K	E	S	U	Q	O	S	A
L	Y	R	A	W	F	J	T	R	E	S	D	E	S	A
S	C	O	R	P	I	U	S	C	U	C	E	N	C	U
Q	X	M	D	G	Y	R	Z	U	S	R	L	I	U	S
E	R	E	O	R	I	O	N	L	A	A	P	X	L	T
H	Y	D	R	A	F	G	E	E	L	T	H	G	P	R
C	F	A	B	C	N	L	A	S	Y	E	I	H	T	A
C	A	S	S	I	O	P	E	I	A	R	N	J	O	L
A	D	T	E	L	E	S	C	O	P	I	U	M	R	I
N	M	O	Y	E	R	I	D	A	N	U	S	I	L	S

Riešenie:

CENTAURUS
 DRACO
 LYRA
 SCORPIUS
 ORION
 HYDRA
 CASSIOPEIA
 ANDROMEDA
 HERCULES
 PERSEUS

 TELESCOPIUM
 CORONA AUSTRALIS
 CHAMAELEON
 DELPHINUS
 ERIDANUS
 PEGASUS
 CEPHEUS
 PHOENIX
 SCULPTOR
 CRATER

Úloha 4: Rozpoznávanie súhvezdí

Cieľ úlohy

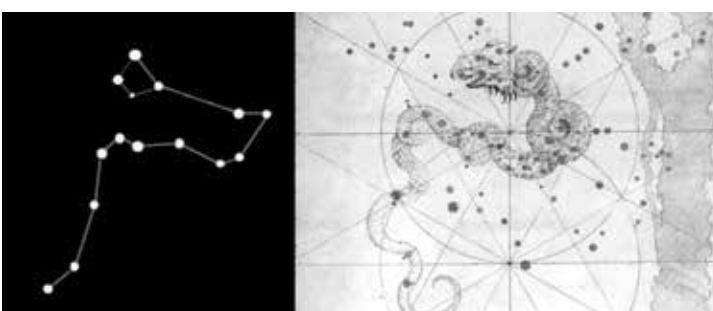
Rozpoznať súhvezdia.

Metodické pokyny pre učiteľov

Učiteľ môže vytlačiť obrázky súhvezdí z katalógu Bayer a požiadať žiakov, aby uviedli ich názvy. Variantom tejto úlohy sú počítačové obrázky.

Pomôcky (príklad)

- obrázky rôznych súhvezdí



Úloha 5: Tvary súhvezdí

Cieľ úlohy

Rozpoznať tvary a hviezdy niektorých súhvezdí.

Metodické pokyny pre učiteľov

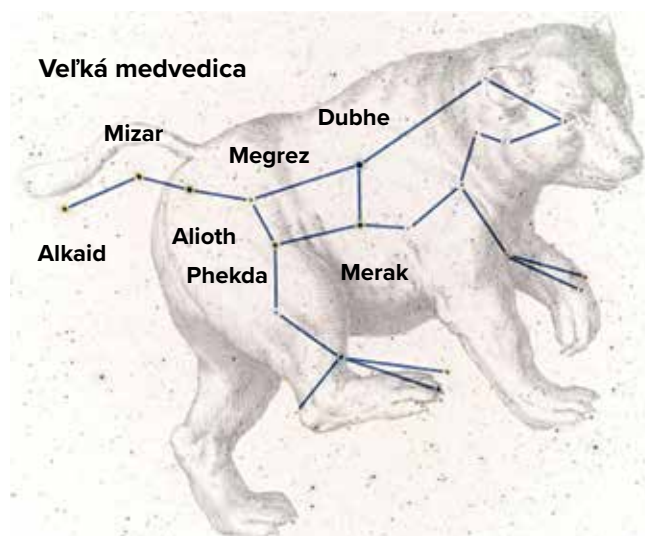
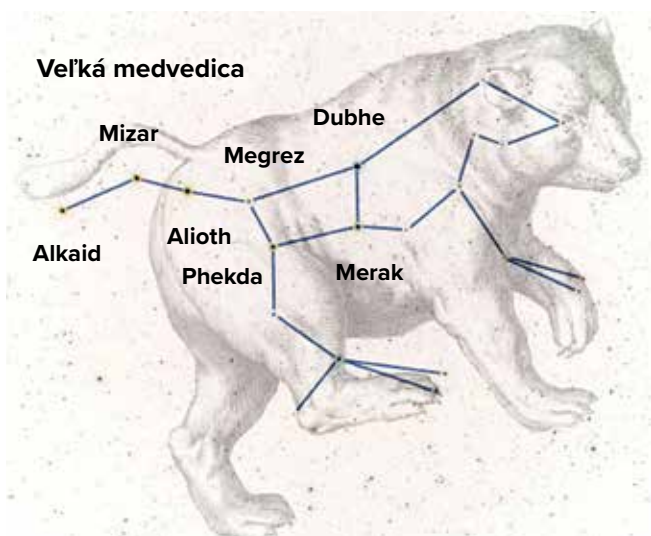
Úlohou žiakov je vystrihnúť a prilepiť hviezdičky na predtlačенú schému najznámejších súhvezdí (pre talentovanejšie alebo pokročilejšie deti môže veľkosť hviezd zodpovedať ich jas, hoci v tejto téme nie sú uvedené podrobnejšie informácie o hviezdach); žiaci môžu na mapu zapísať aj názvy niektorých hviezd.

Uvedená schéma (príklad) patrí súhvezdiu Veľká medvedica a konkrétnejšie asterizmu Veľký voz. Hviezdy je vhodné vyrezať zo samolepiacej farebnej fólie pomocou rôznych dierovačov.

Ak nie sú k dispozícii, hviezdy je možné vystrihnúť z farebných papierov a prilepiť ich na schému.

Pokyny pre žiakov

Vystrihnite a prilepte hviezdy (alebo farebné kruhy) na predtlačенú schému súhvezdí (v prípade pokročilejších žiakov – upravte veľkosť hviezd/kruhov tak, aby zodpovedala ich jas). Do schémy zapíšte názvy hviezd, ktoré poznáte.



POHYB NEBESKÝCH TELIES

(viditeľný, skutočný)

1. ÚVOD

Od mladého veku nás učili, že Slnko vychádza z východu a zapadá na západe každý deň a každý môže vidieť, ako po svojom východe naše svetidlo okolo poludnia dosiahne maximálnu výšku a potom začne „padať“, kým nezmizne pod západný horizont. To isté vidíme aj pri Mesiaci – aj on vychádza z východu, vystupuje vysoko na oblohu a potom zapadá na západe. Planéty, kométy a asteroidy majú rovnaké správanie.

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

východ

západ

stúpajúce a zapadajúce súhvezdia

nestúpajúce a nezapadajúce súhvezdia

24-hodinový pohyb

ročný pohyb

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

Zaujímavosti Slovo „изток“ („východ“ – v zmysle „svetová strana v smere vychádzajúceho slnka“, ale aj „vychádzanie Slnka“) v bulharčine – a snáď aj iných slovanských jazykoch – pochádza, alebo má niečo spoločného so slovami „изтичам“ („vytiekat“), „извор“ („prameň“) a má blízko k slovu „изгрев“ („východ“ – v zmysle „vychádzanie Slnka“). Slovo „запад“ („západ“) pravdepodobne pochádza zo slova „западам“ („zapadám“), a tvorí základ slova „залез“ („západ“ – v zmysle „zapadanie Slnka“).

Slnko hralo dôležitú úlohu pri tvorbe slov v slovanských jazykoch.

Podľa etymológie slova „изток“ („východ“ ako svetová strana) zistíme, že toto slovo vychádza z príznaku Slnka vychádzať – pozorujeme jeho pohyb od horizontu smerom nahor. Predpona „из-“ („vy-“/„vý-“) znamená výkon akcie nasmerovanej smerom von alebo nahor a základ „ток“ („tok“) sa môže spájať s „течение“ („prúd“) a „поток“ („potok“). V ostatných slovanských jazykoch sa slovo „východ“ hláskuje podobne (východ – rusky; wschód – poľsky; na východě – česky; východ – slovensky).

Ak premýšľame o pôvode slova „západ“, opäť nájdeme spojenie medzi jeho zložením a znakom klesania Slnka – pozorujeme pohyb smerom nadol, smerom k obzoru. Predpona ZA je význam akcie až do konca a PAD pochádza z „pádu“. Odkaz na iné slovanské jazyky potvrdzuje toto tvrdenie („запад“ – v ruštine; „zachód“ – v poľštine; „západně“ – v češtine; „západ“ – v slovenčine).

Rovnaké spojenie medzi slovanskými jazykmi je možné nájsť aj v slovách „изгрев“ („východ Slnka“) a „запад“ („západ Slnka“). Nasledujúce slová sa používajú pre „изгрев“ („východ Slnka“): „восход солнца“ v ruštine, „wschód słońca“ v poľštine, „východ slunce“ v češtine, „východ slnka“ v slovenčine. Slovo „залез“ („západ Slnka“) v rôznych jazykoch znie takto: „zachód słońca“ – v poľštine; „západ slunce“ – česky; „západ slnka“ – po slovensky.

Pohyb hviezd Ak v jasnej noci bez mračna pôjdeme vonku a budeme dlho sledovať, čo sa deje s hviezdami, všimneme si, že niektoré hviezdy stúpajú z východu a iné nezapadajú na západ. Pri dlhšom pozorovaní uvidíme, že každá hviezda opakuje ten istý pohyb ako Slnko a mesiac – stúpa z východu, dosahuje svoj najvyšší bod na oblohe (čo astronómovia označujú slovom „horná kulminácia“) a potom klesajú niekam na západ.

Výnimkou je malá skupina hviezd, ktoré ani nestúpajú, ani neklesajú. Stúpajú tiež k najvyššiemu bodu (horná kulminácia), potom klesajú k svojmu najnižšiemu bodu (dolná kulminácia), nikdy však neprekročia horizont. Zdá sa, že tieto hviezdy obiehajú okolo Polárnej hviezdy, a ak ich budeme fotiť niekoľko hodín, uvidíme, že na oblohe vytvárajú kružnice, ktoré sú súčasťou kružnice sústredenej niekde blízko Polárnej hviezdy (alebo Severného nebeského pólu). **Takéto súhvezdia nazývame nezapadajúce alebo cirkumpolárne (okolopolárne) súhvezdia.**

V našich zemepisných šírkach môžeme pozorovať 6 nezapadajúcich (cirkumpolárnych) súhvezdí – Polárka, Malý Medveď, Veľká Medvedica, Kasiopeja, Cefeus a Žirafa.



Obrázok 1: Okolopolárny pohyb hviezdnej oblohy

Existujú aj také hviezdy, ktoré my z Európy nikdy neuvidíme. Ony, a súhvezdia, v ktorých sa nachádzajú, sa nazývajú „nezapadajúce“. Skupiny nezapadajúcich a nestúpajúcich súhvezdí sú rôzne na rôznych bodoch Zeme, a to závisí od zemepisnej šírky alebo od vzdialenosti od rovníka. Keď je človek na rovníku, vidí všetky súhvezdia. Čím je bližšie k rovníku, tým menej nezapadajúcich a nestúpajúcich súhvezdí vidí. Vzdialením sa od rovníka sa ich počet zvyšuje. Z pólu (aj zo severného aj z južného) vidíme presne polovicu hviezd, ktoré nikdy nezapadajú a opisujú kružnice na oblohe rovnobežné s horizontom. Druhá polovica hviezd sa nikdy nedostane nad horizont a zostane navždy z tohto pólu neviditeľná.

V prípade Európy je neviditeľná časť južných súhvezdí, ktoré sú blízko južného pólu (Južný kríž, Tukan, Oktant, Stolový vrch, Mucha atď.).

Pohyb nebeských telies, ktoré pozorujeme v priebehu jedného dňa a noci – ich východ, vzostup na horný vrchol (horná kulminácia), západ a východ nasledujúci deň, sa nazýva **viditeľný 24-hodinový pohyb (nebeskej sféry)**.

**Viditeľný pohyb
nebeských telies**

Predstavme si, že robíme pozorovanie pár týždňov alebo mesiacov. Okamžite na nás urobí dojem, že v tú istú hodinu ako predchádzajúci deň alebo noc je obloha odlišná. Súhvezdia, ktoré sme videli predtým vychádzať, sú teraz vyššie na oblohe a na ich mieste na východnom obzore vychádzajú nové súhvezdia. Pri pohľade na západ vidíme súhvezdia, ktoré boli vyššie nad našimi hlavami, a už nevidíme tie hviezdy, ktoré tam predtým zapadali.

O niekoľko mesiacov sa tento obrázok oblohy zmení ešte viac. Teraz uvidíme úplne odlišné hviezdy, s výnimkou hviezdnych súhvezdí, ktoré sú vždy nad horizontom, ale iba sa mierne otočili. Toto je dôvod, prečo súhvezdia podmiennečne rozdeľujeme na „zimné“, „jarné“, „letné“ a „jesenné“ podľa toho, či sú viditeľné večer po západe Slnka v danom roč-

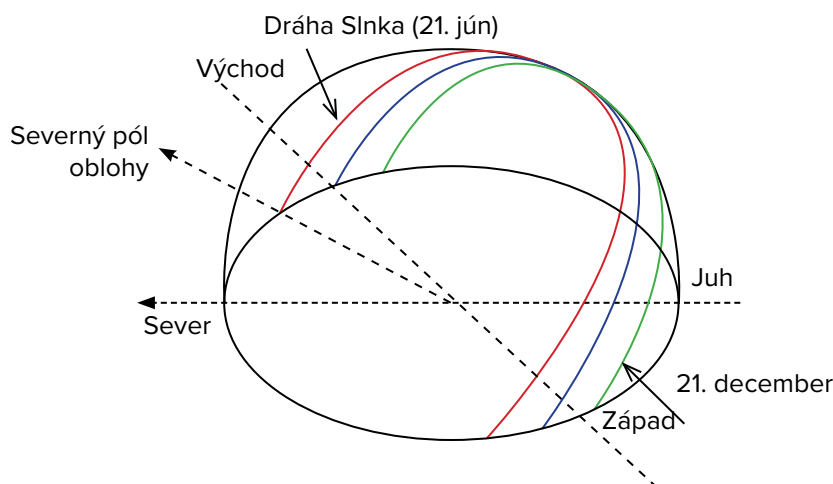
2. Pohyb nebeských telies

nom období. V prípade severnej zemskej pologule (kde sa nachádza aj Európa) sú „zimnými“ súhvezdiami súhvezdia Orion, Býk (Taurus), Blíženci, Veľký pes, Malý pes a ďalšie. „Jarnými“ súhvezdiami sú súhvezdia Lev, Panna, Hydra, Havran, Pohár atď. Súčasťou „letných“ súhvezdí sú súhvezdia Strelec, Škorpión, Hadonos, Lýra, Labuť, Orol. Súčasťou „jesenných“ súhvezdí sú súhvezdia Andromeda, Perzeus, Pegas, Kozorožec, Ryby, Baran.



Obrázok 2: Hviezdna obloha počas rôznych ročných období – večer po západe Slnka

Pohyb Slnka, Mesiaca a planét počas roka sa tiež mení. V zime Slnko vyjde ráno až neskoro, oveľa viac na juhovýchode, stúpa veľmi nízko nad obzor, zapadá skoro na juhozápade a deň je, na úkor dlhej noci, veľmi krátky. V lete je to práve naopak – Slnko vychádza veľmi skoro, až na severovýchode, na poludnie je veľmi vysoko, zapadá neskoro v smere na severozápad, deň je veľmi dlhý s krátkou nocou. Pohyb mesiaca je tiež sezónny, ale jeho popis je oveľa zložitejší.



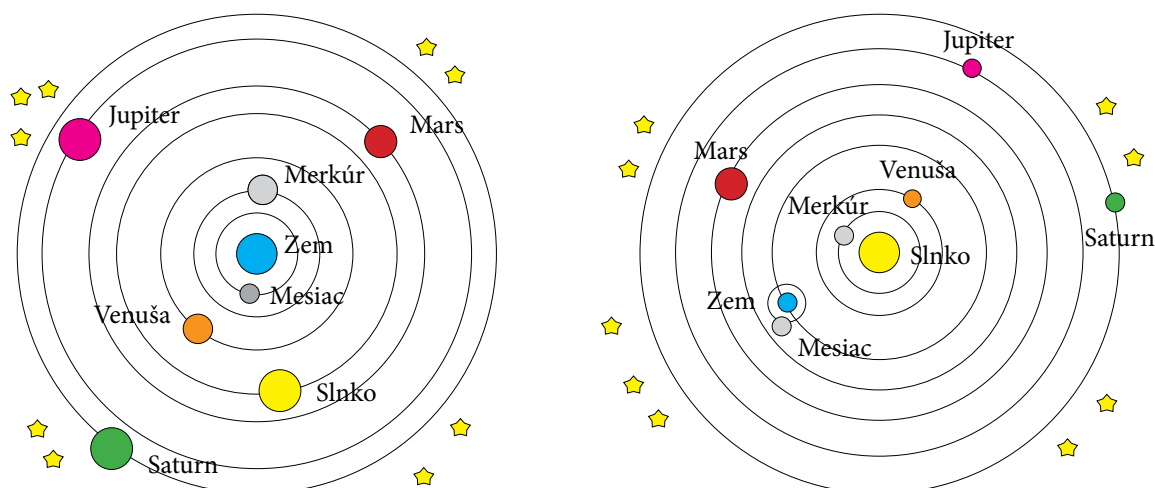
Obrázok 3: Denná cesta Slnka po oblohe počas rôznych ročných období

Tieto rozdiely v pohybe Slnka počas roka závisia aj od zemepisnej šírky a polohy pozorovateľa na Zemi. Sú menej nápadné okolo rovníka a úplne opačné na severnom či južnom póle. V okolopolárnych oblastiach Zeme hovoríme o **polárnom dni alebo polárnom lete**, a to vtedy, keď Slnko nezapadá celé mesiace až pol roka, a o **polárnej noci alebo polárnej zime**, počas ktorej Slnko vôbec nevychádza spoza obzoru.

Pohyb nebeských telies v priebehu roka – ich rozdielnu viditeľnosť v rôznych ročných obdobiach, nazývame **viditeľný ročný pohyb (nebeskej sféry)**.

Pred tisíckami rokov sa predpokladalo, že tieto pohyby, ktoré dnes nazývame **viditeľné 24-hodinové alebo ročné pohyby**, sú spôsobené samotným pohybom hviezd, Slnka, Mesiaca a planét okolo Zeme (alebo rozmarom bohov). Potom ľudia verili, že Zem je stredobodom Vesmíru a okolo nej sa točia všetky ostatné nebeské telesá. Toto dnes my nazývame „**geocentrický systém**“ podľa mena bohyně Zeme v starogréckej mytológii (Gaia). Po stáročia astronómovia museli bojovať s touto predstavou bežných ľudí, a dokonca aj za cenu svojho života, aby presvedčili ľudí (a cirkev), že to nie Zem, ale Slnko je stredobodom tohto pohybu. A tak, v 16. a 17. storočí, túto predstavu nahradil „**heliocentrický systém**“ podľa mena boha Slnka v starogréckej mytológii (Helios). Dnes už vieme, že Slnko je stredobodom iba Slnčnej sústavy, ale Vesmír je nekonečný a nemá stred.

Geocentrizmus a heliocentrizmus



Obrázok 4: Schéma geocentrického systému a heliocentrického systému

2. Pohyb nebeských telies

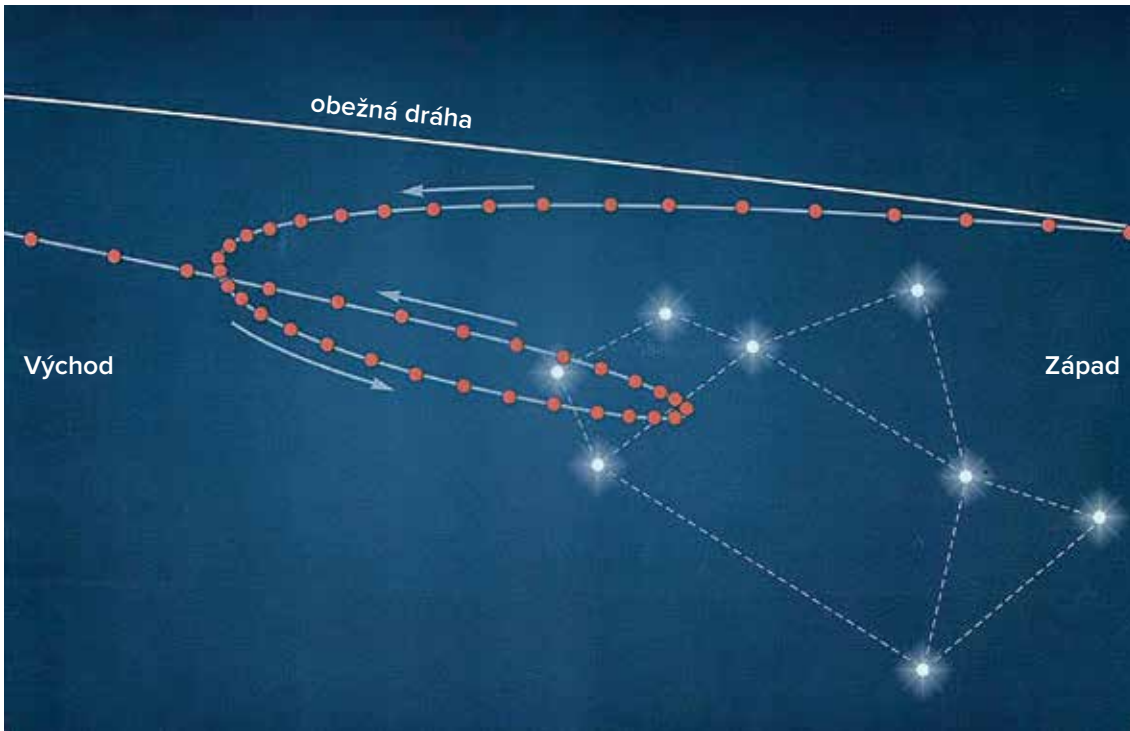
Viera ľudí v geocentrický systém je výsledkom skutočnosti, že my, ľudia na Zemi, necítíme jej pohyb. A Zem sa predsa len pohybuje! Najprv sa Zem otáča okolo svojej imaginárnej osi takmer 24 hodín (presnejšie 23 hodín, 56 minút a 4 sekundy) alebo inak povedané, bod z rovníka sa pohybuje okolo stredu Zeme rýchlosťou približne pol kilometra za sekundu (0,47 km/s, resp. 1674,4 km za hodinu). Jednu rotáciu (otáčanie sa) Zeme okolo jej osi nazývame „**deň**“ („**hviezdny deň**“). Všetky body na zemskom povrchu za jeden deň (24 hodín) opisujú kružnicu so stredom vycentrovaným na svojej osi. Tieto kružnice majú rôzne polomery a rýchlosti, pri ktorých sa rôzne body pohybujú, líšia sa navzájom – čím ďalej sme od rovníka, tým menej rotujeme okolo osi. Ale aj tak, denné cesty každého bodu na Zemi sú v svojej podstate kružnicami, pričom každá kružnica má 360 stupňov. Ak rozdelíme 360 stupňov do 24 hodín, ukáže sa, že Zem sa otáča okolo svojej osi za jednu hodinu o 15 stupňov.

Pohyb Zeme Toto je **reálny denný pohyb Zeme**, ktorý spôsobuje **viditeľný denný pohyb nebeských telies**. Zem sa otáča okolo svojej osi proti smeru hodinových ručičiek – pri pohľade z jej severného pólu, resp. zo západu na východ, a toto je dôvod, prečo my vidíme, že všetky svetidlá na oblohe stúpajú od východu a smerujú na západ. K tomuto viditeľnému dennému pohybu dochádza pri rýchlosti, akou sa Zem otáča okolo svojej osi – 360 stupňov za jeden deň alebo 15 stupňov za jednu hodinu.

Zem okolo Slnka obieha po elipse, pričom jej to trvá 365 dní, 6 hodín, 9 minút a 10 sekúnd. Toto obdobie nazývame „**rok**“ („**hviezdny rok**“). Aj keď tento pohyb nepocítujeme, ukázalo sa, že my, ľudia, spolu s planétou Zem, letíme okolo Slnka rýchlosťou takmer 30 km za sekundu (107 218 km/h)! Tento pohyb Zeme okolo Slnka nazývame skutočným ročným pohybom Zeme, ktorý spôsobuje viditeľný ročný pohyb nebeských telies. Je to vlastne spôsobené skutočnosťou, že počas rôznych ročných období v rovnakom čase vidíme rôzne súhvezdia.

Toto je dôvod, prečo vidíme Slnko viditeľne obiehajúce po oblohe v smere zo západu na východ, opisujúce kružnicu (nazývanú aj ako „ekliptika“) a postupne prechádzajúce zodiakálnymi súhvezdiami. Tento pohyb nazývame **viditeľný ročný pohyb Slnka**.

Planéty, ktoré tiež stúpajú z východu a zapadajú na západ, sú opäť ovplyvnené **skutočným denným a ročným pohybom Zeme a ich vlastným pohybom okolo slnka**. Preto my môžeme vidieť, ako sa nejaká planéta pohybuje deň čo deň medzi hviezdami smerom zo západu na východ, niekedy „otáča“ svoj smer (pohybuje sa retrográdne), vytvára divné „slučky“ na oblohe a opäť sa vydáva „správnym smerom“. To je zrejмый **viditeľný ročný pohyb planét**. Čas, za ktorý sa planéta vráti do toho istého súhvezdia, je čas, za ktorý reálne obieha okolo Slnka. Takýmto spôsobom ešte pred storočiami astronómovia vyčíslili časy ich orbitálneho pohybu.



Obrázok 5: Viditeľná cesta Marsu na oblohe počas celého roka – priamy a spätňý (retrográdny) pohyb

Pohyb jediného prirodzeného telesa obiehajúceho okolo Zeme, ktorý nazývame viditeľný pohyb Mesiaca na oblohe, teda tiež nezávisí len od reálneho pohybu (skutočného) Mesiaca, ale aj od reálneho (skutočného) denného a ročného pohybu Zeme. Aj Mesiac vychádza z východu a zapadá na západe, ale medzi hviezdami, rovnako ako Slnko a planéty, sa pohybuje zo západu na východ. Tento pohyb však trvá 27,32 dní, čo predstavuje aj dobu jeho obiehania okolo Zeme. Ak k týmto pohybom pridáme aj skutočnosť, že Mesiac obieha Zem obiehajúcu okolo Slnka, dokážeme vysvetliť jeho tzv. mesačné fázy, ako aj mnohé ďalšie javy, ako sú napríklad zatmenia Slnka a Mesiaca.

3. PRAKTICKÉ CVIČENIA A TESTY PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Práca s pohyblivou hviezdou mapou alebo s počítačovým programom typu Planetárium

Pomocou programu žiaci sledujú, pozerajúc sa smerom na sever, ktoré súhvezdia nezapadajú pod horizont na dané miesto. Ak sa pracuje s pohyblivou hviezdou mapou, tak v hornej priehľadnej časti sú ohraničené oblasti, ktoré sú pod a nad horizontom. Pri otáčaní tejto hornej časti (čím sa mení deň a hodina), by mali žiaci zistiť, že časť hviezd a súhvezdí, ktoré sú blízko severného nebeského pólu (okolo Polárnej hviezdy), vždy zostáva nad horizontom (to je línia na pohyblivej časti mapy, ktoré oddeľuje viditeľnú časť oblohy od jej neviditeľnej časti).

Ak žiaci pracujú s počítačovým programom, mali by vybrať možnosť „pozerania sa“ smerom na sever. Vtedy väčšina programov umožňuje zrýchliť prirodzenú rotáciu hviezdnej oblohy. Bolo by dobré, keby program mal vyobrazenú krajinu/prírodu a zobrazoval prirodzenú farbu oblohy počas dňa a noci. Ale aj keby tieto možnosti neboli k dispozícii, mal by program obsahovať aspoň obrýs horizontu. Zrýchlením rotácie oblohy môžu žiaci sledovať, ako okolopolárne (cirkumpolárne) súhvezdia klesajú k obzoru, ale niektoré hviezdy nikdy nezmiznú pod obzor.

Bez ohľadu na to, s akou metódou a programom pracujú, musia žiaci spočítať a zaznamenať, ktoré súhvezdia na ich zemepisnej šírke sú „neklesajúce“.

Úloha 2: Ročné obdobia

Nech žiaci získajú informácie a doplnia ich do nasledujúcej tabuľky:

č.	Údaje pre severnú pologuľu							Konštelácie, v ktorom je Slnko v danom dátume
	Dátum	Názov pozície	Štart sezóny	Deň/Noc	Východ Slnka o	Západ Slnka o	Výška Slnka	
1	20. marec							
2	21. jún							
3	23. september							
4	22. december							

Úloha 3: Viditeľný pohyb hviezdnej oblohy

(PRÍLOHA 2a, 2b a 2c – je možné vytlačiť alebo zobraziť v elektronickej verzii)

Sú dané 3 obrázky hviezdnej oblohy v 3 rôznych časoch toho istého večera, ktoré vidí pozorovateľ na severnej pologuli. Na základe miest, kde sa nachádzajú známe zimné súhvezdia (Orion, Býk, Blíženci, Veľký pes atď.), a smerov uvedených na obzore, usporiadajte obrázky v správnom poradí.



Obrázok 6: Príloha 2a



Obrázok 7: Príloha 2b

2. Pohyb nebeských telies



Obrázok 8: Príloha 2c

Riešenie: Správne poradie je 2b, 2c, 2a.

KEPLEROVE ZÁKONY

1. ÚVOD

1.1 Úvod do problematiky

Keplerove zákony sú tri fyzikálne zákony, ktoré popisujú pohyb planét v slnečnej sústave. Hoci boli zákony Johannesom Keplerom formulované výlučne pre planéty obiehajúce Slnko, sú zákony všeobecnejšie a popisujú pohyb ľubovoľného telesa v centrálnom gravitačnom poli. Príkladom je pohyb družice okolo Zeme alebo kométy okolo Slnka. Isaac Newton o niekoľko desaťročí neskôr ukázal, že Keplerove zákony sú dôsledkom jeho teórie gravitácie a mechaniky. V tomto príspevku budú formulované všetky tri Keplerove zákony a vysvetlený ich význam.

Skôr než vyslovíme Keplerove zákony, ponoríme sa ešte na chvíľu do histórie. **Kľúčovú úlohu pri formulovaní zákonov o pohybe planét zohrali merania dánskeho astronóma Tycha Braheho (1546 – 1601), ktorý vykonal v druhej polovici 16. storočia na svoju dobu veľmi presné astronomické merania polôh planét.** Osudom sa stalo, že sa v roku 1599 presunul na dvor cisára Rudolfa II. do Prahy, kde sa stretol a krátku dobu spolupracoval (do svojej smrti v roku 1601) s nemeckým astronómom a matematikom Johannesom Keplerom. Niekedy sa hovorí o stretnutí najväčšieho experimentátora a teoretika svojej doby. **Kepler analýzou Braheho dát objavil zákonitosti pohybu planét, ktoré sa na Keplerovu počesť nazývajú Keplerove zákony.**

Existuje nejedna formulácia Keplerových zákonov, ktoré sa líšia svojou všeobecnosťou. Najprv uvedieme najčastejšie formulácie zákonov, ktoré postupne spresníme.

Na pochopenie niektorých súvislostí bude potrebné trochu matematiky a fyziky, ktorá sa na základnej škole nevyučuje. V tomto texte sa dočkáme rýchleho vysvetlenia mocnín a odmocnín, popíšeme si elipsu a z fyziky sa pozrieme na Newtonov gravitačný zákon a dostredivú silu.

2. Pohyb nebeských telies

1.1 Kľúčové slová

mocnina

odmocnina

elipsa

ohnisko

sprievodič

hlavná a vedľajšia polos

výstrednosť elipsy

centrálne pole

gravitačná sila

obežná doba

2. TEORETICKÉ POZADIE TÉMY PRE UČITEĽA

2.1 Mocnina a odmocnina

Na úvod definujeme mocninu a budeme pokračovať motivačnými príkladmi, kde spoznáme pravidlá platiace pre prácu s mocninami. Nadviažeme rozprávaním o odmocnine a o jej vzťahu k mocnine. Ilustrujeme, ako s pomocou mocniny zapísať čísla vo vedeckom formáte a prečo sú mocniny a odmocniny vo fyzike dôležité.

Na hodinách matematiky sme si pre zápis súčtu niekoľkých rovnakých čísel zvykli používať násobenie, napríklad:

**Definícia
mocniny**

$$5 + 5 + 5 + 5 = 5 \cdot 4$$

Cifra „5“ hovorí, čo sa opakuje, a cifra „4“ koľkokrát. Samozrejme, niekto by mohol namietnuť, že $5 \cdot 4 = 4 \cdot 5 = 4 + 4 + 4 + 4 + 4$. Ide iba o iný zápis čísla 20. Ak by sme sčítanie nahradili násobením, je zvykom opakované násobenie rovnakým číslom písať v podobe:

$$5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 = 5^4$$

Výraz 5^4 sa nazýva **mocnina (mocninový výraz)**, **5 je základ mocniny a 4 exponent mocnín**. Mocnina nám hovorí, čo sa násobí, a exponent koľkokrát.

Musíme si uvedomiť $5^4 \neq 4^5$, pretože $5^4 = 625$ a $4^5 = 1\,024$.

Pomocou mocninového zápisu možno skrátit komplikovanejšie výrazy:

$$2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 = 2^3 \cdot 3 \cdot 5^4$$

Ďalším príkladom by mohlo byť:

$$2 \cdot 10 \cdot 10 = 2 \cdot 10^2$$

ktoré možno tiež zapísať aj ako:

$$2 \cdot 10 \cdot 10 = 2 \cdot (2 \cdot 5) \cdot (2 \cdot 5) = 2^3 \cdot 5^2$$

Oba zápisy sú rovnocenné, len sa použili iné základy mocnín.

Za zmienku stojí napríklad to, že číslo 10 by sme zapísali ako 10^1 , t. j. $10 = 10^1$. Ďalej $1 = 10^0 = 5^0 = 1,5^0 = a$ pod., čo znamená, že sa v uvedenom výraze číslo 10, resp. 5, resp. 1,5 vyskytuje „nulakrát“, t. j. nie je vôbec prítomné¹.

¹) Násobíť číslo jednotkou s výrazom nič neurobí. Príklad: $5 = 5 \cdot 1 = 5 \cdot 10^0 = 5 \cdot 5^0 = \dots$

2. Pohyb nebeských telies

Úvahy o vybraných vlastnostiach mocnín

Budeme sa snažiť na príkladoch ilustrovať platnosť týchto vzťahov:

$$a) \quad a^u \cdot a^v = a^{u+v}$$

$$b) \quad \frac{a^u}{a^v} = a^{u-v}$$

$$c) \quad (a^u)^v = a^{u \cdot v}$$

$$d) \quad (ab)^v = a^v b^v$$

kde u, v sú ľubovoľné čísla, s ktorými sa žiaci pri svojom štúdiu mohli stretnúť (nechceme priamo hovoriť o *reálnych* exponentoch, lebo **reálne čísla** nie sú súčasťou osnov pre ZŠ).

Pritom celý čas uvažujeme $a > 0$. Pre nepárne exponenty dávajú pravidlá pre operácie s mocninami zmysel aj pre $a < 0$, ale pre párne mocniny už nie. Pretože príklady s $a < 0$ nebudú pre nás vôbec podstatné, nebudeme tento problém ďalej rozvádzať.

a) Vezmime číslo 10 000 a pokúsme sa ho rozpísať pomocou mocnín čísla 10:

$$\begin{aligned} 10\,000 &= 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^1 \cdot 10^1 \cdot 10^1 \cdot 10^1 \\ &= 100 \cdot 100 = 10^2 \cdot 10^2 \\ &= 1\,000 \cdot 10 = 10^3 \cdot 10^1 \\ &= 10^4 \end{aligned}$$

Ak sa pozrieme na exponenty mocninových výrazov, možno vypožorovať, že exponenty rovnakých mocnín sa sčítajú:

$$1 + 1 + 1 + 1 = 2 + 2 = 3 + 1 = 4$$

Pre všeobecné exponenty u, v rovnakého základu by sme napísali:

$$a^u \cdot a^v = a^{u+v}$$

b) Skúsme si teraz rozpísať 100 pomocou podielu 1000 a 10 a zapísať ich pomocou mocnín so základom 10:

$$10^2 = 100 = \frac{1\,000}{10} = \frac{10^3}{10^1}$$

Aby platila rovnosť $10^2 = \frac{10^3}{10^1}$, musia sa exponenty odčítať: $3 - 1 = 2$.

Uvedme ďalší príklad:

$$\begin{aligned} 100\,000 &= \frac{1\,000\,000}{10} = \frac{10^6}{10^1} \\ &= \frac{100\,000\,000}{1\,000} = \frac{10^9}{10^3} \\ &= \frac{100\,0}{0,01} = \frac{10^4}{10^{-2}} \\ &= 10^5 \end{aligned}$$

Teda pre exponenty platí: $6 - 1 = 9 - 3 = 4 - (-2) = 5$

Všeobecne by sme zapísali:

$$\frac{a^u}{a^v} = a^{u-v}$$

c) Na ďalšiu úvahu si rozpíšeme 1 000 000 pomocou mocnín so základom 10 a použijeme predtým odvodené pravidlo a):

$$\begin{aligned} 1\,000\,000 &= 100 \cdot 100 \cdot 100 = 10^2 \cdot 10^2 \cdot 10^2 = (10^2)^3 \\ &= 1\,000 \cdot 1\,000 = 10^3 \cdot 10^3 = (10^3)^2 \\ &= 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = (10^1)^6 \\ &= 10^6 \end{aligned}$$

Pre exponenty platí: $2 \cdot 3 = 3 \cdot 2 = 1 \cdot 6 = 6$

Všeobecne by sme zapísali: $(a^u)^v = a^{u \cdot v}$

d) Rozpíšme si číslo 10 ako súčin $2 \cdot 5$, umocníme a zapíšeme pomocou mocnín týchto čísel:

$$(2 \cdot 5)^2 = 2 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 5 = 2^2 \cdot 5^2$$

Všeobecne by sme zapísali:

$$(ab)^v = a^v b^v$$

Ak zavedieme $c = \frac{1}{b}$, potom by sme upravili vzťah do podoby:

$$\left(\frac{a}{c}\right)^v = \frac{a^v}{c^v}$$

2. Pohyb nebeských telies

Vedecký zápis čísel pomocou mocnín Vo vede je zápis pomocou mocnín so základom 10 využívaný vo veľkej miere. Uvedme niekoľko konkrétnych príkladov:

- stredná vzdialenosť Zeme od Slnka:

$$150\,000\,000\,000\text{ m} = 1,5 \cdot 10^{11}\text{ m}$$

- hmotnosť Zeme:

$$5\,970\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\text{ kg} = 5,97 \cdot 10^{24}\text{ kg}$$

- gravitačná konštanta:

$$0,000\,000\,000\,066\,7\text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} = 6,67 \cdot 10^{-11}\text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$

Odmocnina Výraz 10^2 je mocninový zápis čísla 100, teda $100 = 10^2$. **Druhou odmocninou** čísla 100 by sme nazvali výraz $\sqrt{100}$, ktorý sa rovná 10. Druhá odmocnina nám dáva odpoveď na otázku, aký musel byť základ mocniny, aby sme pri exponente 2 dostali číslo 100.

Uvedme ilustračné príklady:

Druhou odmocninou čísla 4 je 2, $\sqrt{4} = 2$, pretože $2^2 = 4$.

Druhou odmocninou čísla 25 je 5, t. j. $\sqrt{25} = 5$, pretože $5^2 = 25$.

Druhou odmocninou čísla 64 je 8, t. j. $\sqrt{64} = 8$, pretože $8^2 = 64$.

Tretou odmocninou čísla 8 sú 2, t. j. $\sqrt[3]{8} = 2$, pretože $2^3 = 8$.

Tretou odmocninou čísla 27 sú 3, t. j. $\sqrt[3]{27} = 3$, pretože $3^3 = 27$.

Ak by sme číslo 10 umocnili na druhú a potom spočítali druhú odmocninu toho čísla, dostali by sme opäť 10. Platí aj opačný výrok, teda:

$$\sqrt{10^2} = (\sqrt{10})^2 = 10$$

Podľa výroku d) v podkapitole 1.2 platí:

$$(10^2)^{\frac{1}{2}} = 10^{2 \cdot \frac{1}{2}} = 10^1 = 10$$

Teda druhú odmocninu možno stotožniť s mocninou na prevrátenú hodnú čísla dva, teda

$$\sqrt{10} = 10^{\frac{1}{2}}$$

Preto predchádzajúci príklad možno zapísať ako:

$$\sqrt[2]{10^2} = (10^2)^{\frac{1}{2}} = 10^{2 \cdot \frac{1}{2}} = 10^1$$

Po tejto motivácii sformulujeme všeobecný vzorec:

$$\sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m = a^{\frac{m}{n}}$$

kde sú všeobecne reálne čísla a základ berieme ako kladný (na zjednodušenie).

Pre zadanú rovnosť máme vyjadriť:

$$\frac{T^2}{T_0^2} = \frac{a^3}{a_0^3}$$

**Ilustračný
príklad**

Úpravou výrazu vyjadríme:

$$a^3 = \frac{T^2}{T_0^2} a_0^3$$

Základ potom dostaneme ako tretiu odmocninu čísla $\frac{T^2}{T_0^2} a_0^3$, teda:

$$a = \sqrt[3]{\frac{T^2}{T_0^2} a_0^3} = \left(\frac{T^2}{T_0^2} a_0^3\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{T^2}{T_0^2}\right)^{\frac{1}{3}} (a_0^3)^{\frac{1}{3}} = a_0 \sqrt[3]{\frac{T^2}{T_0^2}} = a_0 \sqrt[3]{\left(\frac{T}{T_0}\right)^2} = a \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{2}{3}}$$

2.2 Newtonov gravitačný zákon

Newtonov gravitačný zákon popisuje gravitačnú príťažlivosť dvoch telies s hmotnosťami M a m , ktorými môžu byť rovnomeré gule²⁾ (hmota je rovnomerne rozdelená v celom objeme telesa), alebo sú rozmery telies zanedbateľné v porovnaní so vzájomnou vzdialenosťou. Vtedy telesá idealizujeme **hmotnými bodmi**, charakterizovanými iba ich hmotnosťou.

Vzťah pre veľkosť gravitačnej sily medzi dvoma telesami je daný formulou:

$$F_G = \frac{GMm}{r^2},$$

kde $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ je gravitačná konštanta, M , m sú hmotnosti telies, r je vzdialenosť hmotných bodov, príp. stredov guľových telies.

Poznámka: Pre tvarovo zložitejšie telesá nemožno spočítať gravitačnú silu jednoduchým dosadením hmotností a vzdialeností do Newtonovho zákona. Je treba použiť pokročilejšiu matematiku, s ktorou sa žiaci stretnú až v 4. ročníku SŠ pri výučbe diferenciálneho a integrálneho počtu.

²⁾ V skutočnosti stačí, aby bolo teleso na každej svojej „šupke“ s polomerom homogénne, homogenita v celom objeme nie je podmienkou platnosti Newtonovho zákona. Na naše účely si však vystačíme s týmto zjednodušením.

2. Pohyb nebeských telies

2.3 Dostredivá sila

Druhý Newtonov zákon hovorí, že ak pôsobí na teleso s hmotnosťou m sila s veľkosťou F , vyvolá zrýchlenie a podľa vzťahu:

$$F = ma.$$

Ak sa teleso s hmotnosťou m pohybuje rovnomerne po kruhovej dráhe s polomerom r , mení sa smer pohybu telesa, hoci veľkosť rýchlosti sa nemení („len“ jej smer). Túto skutočnosť vyjadruje tzv. **dostredivé zrýchlenie** a_d , pre ktoré je možné odvodiť vzťah:

$$a_d = \frac{v^2}{r}.$$

Dostredivá sila F_d sa potom rovná:

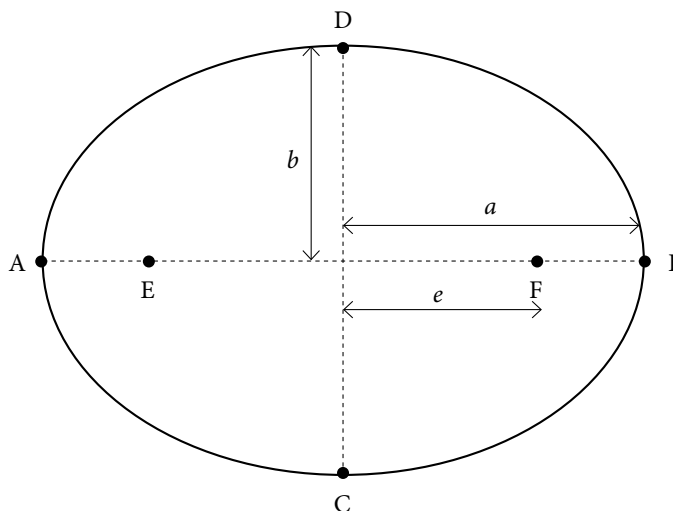
$$F_d = \frac{mv^2}{r}.$$

Poznámka: Na odvodenie vzťahu pre dostredivé zrýchlenie bolo potrebné definovať vektory zrýchlenia a rýchlosti, čo sa robí v prvom ročníku SŠ. Definície tu uvádzať nebudeme a vzťah neodvodíme, len uvádzame.

2.4 Elipsa a jej popis

Elipsa je uzavretá rovinná krivka, jej každý bod má konštantný súčet vzdialeností od dvoch pevne daných bodov, tzv. **ohnísk** E a F. Graf elipsy je na Obr. 1. Hlavnými parametrami elipsy sú **hlavná polos**, **vedľajšia polos** a **dĺžková výstrednosť**, pozri Obr. 1.

Tiež sa zavádza číselná výstrednosť $\varepsilon = e/a$, ktorá je na rozdiel od dĺžkovej výstrednosti bezrozmerná. Namiesto pojmov „dĺžková výstrednosť“ a „číselná výstrednosť“ sa možno stretnúť aj s pojmami „lineárna excentricita“ a „numerická excentricita“. Nemali by sa zamieňať cudzie pojmy so slovenskými, napríklad je nevhodné použiť „numerická výstrednosť“.



Obrázok 1: Elipsa: hlavné vrcholy: A, B, vedľajšie vrcholy: C, D, ohniská: E, F, hlavná polos: a, vedľajšia polos: b, dĺžková výstrednosť: e

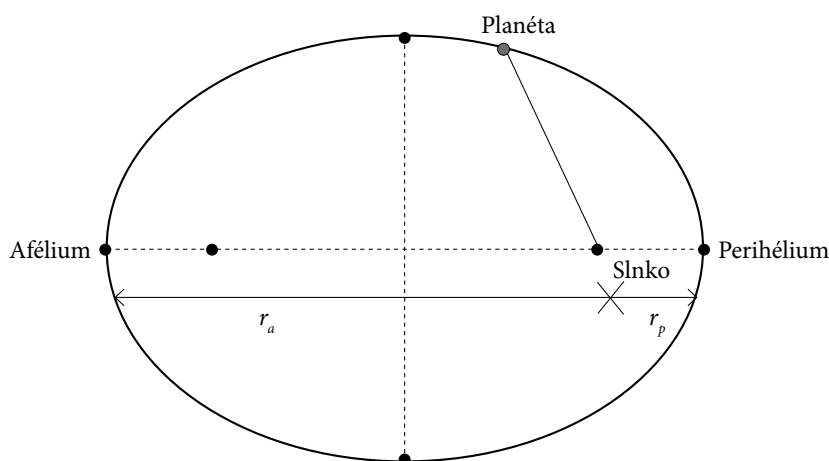
2.5 Keplerove zákony

Planéty sa pohybujú po eliptických dráhach málo odlišných od kružníc, v ktorých v jednom spoločnom ohnisku je Slnko.

Prvý Keplerov zákon

Z prvého Keplerovho zákona vyplýva, že sa planéty pohybujú po rovinných uzavretých krivkách. Na Obr. 2 je konkrétna trajektória planéty so Slnkom v ohnisku. Bod elipsy najbližší k Slnku sa označuje **príslnie (perihélium)** a najvzdialenejší bod **odslnie (afélium)**. Vzďalenessi od ohniska sú v poradí značené r_p , r_a . Obr. 2 predstavuje sprievodič planéty (spojnicu planéty a Slnka). Z Obr. 2 možno vypočítať:

$$\begin{aligned} r_p &= a - e = a(1 - \varepsilon) \\ r_a &= a + e = a(1 + \varepsilon) \end{aligned}$$



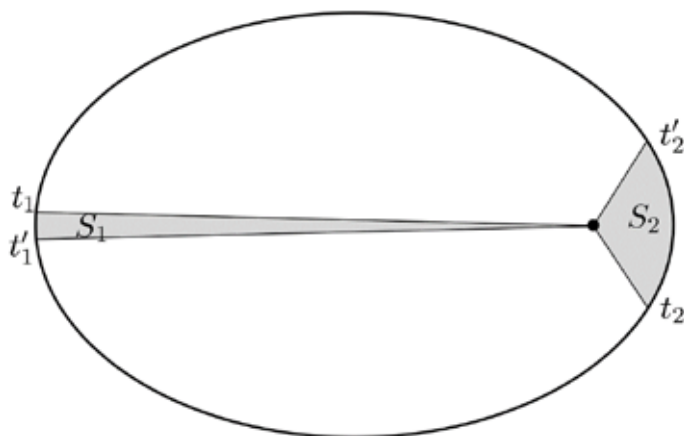
Obrázok 2: Trajektória planéty okolo Slnka

Obsahy plôch opísaných sprievodičom planéty (spojnica planéty a Slnka) sú za rovnaké, ale ľubovoľné časové intervaly rovnako veľké.

Druhý Keplerov zákon

Význam druhého Keplerovho zákona vystihuje Obr. 3. Sú zaznamenané dva časové intervaly $\tau_1 = t_1' - t_1$ a $\tau_2 = t_2' - t_2$, ktorým zodpovedajú po rade plochy opísané sprievodičom S_1 a S_2 . Z druhého Keplerovho zákona vyplýva, že ak $\tau_1 = \tau_2$, potom $S_1 = S_2$.

2. Pohyb nebeských telies



Obrázok 3: K výkladu druhého Keplerovho zákona

Tretí
Keplerov
zákon

Ak označíme T_1, T_2 obežné doby dvoch planét obiehajúcich Slnko a a_1, a_2 dĺžky hlavných polosí elíps, platí

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

čo môžeme prečítať ako:

pomer druhých mocnín obežných dôb dvoch planét je rovnaký ako pomer tretích mocnín ich hlavných polosí.

V slnečnej sústave dáva prirodzený zmysel, aby sa obežné doby počítali v rokoch a hlavné polosí v astronomických jednotkách (skratka „au“, t. j. **astronomical unit**). Pre Zem platí: $a_{\oplus} = 1 \text{ au}, T_{\oplus}$.

Poznámka: Pozorný čitateľ by si mohol všimnúť, že táto formulácia zákona je funkčná pre ľubovoľné (fyzikálne odôvodnené) jednotky. Inak povedané, môžeme počítať periódu v rokoch, rovnako aj v sekundách alebo hodinách, vzťah bude stále platný. Podobná úvaha platí pre hlavnú polos. Hlavná polos môže byť počítaná v astronomických jednotkách, rovnako tak v metroch či kilometroch a pod.

Ukážme si na príklade:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{10 \text{ rokov}}{2 \text{ roky}} = \frac{10 \cdot 24 \cdot 3\,600 \text{ s}}{2 \cdot 24 \cdot 3\,600 \text{ s}} = \frac{10 \text{ s}}{2 \text{ s}} = 5$$

Podiel periód nezávisel od jednotiek, v ktorých sme počítali, pretože prevodný koeficient $24 \cdot 3\,600$ sa v zlomku vykrátil.

Naše úvahy posuňme ešte ďalej a ukážme si, že možno pracovať dokonca v bezrozmerných veličinách. Definujme (bezrozmernú) relatívnu vzdialenosť a' a relatívnu periódu T' , ktoré hovoria, o koľko je vzdialenosť, resp. perióda väčšia ako a , resp. T :

$$a' = \frac{a}{a_{\oplus}}, \quad T' = \frac{T}{T_{\oplus}},$$

kde a_{\oplus} , T_{\oplus} je hlavná polos a perióda Zeme.

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T'_1}{T'_2}, \quad \frac{a_1}{a_2} = \frac{a'_1}{a'_2}$$

Ak je $a = 1,5$ au, potom $a' = 1,5$ a pod.

2.6 Keplerove zákony druhýkrát

Zákony sú všeobecnejšie a nevzťahujú sa len na pohyb planét v slnečnej sústave. Tu ich formulujeme všeobecnejšie.

Priestorovo ohraničené dráhy telies v centrálnom poli sú elipsy, v ktorých v spoločnom ohnisku je centrum poľa.

Prvý Keplerov zákon

Táto formulácia zákona hovorí, že Keplerove zákony platia aj pre opis pohybu družice okolo Zeme, obiehania mesiacov okolo Jupitera a pod., kde úlohu centrálného telesa, nachádzajúceho sa v ohnisku, preberá daná planéta.

Obsahy plôch opísaných sprievodičom telesa (spojnica telesa a centra) sú za rovnaké, ale ľubovoľné časové intervaly rovnako veľké.

Druhý Keplerov zákon

Centrum nemusí byť nutne Slnko, ale napríklad iná hviezda alebo planéta.

Plochu opísanú sprievodičom za krátky časový okamih t , kedy planéta prechádza v blízkosti príslnia, resp. odslnia, možno odhadnúť ako^{3) 4)} (pozri Obr. 3)

$$S_p = \frac{1}{2} r_p v_p \tau$$

³⁾ Úseky elipsy sú takmer rovnoramenné trojuholníky, ak $t = t' - t'_0$ je dostatočne malé.

⁴⁾ Ak nie sú vektory rýchlosti a sprievodiča (polohového vektora) na seba kolmé, ale zvierajú uhol α , rovná sa plocha opísaná sprievodičom za malý časový okamih: $S = 1/2 r v t \sin \alpha$.

2. Pohyb nebeských telies

resp.
$$S_a = \frac{1}{2} r_a v_a \tau.$$

Z druhého Keplerovho zákona $S_p = S_a$ dostávame:

$$r_p v_p = r_a v_a,$$

Z geometrie elipsy (pozri Obr. 1) vieme $r_p = a - e = a(1 - \varepsilon)$ a $r_a = a + e = a(1 + \varepsilon)$

a teda

$$\frac{v_p}{v_a} = \frac{r_a}{r_p} = \frac{a + e}{a - e} = \frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon}$$

Planéta má najväčšiu rýchlosť v perihéliu a najmenšiu rýchlosť v aphéliu. Rýchlosť v aphéliu je toľkokrát menšia ako rýchlosť v perihéliu, koľkokrát je planéta ďalej od Slnka ako by bola v perihéliu. Pomer rýchlostí v perihéliu a aphéliu je jednoznačne určený parametrom elipsy .

Tretí
Keplerov
zákon

Pohyb telesa v centrálnom poli významne hmotnejšieho telesa sa riadi vzťahom

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2},$$

kde a je hlavná polos v metroch, T je perióda v sekundách, M je hmotnosť v kilogramoch a $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ je gravitačná konštanta.

Toto znenie tretieho Keplerovho zákona nie je úplne všeobecné, ale už sa neobmedzuje iba na pohyb planét v slnečnej sústave.

Vykonáme odvodenie tretieho Keplerovho zákona v tomto tvare. Pritom špeciálne predpokladáme, že **teleso s hmotnosťou m obieha po kruhovej dráhe s polomerom a** okolo výrazne hmotnejšieho centra s hmotnosťou M , t. j. $m \ll M$.

Vieme, že Newtonova gravitačná sila plní funkciu dostredivej sily:

$$\frac{GMm}{a^2} = \frac{mv^2}{a},$$

kde $v = \frac{2\pi a}{T}$ je kruhová rýchlosť.

Po dosadení kruhovej rýchlosti do rovnosti síl a jednoduchými úpravami dostávame

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2},$$

kde veličiny sú v SI jednotkách.

V skutočnosti však vyššie odvodený vzťah platí aj v prípade, že sa planéta nepohybuje po kružnici, ale všeobecnej elipse (ponechávame bez dôkazu).

Pre ľubovoľné dve planéty slnečnej sústavy približne platí, že sa pohybujú po kruhových dráhach okolo Slnka a majú zanedbateľnú hmotnosť so Slnkom. Teda pre dve planéty nutne platí vyššie odvodená rovnosť:

Tretí Keplerov zákon pre slnečnú sústavu

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{GM}{4\pi^2}, \quad \frac{a_2^3}{T_2^2} = \frac{GM}{4\pi^2}.$$

Teda

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2}.$$

Hoci sme pracovali celý čas v SI jednotkách, posledný vzťah platí nezávisle od voľby jednotiek. Dôvod sme si rozobrali v poznámke v 2.5.3. Tým sme dokázali prvú formuláciu tretieho Keplerovho zákona.

Vzájomný pohyb telies s hmotnosťami M_1 a M_2 sa riadi vzťahom

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G(M_1 + M_2)}{4\pi^2},$$

kde a je hlavná polos v metroch, T je perióda v sekundách, M_1 a M_2 sú hmotnosti v kilogramoch a $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ je gravitačná konštanta.

Tretí Keplerov zákon tretíkrát

Vykonajme teraz úvahu. Pretože hmotnosť m_{\oplus} Zeme je zanedbateľná s hmotnosťou Slnka M_{\odot} , je možné napísať zjednodušenú podobu tretieho Keplerovho zákona ako:

$$\frac{a_{\oplus}^3}{T_{\oplus}^2} = \frac{GM_{\odot}}{4\pi^2}$$

Podielom posledných dvoch rovností dostávame

$$\left(\frac{a}{a_{\oplus}}\right)^3 \left(\frac{T_{\oplus}}{T}\right)^2 = \frac{M_1}{M_{\odot}} + \frac{M_2}{M_{\odot}}$$

V tomto okamihu, ak definujeme bezrozmerné (relatívne) veličiny $a' = \frac{a}{a_{\oplus}}$, $T' = \frac{T}{T_{\oplus}}$, $M'_1 = \frac{M_1}{M_{\odot}}$ a $M'_2 = \frac{M_2}{M_{\odot}}$, môžeme poslednú všeobecnú podobu tretieho Keplerovho zákona zapísať v jednoduchšom tvare

2. Pohyb nebeských telies

$$\frac{a'^3}{T'^2} = M'_1 + M'_2$$

Za a' dosádzame číselnú hodnotu hlavnej polosi vyjadrenú v astronomických jednotkách (zdôraznime, že rozmer a je „au“, ale a' je v tomto kontexte bezrozmerné a vyjadruje, **koľkokrát je hlavná polos väčšia než a_{\oplus} 1 au**), T' je číselná hodnota periódy obehu uvedená v rokoch (T' je opäť bezrozmerná) a M'_1 a M'_2 sú hmotnosti v násobkoch hmotnosti Slnka (M'_1 a M'_2 sú opäť bezrozmerné veličiny).

Ak bude $M_1 \ll M_2$, tak sa nám všeobecné vyjadrenie tretieho Keplerovho zákona redukuje na špeciálny prípad diskutovaný v predchádzajúcom texte.

Použitá literatúra

[1] ŠANTAVÝ I.: *Mechanika*, SPN, Praha, 1993

[2] VOLF I., JAREŠOVÁ M.: *Fyzika je kolem nás (Pohyby těles v planetární soustavě)*, online odkaz: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/fyzika5.pdf>, cit. 8.7.2018

[3] ŠEDIVÝ P., VOLF I.: *Pohyb tělesa po eliptické trajektorii v radiálním gravitačním poli*, online odkaz: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/druzice.pdf>, cit. 8.7.2018

[4] MIKULČÁK J., MACHÁČEK M., ZEMÁNEK F.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro SŠ*, Prometheus, Praha, 2003

Odporúčaná literatúra

[5] ŠIROKÝ J., ŠIROKÁ M.: *Základy astronomie v příkladech*, SPN, Praha, 1966, online odkaz: <http://physics.ujep.cz/~zmoravec/astronomie/siroky/siroky.html>, cit. 8.7.2018

[6] ŠTEFL V., KORČÁKOVÁ D., KRTIČKA J.: *Úlohy z astrofyziky*, PŘF MUNI, Brno, 2010, online odkaz: <http://www.physics.muni.cz/astroulohy/>

3. PRAKTICKÉ CVIČENIA A AKTIVITY PRE ŽIAKOV

Názov aktivity	Predpokladaná doba trvania	Náročnosť aktivity	Vek, pre ktorý je aktivita vhodná	Pomôcky a použitý materiál	Cieľ aktivity
Úloha 1.: Dokola okolo Slnka	8 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	prevod jednotiek, dosadenie do 3. KZ, pohyb po kružnici
Úloha 2.: Mesiac v dialke... akej?!	8 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	prevod jednotiek, Newtonov grav. zákon, 3. KZ
Úloha 3.: Aj sused to má rád	5 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	presné znenie 3. KZ
Úloha 4.: Votrelec vs. pozemšťan	8 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	elipsa, 2. a 3. KZ
Úloha 5.: Trpasličia planéta Pluto	8 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	elipsa, 2. a 3. KZ
Úloha 6.: Mars! ...kde?	12 minút	môže byť náročnejšia na predstavivosť, je potrebné poznať koncept uhlovej rýchlosti a synodickej doby	12 rokov a viac	kalkulátor	3. KZ, uhlová rýchlosť, synodická doba
Úloha 7.: Let na Mars po pol elipse	8 minút	zaujímavý koncept, štandardné úkony	12 rokov a viac	kalkulátor	3. KZ, koncept Hohmannovej trajektórie
Úloha 8.: Geostacionárna družica	8 minút	môže byť náročnejšia na predstavivosť, inak štandardné úkony	12 rokov a viac	kalkulátor	3. KZ/2. KZ, Newtonov grav. zákon, dostredivá sila
Úloha 9.: Katastrofa na Slnku	5 minút	neštandardný typ úlohy	12 rokov a viac	kalkulátor	3. KZ, pád do Slnka po úsečke
Úloha 10.: Ľahký ako... čierna veľdiera!	15 minút	práca s grafom, zložitejšie úkony	12 rokov a viac	kalkulátor, pravítko	práca s grafom, práca s uhlovými vzdialenosťami, 3. KZ

Metodické pokyny pre učiteľa – žiaci so ŠVVP, nadaní žiaci

1. Žiakom so ŠVVP pridať až 50 % času navyše.
2. Nadaní žiaci môžu samostatne vypracovať všetky úlohy, pedagóg sa im venuje individuálne. Ak žiak prejavil záujem o túto tému, možno ho s ďalšou teóriou a príkladmi odkázať na [2], [3], [5] a [6].
3. Časy na vypracovanie úloh sú orientačné. Po uplynutí odporúčaného času na samostatné riešenie úloh žiakmi je vhodné prejsť na prezentovanie riešení na tabuľu učiteľom.

Úloha 1: Dokola okolo Slnka

Zem sa okolo Slnka pohybuje po takmer dokonalej kruhovej dráhe⁵⁾ s polomerom $a = 1$ au a s periódou $T = 365,25$ dní.

- Z tretieho Keplerovho zákona určte hmotnosť Slnka v kilogramoch. Pre porovnanie určte, koľkokrát je hmotnejšie ako Zem (hmotnosť Zeme je $M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24}$ kg).
- Za predpokladu, že sa Zem pohybuje po presne kruhovej dráhe okolo Slnka, spočítajte rýchlosť Zeme na svojej dráhe.

Riešenie

- Najprv prevedieme jednotky veličín do SI sústavy: $a \doteq 1,50 \cdot 10^{11}$ m,

$T \doteq 3,16 \cdot 10^7$ s. Zostáva dosadiť do 3. Keplerovho zákona: $M_{\odot} = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2} \doteq 2,00 \cdot 10^{30}$ kg \doteq

$335\,000 M_{\oplus}$. Skutočná hmotnosť Slnka je $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30}$ kg, nami spočítaná hodnota je teda správna.

- Podľa predpokladu je trajektória Zeme kružnica, teda Zem prejde za 1 rok dráhu

$$s = 2\pi a, \text{ preto sa obežná rýchlosť rovná } v = \frac{2\pi a}{T} \doteq 29,9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Trajektória Zeme okolo Slnka nie je v skutočnosti presnou kružnicou a jej rýchlosť sa pohybuje medzi hodnotami $29,3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ a $30,3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Úloha 2: Mesiac v diaľke... akej?!

V tejto úlohe sa pokúsite odhadnúť vzdialenosť Mesiaca od Zeme.

- Gravitačné zrýchlenie⁶⁾ pri povrchu Zeme je $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a polomer Zeme $R = 6\,378$ km. Určte z Newtonovho gravitačného zákona hmotnosť Zeme.
- Doba obehu Mesiaca okolo Zeme je $T = 27,3$ dní. Použite tretí Keplerov zákon na odhad strednej vzdialenosti Mesiaca od Zeme (zanedbávame pritom hmotnosť Mesiaca, čo robí výpočet iba približný).

⁵⁾ Výstrednosť eliptickej trajektórie Zeme je len $\epsilon_{\oplus} = 0,0167$

⁶⁾ Nerozlišujeme tu medzi tiažovým a gravitačným zrýchlením.



Obrázok 4: Zem a Mesiac na spoločnej fotografii

(zdroj: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/from-a-million-miles-away-nasa-camera-shows-moon-crossing-face-of-earth>, cit. 05.07.2018)

Riešenie:

- a) Gravitačné zrýchlenie určíme z Newtonovho gravitačného zákona.

Gravitačná sila pôsobiaca na teleso s hmotnosťou m pri povrchu Zeme je $F_G = \frac{GM_{\oplus}m}{R_{\oplus}^2}$.

Všeobecný vzťah pre silu udáva druhý Newtonov zákon $F = mq$, kde je q zrýchlenie telesa⁷⁾. Ak označíme gravitačné zrýchlenie g , potom z Newtonovho gravitačného a druhého

pohybového zákona dostávame $g = \frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$.

Zo vzťahu vyjadríme hmotnosť. $M_{\oplus} = \frac{gR_{\oplus}^2}{G} \doteq 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Skutočná hmotnosť Zeme je $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, náš výpočet je teda správny.

- b) Obežnú dobu vyjadríme v sekundách $T = 27,3 \text{ dní} \doteq 2,36 \cdot 10^6 \text{ s}$. V tejto úlohe zabúdame na hmotnosť Mesiaca, ktorá nie je v skutočnosti zanedbateľná.

Dostávame tak odhad strednej vzdialenosti $a = \sqrt[3]{\frac{GM_{\oplus}T^2}{4\pi^2}} \doteq 3,83 \cdot 10^8 \text{ m}$.

Skutočná hodnota hlavnej polosi (strednej vzdialenosti) je $a = 384\,400 \text{ km}$.

Náš výpočet je takmer presný, čo je spôsobené malou hmotnosťou Mesiaca v porovnaní

s hmotnosťou Zeme, platí $\frac{M_{\oplus}}{M_{\text{J}}}$ $\doteq 81$.

⁷⁾ Štandardne sa zrýchlenie značí písmenom a ako „acceleration“, teda „zrýchlenie“. Pretože písmeno a sme použili na značenie hlavnej polosi, zvolili sme iné písmeno pre zrýchlenie, a to q .

Úloha 3: Aj sused to má rád

Stredná vzdialenosť Zeme – Mesiaca je $a = 384\,400$ km a hmotnosť Zeme je $M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24}$ kg. Dobu obehu Mesiaca poznáte z Úlohy 2. Určte hmotnosť Mesiaca. Koľkokrát je hmotnosť Zeme väčšia než hmotnosť Mesiaca?

Riešenie:

Hmotnosť Mesiaca spočítame z presného tretieho Keplerovho zákona:

$$M_{\text{J}} = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2} - M_{\oplus} \doteq 6,62 \cdot 10^{22} \text{ kg.}$$

Za obežnú dobu sme pritom dosadili $T \doteq 2,36 \cdot 10^6$ s. Pretože hmotnosť Zeme je

$M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24}$ kg, tak Zem je $\frac{M_{\oplus}}{M_{\text{J}}}$ krát hmotnejšia ako Mesiac.

Skutočná hmotnosť Mesiaca je $7,35 \cdot 10^{22}$ kg, teda $\frac{M_{\oplus}}{M_{\text{J}}} \doteq 81$, spočítaný výsledok dáva teda rozumný odhad skutočnej hodnoty.

Poznamenajme, že vypočítaná hodnota hmotnosti Mesiaca veľmi závisí na presnosti ostatných veličín. Keby sme do vzťahu za obežnú dobu dosadili $27,3 \cdot 24 \cdot 3\,600$, teda nezaokrúhľovali, dostali by sme $M_{\text{J}} \doteq 7,27 \cdot 10^{22}$ kg, čo dáva očividne presnejší výsledok. To je však „náhoda“, správny postup je previesť obežnú dobu z dní na sekundy a uviesť výsledok ako číslo s rovnakým počtom cifier, aký mala východisková hodnota krát príslušná mocnina desiatich, teda $27,3$ dní $\doteq 2,36 \cdot 10^6$ s.

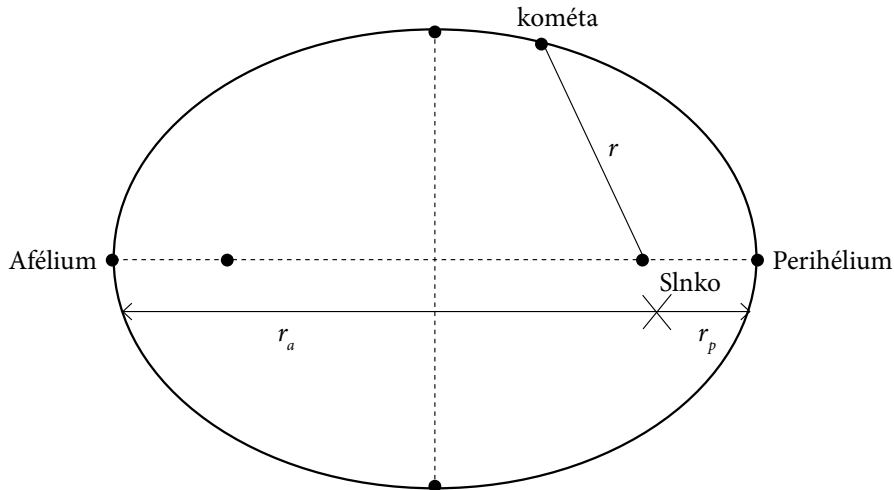
Poznámka: Presnejšie by bolo povedať, že výsledok má mať rovnaký počet „platných cifier“ ako východisková hodnota. Pojem „platná cifra“ sa nezavádza dokonca ani na strednej škole, preto sme sa tomuto termínu snažili vyhnúť.

Úloha 4: Votrelec vs. pozemšťan

Okolo Slnka obieha kométa, ktorej príslnie je vo vzdialenosti $r_p = 0,5$ au a odslnie je vo vzdialenosti $r_a = 31,5$ au, pozri Obr. 5.

Určte:

- hlavnú a vedľajšiu polos, diaľkovú a číselnú výstrednosť elipsy,
- periódu kométy,
- koľkokrát má kométa v príslní väčšiu rýchlosť ako v odslní.



Obrázok 5: Schematický náčrtok trajektórie kométy

Riešenie:

Z geometrie elipsy dostávame: $a = \frac{r_p + r_a}{2} = 16 \text{ au}$, $e = r_a - a = a - r_p = 15,5 \text{ au}$, $\varepsilon = \frac{e}{a} \doteq 0,97$.

$b = \sqrt{a^2 - e^2} \doteq 4,0 \text{ au}$. Trajektória kométy je (očakávane) veľmi excentrická.

b) Tretí Keplerov zákon si zapíšeme v tvare $\frac{a'^3}{T'^2} = M'$, pričom za a' dosádzame číselnú hodnotu v astronomických jednotkách, za T' číselnú hodnotu v rokoch a za M' násobky hmotnosti Slnka. Pretože riešime pohyb kométy v slnečnej sústave, je automaticky splnené $M' = 1$. Tým pádom platí $T' = \sqrt{a'^3} \doteq 64$. Ako ale vieme, v danej formulácii zákona sú všetky veličiny bezrozmerné. Číselná hodnota predstavuje, koľkokrát je perióda väčšia než perióda rotácie Zeme okolo Slnka (teda koľkokrát je perióda väčšia než jeden rok). Perióda je teda $T = T' \cdot T_{\oplus} = T' \cdot 1 \text{ rok} \doteq 64 \text{ rokov}$.

Je možné využiť iný (ale samozrejme ekvivalentný) zápis tretieho Keplerovho zákona. Ak budeme pracovať v SI sústave, zapíšeme tretí Keplerov zákon ako $\frac{a^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} M$.

Hmotnosť Slnka poznáme $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, gravitačná konštanta má hodnotu $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$ a hlavná polos je $a = 16 \text{ au} \doteq 16 \cdot 1,5 \cdot 10^{11} = 2,4 \cdot 10^{12} \text{ m}$.

Z tretieho Keplerovho zákona si vyjadríme periódu: $T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{GM}} \doteq 2,03 \cdot 10^9 \text{ s} \doteq 64 \text{ rokov}$.

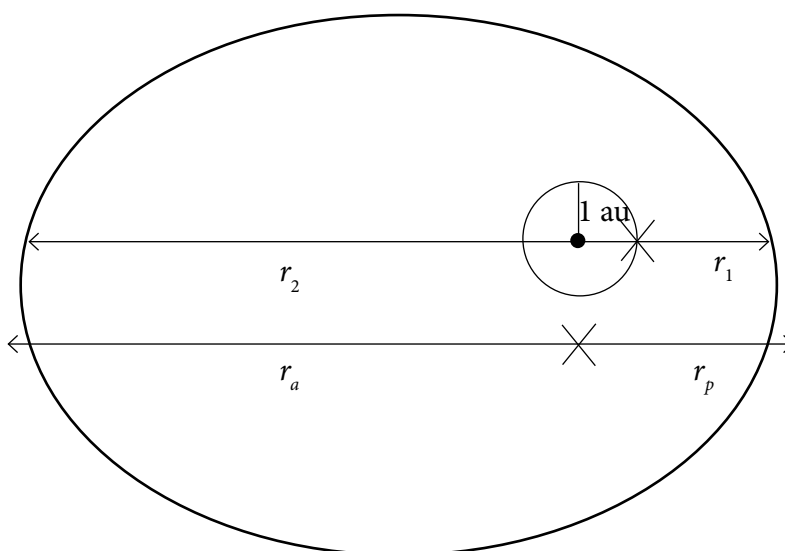
c) Z druhého Keplerovho zákona vyplýva $\frac{v_p}{v_a} = \frac{r_a}{r_p} = \frac{a+e}{a-e} = \frac{1+e}{1-e} \doteq 63$.

Úloha 5: Plynný obor menom Jupiter

Jupiter je najbližšie k Zemi $r_1 = 3,95$ au a najďalej $r_2 = 6,46$ au. Predpokladajte, že sa Zem pohybuje po kruhovej dráhe a obežné roviny Zeme a Jupitera spolu splyývajú, pozri Obr. 6.

Potom určte:

- príslnie a odslnie pre dráhu Jupitera,
- hlavnú a vedľajšiu polos, diaľkovú a číselnú výstrednosť elipsy,
- periódu obehu,
- koľkokrát má Jupiter v príslní väčšiu rýchlosť ako v odslní.



Obrázok 6: K rozboru úlohy

Riešenie:

- a) Najbližšia vzdialenosť Pluta od Slnka je $r_p = r_1 + a_{\oplus} = 4,95$ au.

Najväčšia vzdialenosť sa potom rovná $r_a = r_2 + a_{\oplus} = 5,46$ au.

- b) Pre každú elipsu určujeme hlavnú polos ako $a = \frac{r_p + r_a}{2} \doteq 5,21$ au, diaľková výstrednosť je podľa obrázka $e = r_a - a = a - r_p \doteq 0,25$ au, číselná výstrednosť z definície $\varepsilon = \frac{e}{a} \doteq 0,048$, vedľajšiu polos určíme z Pytagorovej vety $b = \sqrt{a^2 - e^2} \doteq 5,20$ au. Vidíme, že trajektória Jupitera je takmer kruhová.

- c) Budeme postupovať podobne ako v Úlohe 4. Ak budeme chcieť použiť tvar tretieho

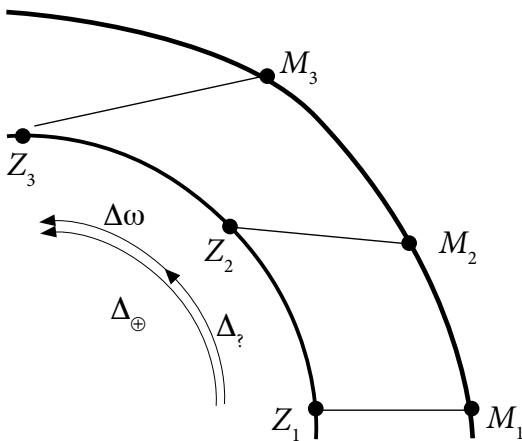
Keplerovho zákona $\frac{a'^3}{T'^2} = M'$, tak $M' = 1$, a preto $T' = \sqrt{a'^3} \doteq 11,9$. Perióda je teda $T = 11,9$ rokov.

- d) Z druhého Keplerovho zákona vyplýva, že $\frac{v_p}{v_a} = \frac{r_a}{r_p} = \frac{a+e}{a-e} = \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon} \doteq 1,10$.

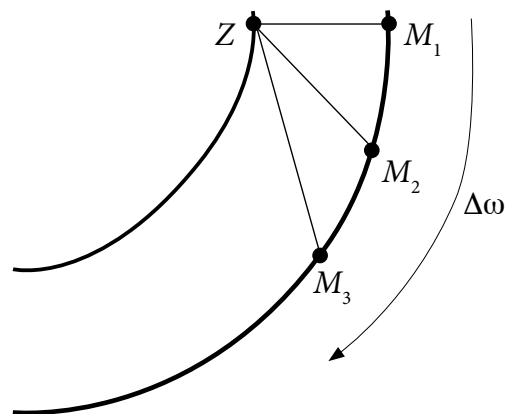
Úloha 6: Mars! ...kde?

Hlavná polos trajektórie Marsu je $a_{\sigma} = 1,52$ au, hlavná polos trajektórie Zeme $a_{\oplus} = 1,00$ au. Predpokladajte, že planéty obiehajú v rovnakej rovine v zhodnom smere.

- Určte periódu obežnej doby Marsu okolo Slnka.
- Určte uhlovú rýchlosť Marsu okolo Slnka, rovnako tak uhlovú rýchlosť Zeme.
- Pretože sa planéty pohybujú v rovnakom smere, odpočítajte od seba uhlové rýchlosti, aby ste získali vzájomnú uhlovú rýchlosť (pozri Obr. 7 a 8).
- Určte tzv. synodickú obežnú dobu, čo je doba, za ktorú sa Zem, Mars a Slnko dostanú do rovnakého usporiadania.



Obrázok 7: Uhlová rýchlosť Marsu okolo Slnka je menšia ako Zeme



Obrázok 8: Z pohľadu pozemšťanov sa Mars pohybuje uhlovou rýchlosťou $\Delta\omega$

Riešenie:

- Využijeme tretí Keplerov zákon rovnakým spôsobom ako v úlohách 4. a 5.:

$$T'_{\sigma} = \sqrt{a'_{\sigma}{}^3} \doteq 1,87, \text{ teda obežná doba je } T = 1,87 \text{ rokov.}$$

- Uhlová rýchlosť je definovaná ako „uhol opísaný sprievodičom za jednotku času“. Pretože za jednu obežnú dobu T opíše sprievodič uhol 360° , priemerná uhlová rýchlosť sa rovná $\omega = \frac{360^{\circ}}{T}$. Pretože uvažujeme, že trajektórie Zeme a Marsu sú presne kruhové, ide zároveň o okamžitú uhlovú rýchlosť, ktorá je rovnaká v každom okamihu.

$$\text{Uhlová rýchlosť Zeme okolo Slnka je } \omega_{\oplus} = \frac{360^{\circ}}{T_{\oplus}} = 360^{\circ} \cdot \text{rok}^{-1},$$

$$\text{Marsu okolo Slnka } \omega_{\sigma} = \frac{360^{\circ}}{T_{\sigma}} \doteq 193^{\circ} \cdot \text{rok}^{-1}.$$

2. Pohyb nebeských telies

c) Planéty sa pohybujú v rovnakom smere, a teda vzájomná uhlová rýchlosť sa rovná

$$\Delta\omega = \omega_{\oplus} - \omega_{\sigma} = \frac{360^{\circ}}{T_{\oplus}} - \frac{360^{\circ}}{T_{\sigma}} = 360^{\circ} \frac{T_{\sigma} - T_{\oplus}}{T_{\sigma} T_{\oplus}} \doteq 167^{\circ} \cdot \text{rok}^{-1}$$

d) Pre synodickú dobu platí: $360^{\circ} = \Delta\omega P$, teda $P = \frac{360^{\circ}}{\Delta\omega} \doteq 2,16 \text{ rokov} \doteq 788 \text{ dní}$.

Príp. môžeme úpravami dostať všeobecný výsledok $P = \frac{T_{\sigma} T_{\oplus}}{T_{\sigma} - T_{\oplus}}$.

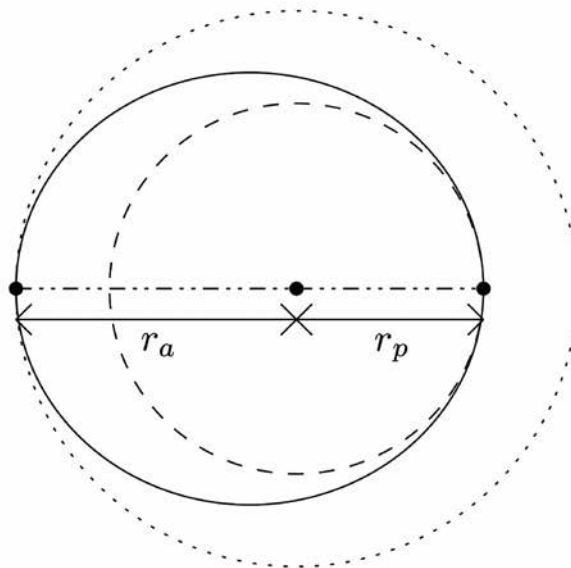
Úloha 7: Let na Mars po pol elipse

Zo Zeme odštartovala kozmická loď, ktorá sa pohybuje po eliptickej dráhe so Slnkom v ohnisku. Parametre letu sú nastavené tak, že Zem (miesto, z ktorého vyštartovala loď) je príslnie a loď dosiahne bod presne na opačnej strane elipsy, teda odslnie, kde sa bude nachádzať Mars. Loď sa teda pohybuje po pol elipse (tzv. Hohmannovskej trajektórii).

Hlavná polos trajektórie Zeme je $a_{\oplus} = 1,00 \text{ au}$ a Marsu je $a_{\sigma} = 1,52 \text{ au}$.

Určte:

- a) hlavnú polos elipsy,
- b) koľko času bude musieť posádka stráviť vo vesmírnej lodi, kým loď dosiahne Mars.



Obrázok 9: Na obrázku sú zakreslené tri body (zľava doprava): Mars, Slnko, Zem

Riešenie:

a) Z obrázka je zrejmé, že $a_{\oplus} + a_{\sigma} = 2a$, teda $a = \frac{a_{\oplus} + a_{\sigma}}{2} = 1,26 \text{ au}$.

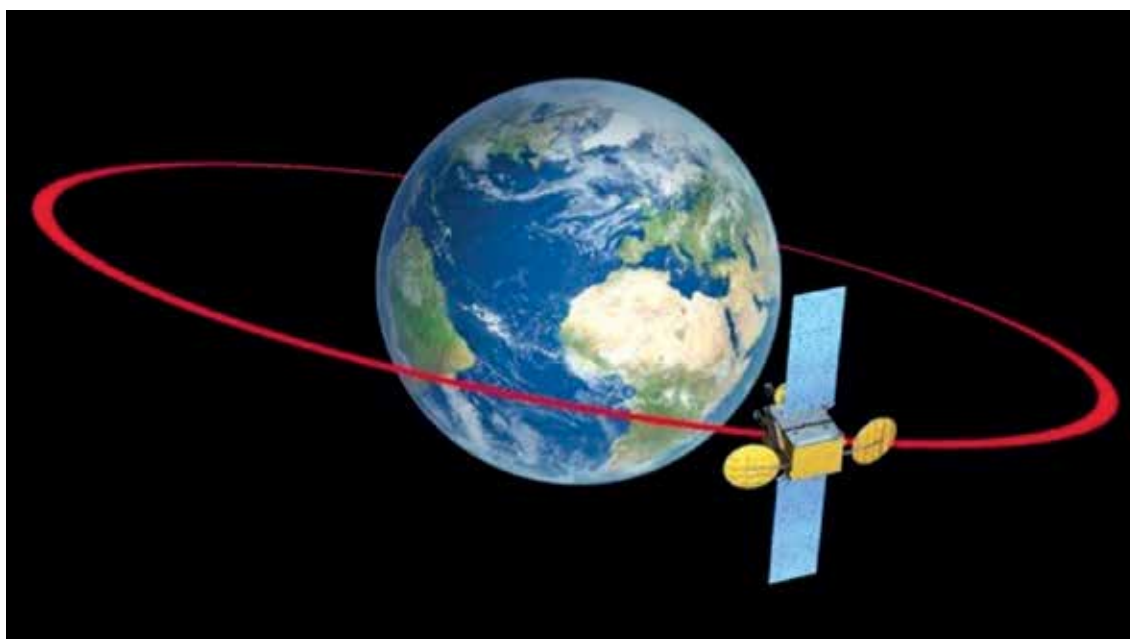
b) Obežnú dobu určíme z tretieho Keplerovho zákona: $T' = \sqrt{a'^3} \doteq 1,42$,

teda perióda je $T = 1,42$ rokov. Loď sa pohybuje po polke elipsy, preto čas potrebný na dosiahnutie Marsu je polovica periódy: 0,71 rokov, teda 8,5 mesiacov.

Úloha 8: Geostacionárna družica

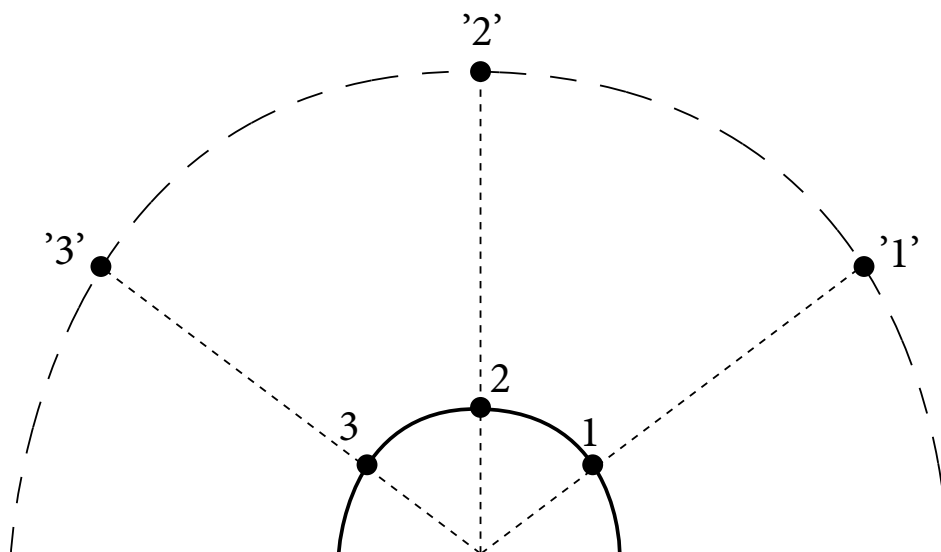
Geostacionárna družica je taká družica, ktorú pozemšťania vidia „visieť“ nehybne na oblohe. Družica sa musí nachádzať v rovine rovníka a obiehať po kružnici v rovnakom smere, ako je smer otáčania Zeme okolo svojej osi, pozri Obr. 7 a 8.

- Vysvetlite, prečo nie je možné, aby sa družica pohybovala v inej rovine.
- Hmotnosť Zeme je $M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ a otočenie okolo osi trvá $T = 24$ hod. Určte, ako vysoko obieha družica nad zemským povrchom.



Obrázok 10: Geostacionárna družica

(Zdroj: https://www.esa.int/spaceinimages/Images/2009/03/Geostationary_orbit, cit. 05.07.2018)



Obrázok 11: Geostacionárna družica z pohľadu pozorovateľa „visí“ nad jedným bodom zemského povrchu (ilustračný obrázok)

Riešenie:

- a) Rovina obehu družice musí prechádzať stredom Zeme (hmotným centrom). Ak sa má družica, z hľadiska pozorovateľa spojeného so zemským povrchom, nachádzať stále na rovnakom bode, musí sa otáčať v smere rotácie Zeme. To ale znamená, že rovina obehu musí byť kolmá na os otáčania. Z geometrickej predstavy je potom zrejmé, že takáto rovina existuje iba jedna.
- b) Hlavnú polos (polomer kruhovej trajektórie) nájdeme tretím Keplerovým zákonom

$$a = \sqrt[3]{\frac{G M T^2}{4\pi^2}} \doteq 42\,200 \text{ km}$$

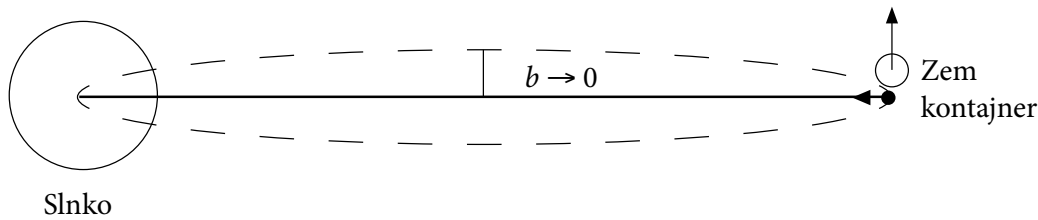
Stred kruhového orbitu družice leží v centre Zeme (v hmotnom strede, resp. ohnisku).
Vzdialenosť družice nad zemským povrchom je potom:

$$h = a - R_{\oplus} \doteq 42\,200 \text{ km} - 6\,378 \text{ km} \doteq 35\,800 \text{ km}.$$

Úloha 9: Katastrofa na Slnku

Štvrtá kozmická rýchlosť je rýchlosť, akou by muselo byť teleso vystrelené proti smeru pohybu Zeme, aby sa vo voľnom priestore zastavilo a následne začalo padať po úsečke do Slnka, pozri Obr. 9. Takým telesom môže byť napríklad kontajner naplnený neskladným materiálom, ktorého je potrebné sa zbaviť. Slnko tak plní funkciu akejsi „spaľovne“. Využite vhodným spôsobom tretí Keplerov zákon na to, aby ste spočítali dobu pádu kontajnera do Slnka.

Pomôcka: Kontajner pri svojom páde až do okamihu kolízie so Slnkom prejde úsečku, na ktorú sa môžeme pozerať ako na špeciálny prípad elipsy (elipsa s $a = e$, $b = 0$).



Obrázok 12: Kontajner sa pohybuje po úsečke, ktorú si možno predstaviť ako elipsu s veľmi malou vedľajšou polosou. Začiatok úsečky (vpravo) zodpovedá miestu vypustenia, koniec úsečky (vľavo) zodpovedá stredu Slnka. Obrázok nie je v pomere skutočných vzdialeností, je iba ilustratívny.

Riešenie:

Z nakresleného obrázka si uvedomíme, že hlavná polos „elipsy“ je $a = \frac{a_{\oplus}}{2} = 0,5 \text{ au}$.

Ak budeme chcieť použiť tretí Keplerov zákon v tvare

$$\frac{a'^3}{T'^2} = M', \text{ tak } M' = 1, \text{ a preto } T' = \sqrt{a'^3} \doteq 0,35.$$

Periódou je približne $T \doteq 0,35 \text{ rokov} \doteq 128 \text{ dní}$

Kontajner sa však nevráti do miesta, odkiaľ začal padať. Kontajner zhorí v Slnku, prejde teda len polovicu „elipsy“, takže doba pádu zodpovedá polovici spočítanej periódy: 64 dní.

Poznámka: Z obrázka by sa mohlo zdať, že kontajner do Slnka vletí skôr ako za dobu $\frac{T}{2}$ a je to samozrejme pravda. Je dôležité si uvedomiť, že hoci sú rozmery Slnka „obrovské“ (v porovnaní s našou každodennou skúsenosťou, pre predstavu polomer Slnka je $R_{\odot} = 695\,508 \text{ km} \doteq 109 R_{\oplus}$), tak v porovnaní so vzdialenosťou Zem – Slnko sú zanedbateľné. Slnko možno v tomto priblížení považovať za hmotný bod a predchádzajúci výpočet je preto v poriadku.

Úloha 10: Lahký ako... čierna veľdiera!

V tejto úlohe pôjde o odhad hmotnosti čiernej veľdiery⁸⁾ Sag A*, ktorá sa nachádza v centre Galaxie⁹⁾. Astronómovia dlhé roky pozorovali hviezdu S2 obiehajúcu okolo SGR A*. Ako hviezda obieha čiernu dieru, mení svoju zdanlivú polohu voči hviezdnejmu pozadiu. Postupná poloha hviezdy je zaznamenaná v grafe na obrázku dole Obr. 13.

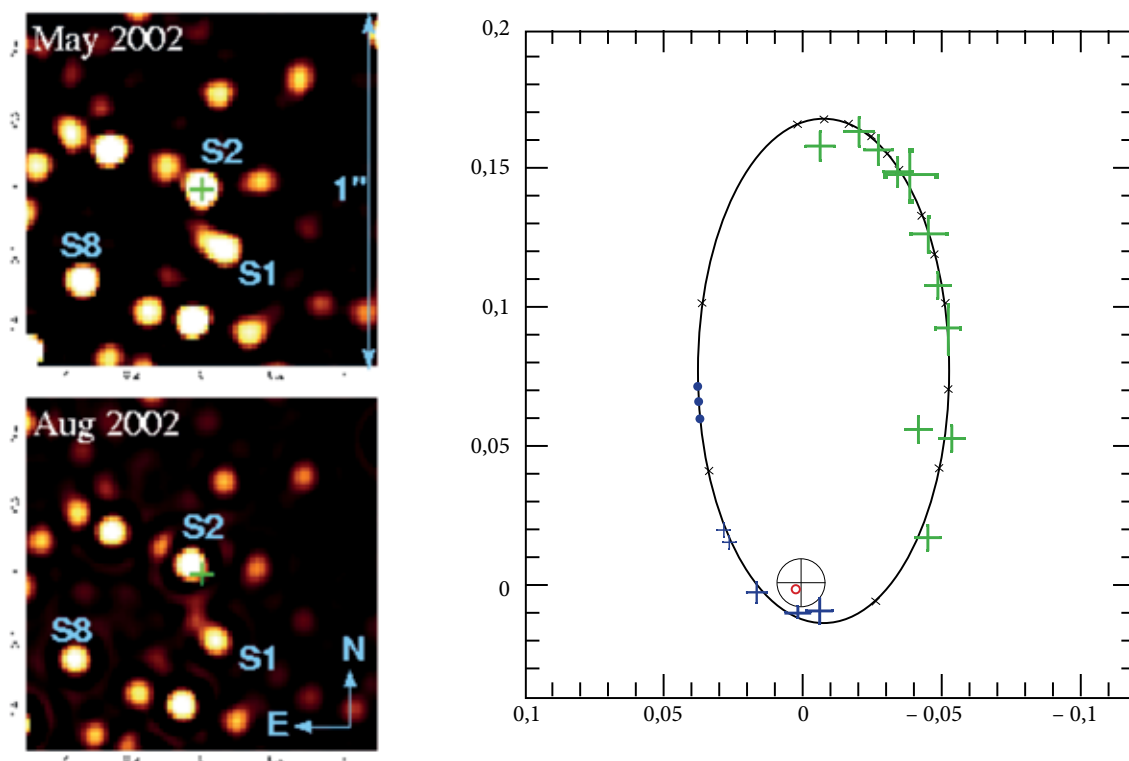
- a) S pomocou grafu a tretieho Keplerovho zákona odhadnite hmotnosť Sgr A*. Viete, že hviezda S2 je od Zeme vzdialená 25 900 svetelných rokov a obežná doba hviezdy je 16 rokov. Na zjednodušenie úlohy uvažujte, že obežná rovina je kolmá na rovinu pozorovania (t. j. sklon obežnej roviny k smeru pozorovania (inklinácie) je 90°).

⁸⁾ Presný pojem je „supermasívna čierna diera“, ale aby sme sa vyhli zbytočnému názvosloviu, používame populárnejší názov „čierna veľdiera“.

⁹⁾ „Galaxia“ je meno našej galaxie, často sa používa aj pojem „Mliečna dráha“ (angl. „Milky way“).

2. Pohyb nebeských telies

b) Aká je hodnota hmotnosti čiernej veľdiery, ak je skutočná inklinácia $i = 133^\circ$?



Obrázok 13: Postupná poloha hviezdy
(zdroj: <https://www.astro.uni-koeln.de/node/236>, cit.05.07.2018)

Riešenie:

a) Uhlovú veľkosť hlavnej polosi odhadneme ako $\theta \doteq 0,09''$ (z grafu odmeriame $2\theta \doteq 0,18''$). Vzdialenosť S2 od Zeme je $l = 25\,900$ sv. rokov $= 25\,900 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3\,600$ m $\doteq 2,45 \cdot 10^{20}$ m $\doteq 1,64 \cdot 10^9$ au. Je jednoduché si premyslieť, že $\text{tg } \theta = \frac{a}{l}$, teda $a \doteq 795$ au. Dosadíme do tretieho Keplerovho zákona $\frac{a^3}{a'^2} = M' \doteq 2 \cdot 10^6$, teda hmotnosť čiernej veľdiery je približne $2 \cdot 10^6 M_\odot$.

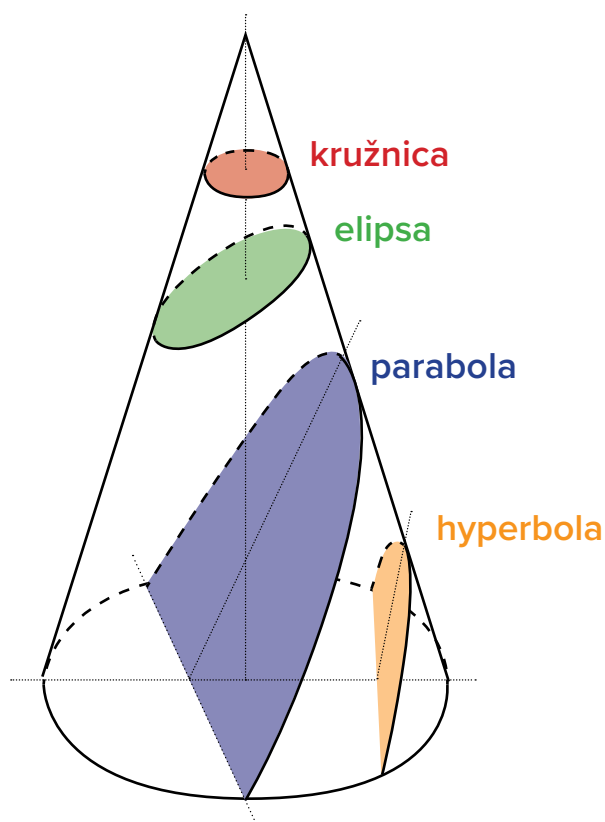
b) Pokiaľ nie je obežná rovina kolmá na smer pozorovania, tzn. $i \neq 90^\circ$, pozorujeme projekciu obežnej dráhy do smeru pozorovania. Ak je sklon $i = 133^\circ$, je skutočná hodnota hlavnej polosi $a = \frac{a_{\text{poz}}}{\sin 133^\circ} \doteq \frac{a_{\text{poz}}}{\cos 43^\circ} \doteq \frac{795 \text{ au}}{\cos 43^\circ} \doteq 1\,090$ au. Z tretieho Keplerovho zákona potom dostávame: $M' \doteq 5 \cdot 10^6$, teda hmotnosť čiernej veľdiery je približne $M' \doteq 5 \cdot 10^6 M_\odot$.

Napríklad podľa https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/l8_p7.html (cit. 05.07.2018) je hmotnosť čiernej veľdiery približne $M = 4 \cdot 10^6 M_\odot$, teda spočítaný výsledok dáva rozumnú hodnotu.

KUŽELOSEČKY – ORBITY NEBESKÝCH TELIES

1. ÚVOD

Kuželosečky sú jednou z najstarších a najdlhšie študovaných geometrických kriviek. Verí sa, že ich pôvodne objavil Menelm (jeden z učiteľov Alexandra Veľkého) v 4. st. p. n. l. Neskôr ich študoval Eukleides z Alexandrie (asi 300 p. n. l.) a Apollónios z Pergy (asi 200 p. n. l.), pričom Apollónius bol ten, kto im dal názvy, ktoré používame aj dnes – **elipsa**, **parabola** a **hyperbola**. V matematike je kuželosečka definovaná ako krivka, ktorú je možné získať prierezom kuželovej plochy s rovinou (Obr. 1). Kuželosečky majú dôležité uplatnenie v astronómii: používajú sa na opis pohybu nebeských telies pod vplyvom gravitácie. Dráhy týchto pohybov sa nazývajú obežné dráhy (alebo orbity) nebeských telies.



Obrázok 14: Kuželosečky

(zdroj: http://commons.wikimedia.org/wiki/User:Magister_Mathematicae_-_File:Secciones_cónicas.svg,
CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18556148>)

2. Pohyb nebeských telies

1.1 Obsah témy

V sekcii tejto témy pre učiteľov najprv opíšeme typy kužeľosečiek a ich parametre, a potom ukážeme ich použitie v astronómii pri opise pohybu nebeských telies pod vplyvom gravitácie. Zameriame sa na obežné dráhy telies zo Slnecnej sústavy. Nakoniec uvedieme prvky jednej obežnej dráhy. V časti praktických cvičení pre žiakov ponúkneme niekoľko zaujímavých praktických cvičení a otázok, ktoré sú určené na ilustráciu študijného materiálu a na jeho lepšie porozumenie.

1.2 Kľúčové slová

kužeľosečky

elipsa

parabola

hyperbola

excentricita

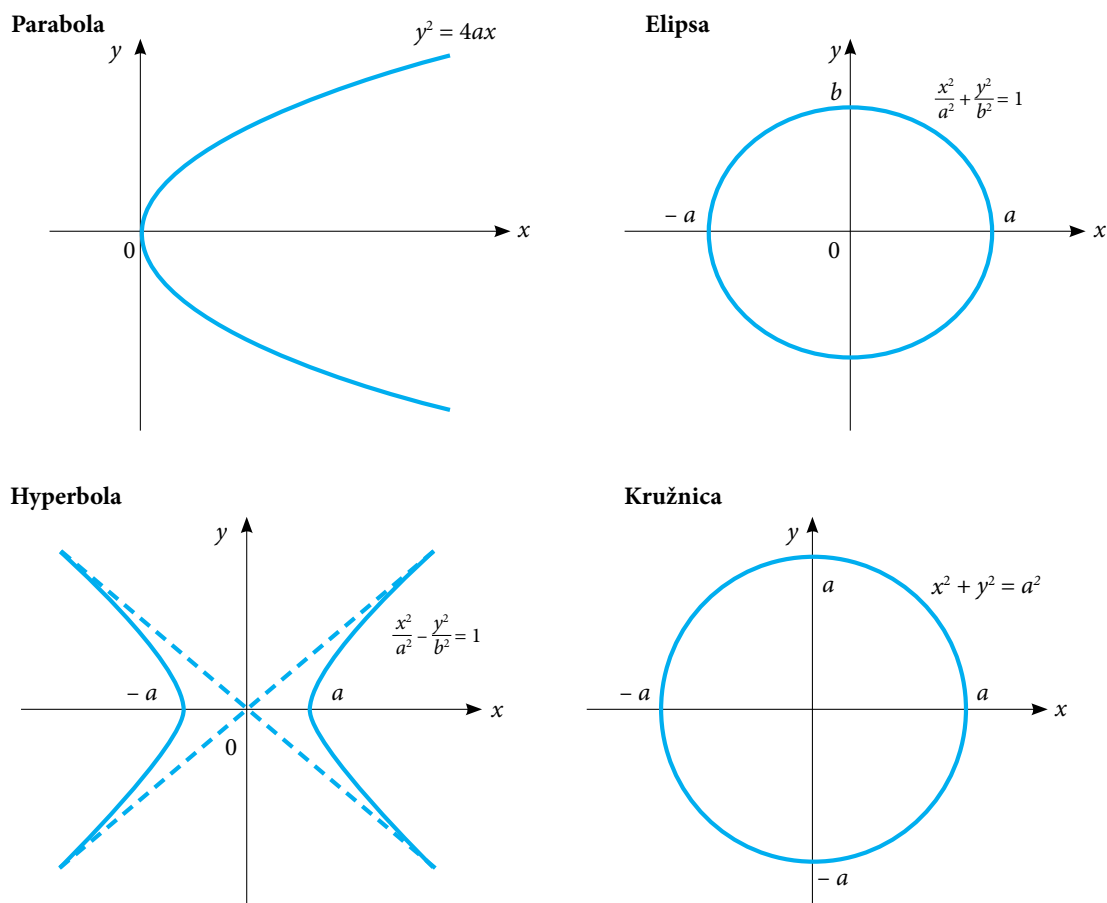
obežná dráha (orbita)

elementy dráhy (prvky obežnej dráhy) – sklon, veľká polos, excentricita

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

2.1 Typy kuželosečiek. Parametre

V matematike je kuželosečka definovaná ako krivka, ktorú je možné získať prierezom kuželovej plochy s rovinou. Typy kuželosečiek



Obrázok 15: Kuželosečky

(zdroj: http://amsi.org.au/ESA_Senior_Years/SeniorTopic2/2a/2a_3links.html)

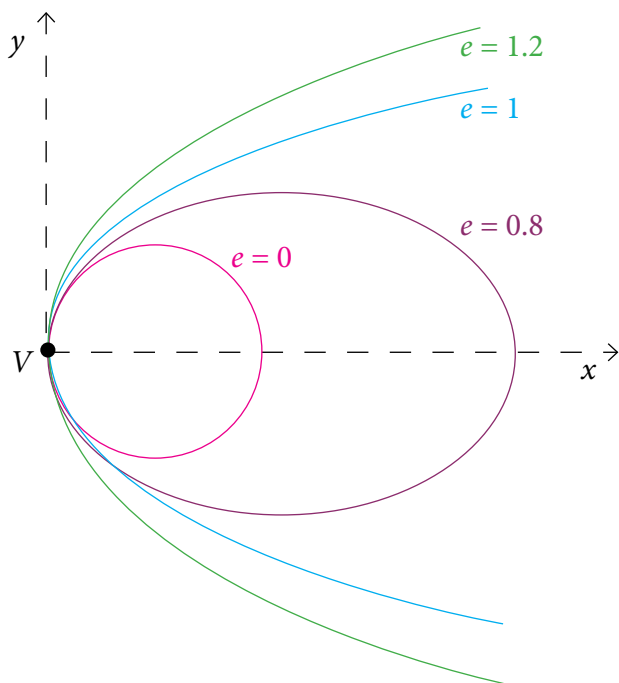
Elipsa – uzavretá krivka s dvoma ohniskami. Elipsa má tvar splošteného kruhu, pričom sploštenosť je daná excentricitou (zaznačuje sa e a má hodnoty od 0 do menej ako 1). Elipsa má dve osi (veľká a malá os), ktoré prechádzajú stredom a delia ju na dve rovnaké polovice. Polovičky osí sa nazývajú veľká polos (označuje sa písmenom „ a “) a malá polos (označuje sa písmenom „ b “). Ohniská elipsy ležia na veľkých polosiach. Vzdialenosť ohnísk od stredy je určená súčinom a a e (pozri obrázok).

Kružnica – špeciálny prípad elipsy. Získava sa priesečníkom priameho kruhového kužela s rovinou kolmou na jeho os. Excentricita je presne $e = 0$.

Parabola – otvorená krivka s jedným ohniskom. Získava sa priesečníkom kužela s rovinou rovnobežnou s jeho tvorbou. Excentricita je $e = 1$.

2. Pohyb nebeských telies

Hyperbola – otvorená krivka, ktorá pozostáva z dvoch vetiev, má dve ohniská a dve asymptoty. Je to pričný rez dvoma rukávmi kužeľa s rovinou, ktorá nie je rovnobežná s jeho vytvorením. Excentricita je > 1 .



Obrázok 16: Excentricita rôznych kuželosečiek

(zdroj: By Ag2gaeh – Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=56338953>)

Excentricita Charakteristickým parametrom spoločným pre všetky sekcie je **excentricita** (e). Môže sa to prijať ako **mierka toho, aká veľká je odchýlka kuželosečky od kruhu**. Potom pre kružnicu je excentricita nula (t. j. žiadna odchýlka); v prípade elipsy bude väčšia ako 0, ale menšia ako 1 (presný vzorec); pre parabolu to bude presne 1; pre hyperbolu to bude väčšie ako 1 (Obr. 16).

Rovnice kuželosečiek: Kružnica: $x^2 + y^2 = a^2$

Elipsa: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

Parabola: $y^2 = 4ax$ or $x^2 = 4ay$

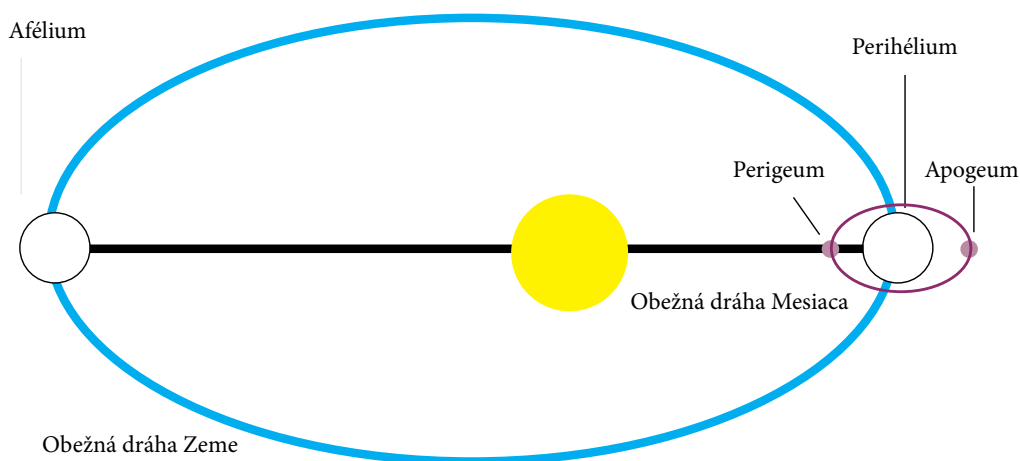
Hyperbola: $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ or $\frac{x^2}{b^2} - \frac{y^2}{a^2} = -1$

Excentricita je: $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$

2.2 Použitie kuželosečiek v astronómii. Obežné dráhy. Elementy dráhy (prvky obežnej dráhy)

V astronómii sa kuželosečky používajú na opis dráh nebeských telies. **Obežná dráha nebeského telesa sa nazýva trajektória, ktorú popisuje pri gravitačnom pohybe okolo iného nebeského objektu (Obr. 17).**

V planetárnom systéme všetky telesá (planéty, trpasličie planéty, kométy, asteroidy atď.), ktoré sú gravitačne spojené, majú eliptické obežné dráhy, pričom sa v jednom ohnisku (rovnakom pre všetky telesá) nachádza centrálna hviezda. Podobne satelity (prírodné a umelé) majú eliptické obežné dráhy okolo svojej materskej planéty (Obr. 17).



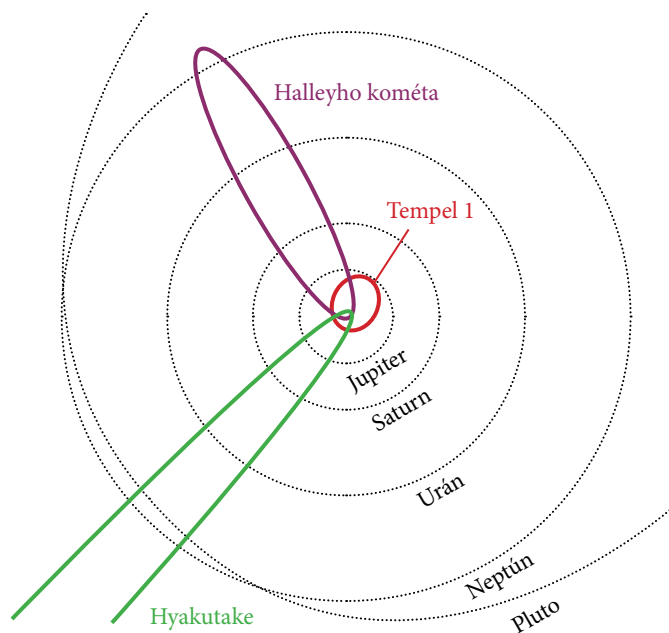
Obrázok 17: Obežná dráha Zeme okolo Slnka a obežná dráha Mesiaca okolo Zeme

(zdroj: NOAA (<https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-orbit-58.html>))

Bod z obežnej dráhy, v ktorom je satelit najbližšie k Zemi, sa nazýva **perigeum** a bod, v ktorom je satelit najviac vzdialený, sa nazýva **apogeum**. Ak ide o pohyb planéty okolo Slnka, ide o body, ktoré sa nazývajú perihélium a afélium (Obr. 4); v prípade systému dvoch hviezd sa nazývajú **periapsida** a **apoapsida**, a vo všeobecnosti sa nazývajú **pericentrum** a **apocentrum**.

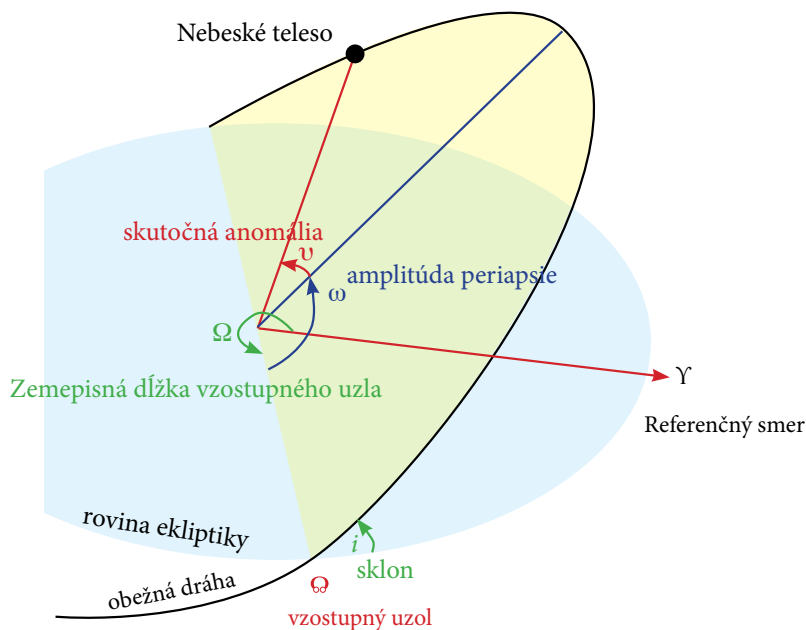
Obežné dráhy planét v našej Slnečnej sústave sú elipsy s malou excentricitou (t. j. sú blízko ku kruhovým elipsám), pričom najväčšia je excentricita obežnej dráhy planéty Merkúr ($e = 0,206$) a najmenšia je excentricita obežnej dráhy planéty Venuša ($e = 0,007$). Naopak, kométy majú vysoko excentrické obežné dráhy (Obr. 5)

2. Pohyb nebeských telies



Obrázok 18: Porovnanie obežných dráh planét Jupiter, Saturn, Urán a Neptún s obežnou dráhou Halleyho kométy, Tempel 1 a Hyakutake. Je vidieť, že obežné dráhy týchto komét majú omnoho sploštenejšie elipsy, t. j. majú oveľa väčšiu excentricitu.
(zdroj: <http://deepimpact.umd.edu/gallery/orbits3.html> CREDIT: Tony Farnham)

Pre každú obežnú dráhu existuje súbor parametrov, ktoré definujú jej typ, rozmery, orientáciu vo vzťahu k pevnej rovine atď., ktorý ako celok nazývame **elementy dráhy**. Pri štúdiu pohybov telies v Slnčnej sústave sa za hlavnú rovinu považuje rovina zemskej obežnej dráhy nazývaná **ekliptika** (na modrej strane modrej farby). (Obr. 6).

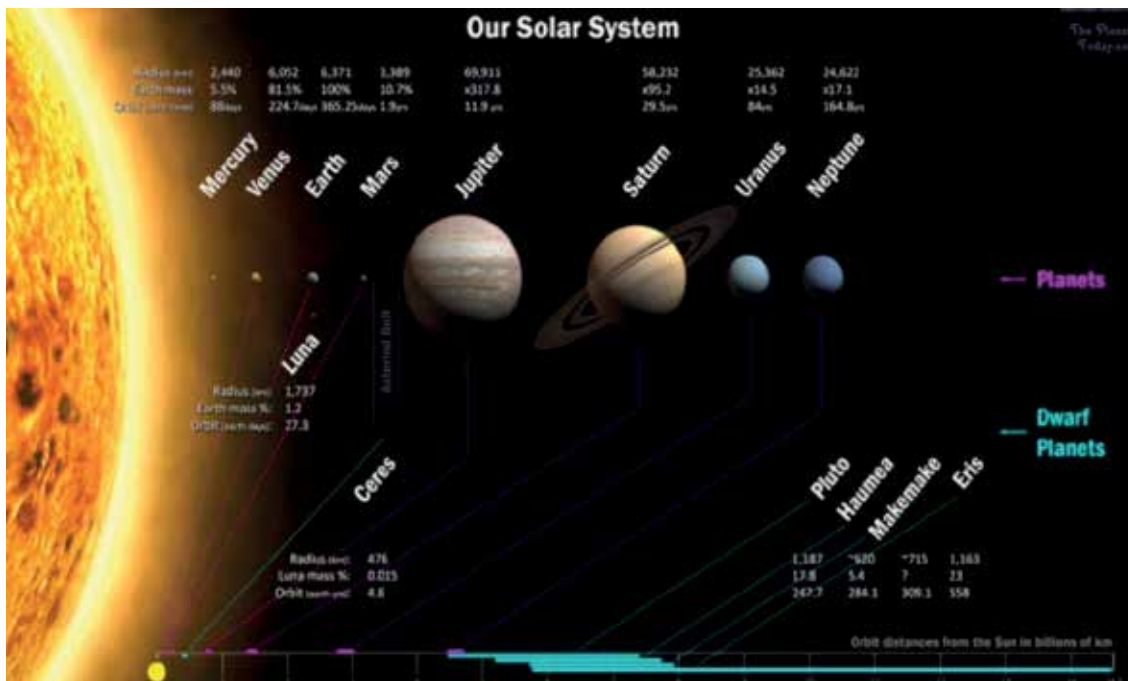


Obrázok 19: Dráhové elementy (prvky obežnej dráhy). Rovina obežnej dráhy je označená žltou farbou a rovina ekliptiky – modrou.
(zdroj: Lasunncty at the English Wikipedia, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8971052>)

V prípade eliptickej obežnej dráhy jej hlavnými elementmi sú:

- **veľká polos (a)** – polovica veľkej osi prechádzajúca stredom a dvoma ohniskami elipsy (Obr. 2); podľa tretieho Keplerovho zákona veľká polos jednoznačne určuje obežnú dobu (čas potrebný, kým nebeský objekt vykoná jeden obeh okolo materského telesa). Veľkosť veľkej polosi určuje aj ako ďaleko sú planéty a ďalšie telesá od Slnčnej sústavy. Schematické usporiadanie je znázornené na Obr. 7,
- **excentricita orbity (e)**, ktorá spolu s veľkou polosou určuje rozmery a tvar obežnej dráhy (orbity),
- **sklon obežnej dráhy (i)** je uhol medzi orbitálnou rovinou a ekliptikou (Obrázok 6). Väčšina planét zo Slnčnej sústavy má veľmi malý sklon (pre Zem je to samozrejme nula) – medzi 0,8 stupňov (Urán) a 7 stupňov (Merkúr). Ilustrácia je znázornená na Obr. 8. Oveľa väčšie sú sklony väčšiny trpasličích planét a komét (napríklad obežná dráha Pluta má sklon 17 stupňov a sklon Erida je 43 stupňov).

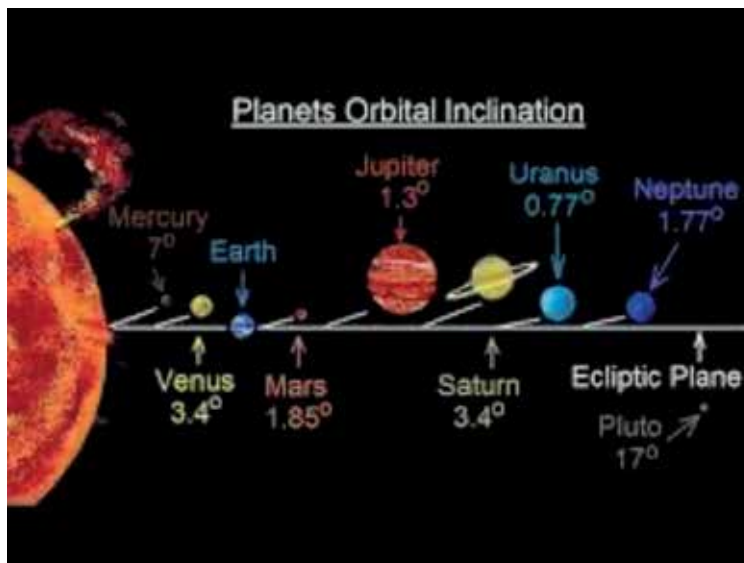
Elementy eliptickej obežnej dráhy



Obrázok 20: Mapa Slnčnej sústavy. Vzďialenosť danej planéty alebo telesa od Slnka závisí od dĺžky veľkej polosi obežnej dráhy planéty alebo telesa.

Okrem vyššie uvedených troch, **sú tu ďalšie tri elementy**, ktoré pomáhajú určiť priestorovú polohu obežnej dráhy vo vzťahu k ekliptike, orientáciu obežnej dráhy v jej vlastnej rovine a priechod telesa cez perihélium a afélium. **Ak teda poznáme všetky elementy dráhy (prvky obežnej dráhy), môžeme kedykoľvek zistiť polohu daného nebeského objektu.** Alebo naopak, dostatočne dlhými a presnými pozorovaniami nebeského objektu, môžeme získať elementy jeho obežnej dráhy.

2. Pohyb nebeských telies



Obrázok 21: Sklon obežných dráh planét Slnecnej sústavy. Na porovnanie je tiež uvedená planeta Pluto.

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY A TESTY PRE ŽIAKOV

3.1 Kužeľosečky

Na ilustráciu použitia kužeľosečiek ponúkame 2 praktické cvičenia.

Prípravné otázky:

1. Aký je počet kužeľosečiek?
Odpoveď: Tri – elipsa, parabola, hyperbola, kružnica je špeciálnym prípadom elipsy.
Alternatívna odpoveď: Štyri – kružnica, elipsa, parabola, hyperbola.
2. Ktoré z kužeľosečiek NIE sú uzavretými krivkami?
Odpoveď: Parabola a hyperbola.
3. Elipsa má veľkú polos (a) a malú polos (b), pričom (a) je vždy väčšia ako (b). Na čo sa (a) a (b) vzťahujú, keď hovoríme o kružnici?
Odpoveď: Ide o to, že (a) sa presne rovná (b), a obe sú vlastne polomeri kružnice.
4. Aká je hodnota excentricity kružnice?
Odpoveď: Nula.
5. Aká je hodnota excentricity elipsy?
Odpoveď: Je väčšia ako 0, ale je menšia ako 1.
6. Čo sa stane s elipsou, keď zvýšime hodnotu jej excentricity?
Odpoveď: Stane sa sploštenejšou.
7. Čo sa stane s elipsou, keď sa jej excentricita bude rovnať 1?
Odpoveď: Elipsa sa roztrhne a stane sa parabolou.
8. Akú krivku dostaneme, ak zvýšime jej excentricitu a bude viac ako 1?
Odpoveď: Hyperbolu.
9. Aký je počet ohnisk elipsy a kde ležia?
Odpoveď: Dve ohniská; ležia na veľkej osi.

Úloha 1: Trojrozmerné znázornenie toho, ako sa získavajú rôzne druhy kužeľosečiek

Cieľ úlohy

Nechajte žiakov, aby si vlastnoručne vytvorili plastelínový kužeľ a z neho vyrezali kužeľosečky. Toto cvičenie je možné robiť samostatne alebo vo dvojiciach (aby si žiaci mohli navzájom pomáhať).

Pomôcky

- 1ks kartónu A5
- 1ks pauzovacieho papiera A5
- kružidlo
- ceruzka
- nožnice
- lepiaca páska
- mäkká plastelína (hlina)
- niť na čistenie zubov (asi 40 cm)

Metodické pokyny pre učiteľov

Z kartónu a pauzovacieho papiera treba vyrezať polkružnicu, z ktorej sa potom vytvorí dutý kužeľ vyplnený plastelínou. Pauzovací papier treba umiestniť na vnútornú stranu kartónu, aby sa mohol plastový kužeľ ľahšie vybrať bez toho, aby sa roztrhol kartónový obal. Po odstránení obalu žiaci majú pred sebou kužeľ, z ktorého môžu pomocou nite „vyrezať“ kužeľosečky. Bude veľmi ťažké vyrezať všetky kužeľosečky (najmä hyperbolu) jednu po druhej bez toho, aby sa aspoň raz obnovil kužeľ.

Pokyny pre žiakov

1. Nachádza sa v strede dlhej strany kartónu a pauzovacieho papiera, ktorú označujete. Toto bude stred polkružnice.
2. Kružidlo sa otvorí na 9 cm, jedno rameno sa umiestni na označený stred dlhej strany a nakreslí sa polkružnica (s polomerom 9 cm).
3. Kružnica sa vyreže a ohýba sa, až kým sa nevytvorí kužeľ. Kartónový kužeľ je z vonkajšej strany steny pripevnený pomocou lepiacej pásky. Z vnútornej strany sa umiestni pauzovací papier.
4. Vnútro kužeľa je vyplnený mäkkou plastelínou (hlinou). Cieľom je dobre vytvárať plastelínový (hlinený) kužeľ. Kartón a pauzovací papier sa odstránia. Plastelínový (hlinený) kužeľ zostal.
5. Najprv získame kružnicu. Niť sa uchopí oboma rukami a dobre sa napne. Priamka vytvorená niťou by mala byť rovnobežná s podstavou (kruhovou základňou) kužeľa. Až keď je niť dobre napnutá a rovnobežná s podstavou kužeľa, režete blízko jeho vrcholu. Výsledkom je kružnica.

6. Niť nakloňte pod nie príliš veľkým uhlom (rez niťou nesmie prechádzať cez podstavu kužeľa) a urobte rez pod už odrezaným vrcholom kužeľa. Mali by ste dostať elipsu.
7. Ak ste elipsu odrezali príliš nízko, teda blízko podstavy kužeľa, obnovte tvar kužeľa pomocou kartónu a pauzovacieho papiera.
8. Zväčšite sklon nite tak, aby niť bola rovnobežná s tvoriacou priamkou kužeľa a rez prechádzal cez podstavu kužeľa. Takto urobíte parabolu.
9. Ak chcete získať hyperbolu, niť nakloňte takmer zvislo, ale dávajte pozor, aby rez neprešiel cez vrchol kužeľa.

Otázky (na ktoré majú žiaci odpovedať až po skončení cvičenia)

1. Ktorá kuželosečka je kolmá na os kužeľa?
Odpoveď: Kružnica.
2. Ktorá kuželosečka je rovnobežná na tvoriacu priamku kužeľa?
Odpoveď: Parabola.
3. Ako môžete získať kružnice rôznych veľkostí?
Odpoveď: Odrezaním kužeľa v rôznych vzdialenostiach od jeho vrcholu (podstavy).
4. Ktorá kružnica má najväčší polomer v priamom kuželi?
Odpoveď: Jeho podstava (základňa).

Úloha 2: Kreslenie kuželosečiek pomocou špendlíkov a nite

Cieľ úlohy

Žiaci majú samostatne nakresliť svoje kuželosečky, pričom sa pri kružnici a elipse pracuje individuálne, ale parabola musí byť nakreslená vo dvojiciach.

Pomôcky

- milimetrový papier (veľkosť A4)
- dva väčšie špendlíky (napríklad také, ktoré sa môžu použiť na korkové dosky)
- podložka, na ktorú sa dá položiť papier a zapichnúť špendlíky
- ceruzky (4 farby)
- pravítko
- trojuholník
- dve hrubšie nite, jedna s dĺžkou asi 35 – 40 cm, druhá s dĺžkou najmenej 2 m

2. Pohyb nebeských telies

Metodické pokyny pre učiteľov

Pomocou vyššie uvedených materiálov žiaci môžu postupne nakresliť svoje kuželosečky. Kuželosečky rôznych parametrov môžu byť znázornené zmenou vzdialenosti medzi špendlíkmi alebo dĺžky nite.

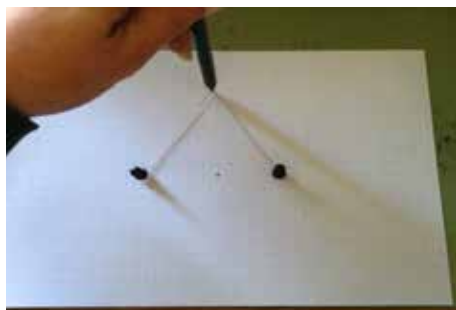
Pokyny pre žiakov

Ako nakresliť kružnicu:

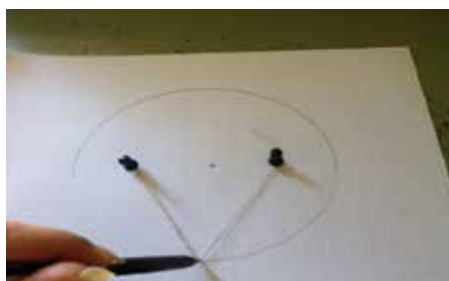
1. Milimetrový papier položte na kartón.



2. Špendlík zapichnete do stredu milimetrového papiera.
3. Niť s dĺžkou asi 35 – 40 cm zložíme na dve a urobíme uzol tak, aby sme dostali dvojité niť dlhú cca 15 – 18 cm.



4. Jeden koniec nite omotáme okolo špendlíka a druhý okolo ceruzky tak, ako je to znázornené na obrázku.
5. Niť dobre utiahneme a ceruzkou začneme okolo špendlíka hýbať tak, aby bola niť stále napnutá.
6. Po dokončení plného kruhu okolo špendlíka uvidíme, že sme nakreslili kružnicu.
7. Ak zmeníte dĺžku nite, môžete získať kružnice rôznych veľkostí.



Ako nakresliť elipsu:

1. Na milimetrovom papieri pomocou pravítka pozdĺž dlhej strany papiera odmeriame 5 cm od toho bodu (stred elipsy), kde bol zapichnutý špendlík z predchádzajúcej úlohy, a takto určené dva body vyznačíme ceruzkou.
2. Do týchto dvoch bodov napichneme špendlíky.
3. Niť otočíme okolo dvoch špendlíkov a pomocou ceruzky ju pritiahneme k hornej časti papiera tak, ako je to znázornené na obrázku, panel 1.
4. Udržiavajúc niť napnutú posúvame ceruzku najprv doľava, až kým nebude na úrovni prvého špendlíka, a potom doprava, až kým nebude na úrovni druhého špendlíka. Nakreslili sme polovicu elipsy (panel 2).
5. Ak chceme nakresliť druhú polovicu elipsy, urobíme to tak, že pomocou ceruzky obťahujeme niť až na spodnú časť papiera a znova posúvame ceruzku doľava a doprava. Niť dobre utiahneme a ceruzkou začneme okolo špendlíka hýbať tak, aby bola niť stále napnutá (panel 3).
6. Zopakujte vyššie uvedené kroky, ale špendlíky posuňte o ďalšie 2 cm smerom od stredu von. Je vhodné použiť ceruzku inej farby.
7. Vráťte špendlíky tak, aby boli 5 cm od stredu, skráťte dĺžku nite o asi 1 cm a nakreslite elipsu. Je vhodné použiť ceruzku inej farby.

Kreslenie paraboly pomocou nite a špendlíka:

1. Do stredu milimetrového papiera zapichnete ceruzku.
2. Zaviažte koniec nite, ktorá je dlhá najmenej 2 metre. Jeden koniec nite prehodte okolo špendlíka. Druhý koniec drží váš spolužiak, ktorý sa už posunul tak ďaleko, že niť je takmer úplne napnutá.
3. Vložte ceruzku z vnútornej strany nite, blízko konca papiera a napnite niť. Kreslite smerom k niti aj z druhej strany až ku konci papiera (pozri obrázok). Mali by ste získať parabolu.



(zdroj: <https://hollymath.com/2014/05/14/drawing-conic-sections-with-push-pin-and-string/>)

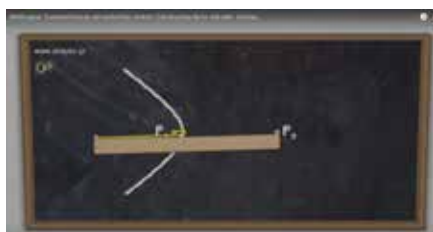
2. Pohyb nebeských telies

Kreslenie hyperboly pomocou nite a špendlíka:

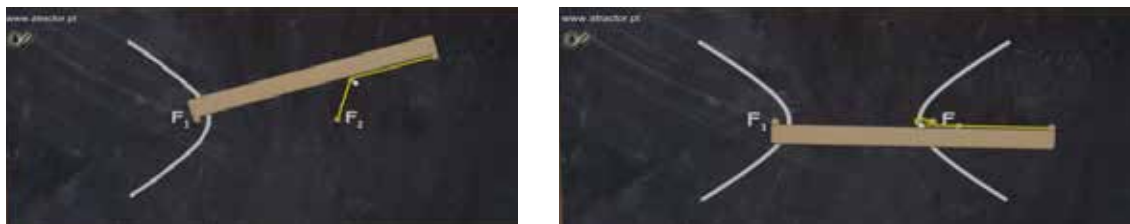
1. Označte dva body na milimetrovom papieri (napríklad každý bude vo vzdialenosti 5 cm od stredu hárku). Pomenujte ich F_1 a F_2 .
2. Lepiacou páskou pevne pripevnite jeden koniec nite o dĺžku cca 10 cm k jednému koncu pravítka.
3. Na druhý koniec pravítka (kolmo na pravítko) dajte lepiacu pásku tak, aby kúsok z nej vytrčal.
4. Lepiacu pásku, ktorá vytrča z pravítka, pripevnite špendlíkom k F_2 .
5. Voľný koniec nite pripevnite špendlíkom k F_1 a pravítko umiestnite tak, aby bola nad ohniskom F_1 (ako je to znázornené na obrázku – panel 1).
6. Vložte ceruzku do vnútornej časti nite, následne začnite posúvať ceruzku smerom ku koncu pravítka, v ktorom je niť uchopená, a potom ceruzku posúvate smerom nadol k ohnisku (F_1) až kým pravítko nedosiahne špendlík v ohnisku F_1 . Niť by mala byť vždy obtiahnutá (pozri obrázok, panel 2 a 3). Takto sme nakreslili polovicu jedného ramena hyperboly.



7. Zrkadlovo otočíme pravítko tak, aby bol pohyb jedného jeho konca opäť zastavený v bode F_2 , ale tentoraz na spodnej strane F_2 a druhý koniec (ten s niťou) na spodnej strane F_1 . Opakujeme pohyby ceruzky z bodu 4.6 (zobrazené na paneli 4 obrázka), kým nenakreslíme druhú polovicu tohto ramena (okolo ohniska F_1 , pozri panel 5).



8. Otočením pravítka tak, aby sme špendlíkom zastavili pohyb konca pravítka bez nite v bode F_1 , nakreslíme aj ďalšie rameno hyperboly tak, ako je opísané vyššie (okolo ohniska F_2 , pozri panely 6 a 7).



(zdroj: https://www.youtube.com/watch?v=mldZ_7QwLvs)

Otázky (na ktoré majú žiaci odpovedať až po skončení cvičenia):

1. Ako sa nazývajú body, do ktorých ste umiestnili špendlíky, aby sme nakreslili elipsu?
Odpoveď: Ohniská elipsy.
2. Ako sa nazýva počiatkový bod, od ktorého ste z oboch strán napichli špendlíky?
Odpoveď: Stred elipsy.
3. Ako sa nazýva priamka, ktorá prechádza cez stred a obe ohniská elipsy?
Odpoveď: Veľká os elipsy.
4. Aký sa nazýva priamka, ktorá prechádza stredom elipsy a je kolmá na veľkú os?
Odpoveď: Malá os elipsy.
5. Ktorý parameter elipsy je spojený s jej sploštenosťou?
Odpoveď: Excentricita.
6. Čo sa zmenilo a čo sa nezmenilo, keď ste presunuli ohniská ďalej od stredy?
Odpoveď: Elipsa sa sploštila (excentricita sa zvýšila), menšia os sa skrátila. Veľkosť veľkej osi sa nezmenila.
7. Čo sa zmenilo a čo sa nezmenilo, keď ste skrátili niť v porovnaní s prvou elipsou?
Odpoveď: Rozmery dvoch osí elipsy sa zmenili. Excentricita sa nezmenila.

3.2 Obežné dráhy. Elementy dráhy (prvky obežnej dráhy)

Ponúkame cvičenia na ilustráciu obežných dráh a základných elementov dráhy.

Prípravné otázky

1. Aký tvar majú dráhy planét v Slnecnej sústave?
Odpoveď: Elipsy.
2. Aký tvar majú dráhy komét v Slnecnej sústave?
Odpoveď: Elipsy.
3. Aký je rozdiel medzi obežnými dráhami planét a komét?
Odpoveď: Excentricita obežnej dráhy. Pre kométy excentricita je väčšia, t. j. elipsy sú roztiahnutejšie.
4. Aký tvar majú obežné dráhy planét, ktoré obiehajú iné hviezdy?
Odpoveď: Elipsy.
5. Máme v Slnecnej sústave obežné dráhy nebeských telies, ktoré NELEŽIA v rovine ekliptiky? Ktoré?
Odpoveď: Prakticky všetky okrem Zeme. Aj keď sú malé, sklony ich obežných dráh sa líšia od nuly.
6. Uveďte príklady obežných dráh nebeských telies, ktoré majú väčšie sklony.
Odpoveď: Pluto, Erida a veľa ďalších trpasličích planét a komét.

Úloha 1: Kreslenie obežných dráh

Cieľ úlohy

Preukázať rozdiel v obežných dráhach v závislosti od elementov dráhy.

Pomôcky

- milimetrový papier (veľkosť A4)
- dva väčšie špendlíky (napríklad také, ktoré sa dajú použiť na korkovú dosku)
- podložka, na ktorú sa dá položiť papier a zapichnúť špendlíky
- ceruzky (4 farby)
- pravítko
- trojuholník
- hrubšia niť dlhá najmenej 45 – 50 cm

Metodické pokyny pre učiteľov

Zmenou vzdialeností medzi ohniskami a dĺžkou nite je potrebné nakresliť niekoľko rôznych obežných dráh a určiť, resp. porovnať ich veľké polosí a excentricity.

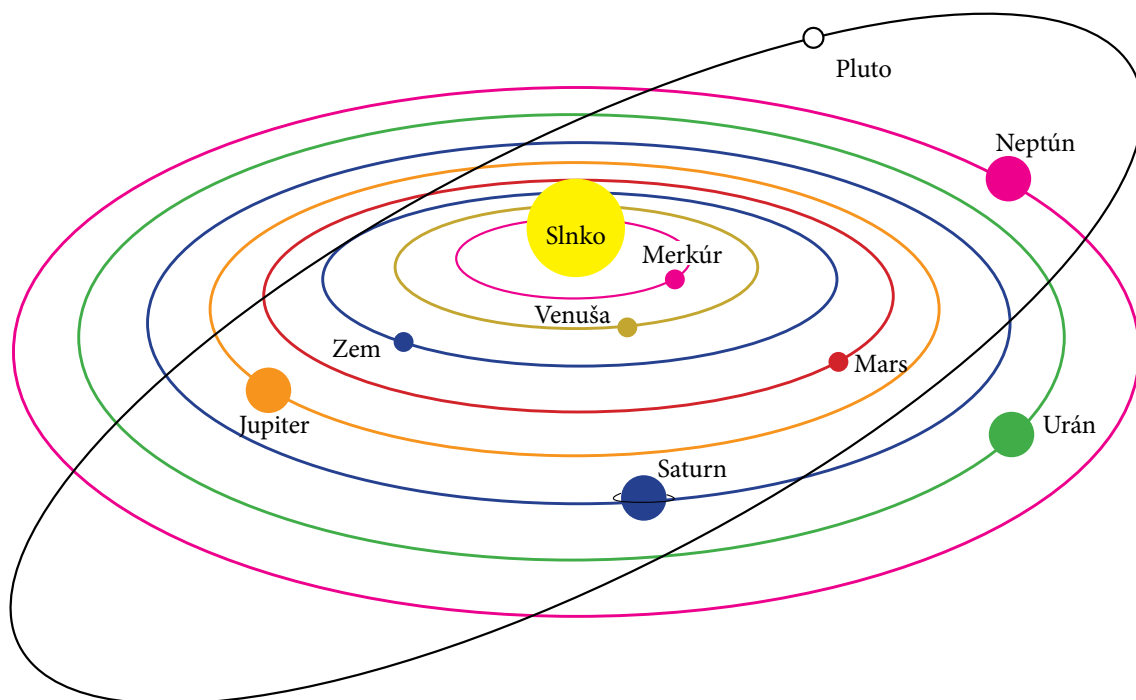
Pokyny pre žiakov

1. Položte hárok milimetrového papiera na mäkkú podložku.
2. Zapichnete jeden špendlík do stredu papiera. Tento bod označte písmenom C.
3. Odrežte niť s dĺžkou 17 cm a urobte uzlík na jednom konci.
4. Vo vzdialenosti 2,5 cm vľavo a vpravo od bodu C zapichnete ďalšie dva špendlíky (už ste odstránili špendlík z bodu C.) Označte písmenom F1 bod, kde ste zapichneti špendlík vpravo od C, a písmenom F2 bod so špendlíkom vľavo od C.
5. Prehodte kratší koniec nite okolo dvoch špendlíkov a nakreslite elipsu.
6. Prehodte kratší koniec nite okolo dvoch špendlíkov a nakreslite druhú elipsu (v inej farbe).
7. Posuňte špendlíky o 1 cm ďalej – doľava a doprava od C. Pomocou dlhšej časti nite nakreslite tretiu elipsu v tretej farbe a pomocou kratšej časti nite nakreslite štvrtú elipsu v štvrtej farbe.
8. Porovnajte získané elipsy. Ktoré parametre sa líšia?
9. Vypočítajte excentricity elíps podľa vzorca $e = c/a$, kde c je vzdialenosť od stredu ku ktorémukoľvek z ohnísk, a a je veľká polos. Porovnajte ich.
10. Predpokladajme, že ide o obežné dráhy nebeských telies zo Slnčnej sústavy, pričom samotné Slnko sa nachádza v bode F1. Na jednej z obežnej dráh vyznačte perihélium a afélium nebeského telesa.

Úloha 2: Elementy dráhy

Obrázok nižšie zobrazuje obežnú dráhu planét zo Slnčnej sústavy a Pluta. Predpokladajme, že obežné dráhy planét ležia prakticky v rovine ekliptiky. A čo obežná dráha Pluta – leží v tej istej rovine? Aký je názov elementu dráhy, ktorý odráža polohu obežnej dráhy daného nebeského telesa zo Slnčnej sústavy vzhľadom na ekliptiku? Nakreslite ho na obežnú dráhu Pluta na obrázku.

2. Pohyb nebeských telies



(zdroj: <http://www.rfcafe.com/references/general/solar-system.htm>)

Otázky (na ktoré majú žiaci odpovedať až po skončení cvičenia):

1. Ktorý prvok obežnej dráhy určuje poradie planét vo vzťahu k ich vzdialenosti od Slnka? Ako?

Odpoveď: Veľká polos. Čím je veľká polos väčšia, tým vzdialenejšia je daná planéta od Slnka.

2. Ktorý parameter určuje, ktoré obežné dráhy majú tvar dlhších elíps a ktoré už pripomínajú kružnice? Ako?

Odpoveď: Excentricita. Čím je excentricita väčšia, tým sploštenejšia je obežná dráha.

3. Aký je sklon obežnej dráhy Zeme?

Odpoveď: Nula.

NEWTONOV GRAVITAČNÝ ZÁKON, TRETIA KOZMICKÁ RÝCHLOSŤ, HMOTNOSŤ, TIAŽ

1. ÚVOD

Johannes Kepler na základe pozorovacích údajov zdefinoval zákony o pohybe planét Slnecnej sústavy. Jeho model však nevysvetľoval, prečo sa planéty pohybujú presne takýmto spôsobom. To urobil až Sir Isaac Newton koncom 17. storočia prostredníctvom **Gravitačného zákona**. Toto je zákon o novej sile – o **gravitácii**, ktorá nielen vysvetľuje pohyby nebeských telies, ale tiež spôsobuje, že telesá padajú na povrch Zeme.

1.1 Obsah témy

V časti tejto témy pre učiteľov najskôr popíšeme Newtonov gravitačný zákon, ako tento zákon spolu s ďalšími Newtonovskými zákonmi o pohybe zhrnie Keplerove zákony, ako sú definované vesmírne rýchlosti a aký je ich význam. Nakoniec sa pozrieme na **pojmy** „**hmotnosť**“ a „**tiaž**“ a na rozdiel medzi nimi. V časti praktických cvičení pre žiakov ponúkneme niekoľko zaujímavých praktických cvičení a otázok, ktoré sú určené na ilustráciu študijného materiálu a na jeho lepšie porozumenie.

1.2 Kľúčové slová

gravitácia

gravitačné zrýchlenie

kozmickej rýchlosti

hmotnosť

tiaž

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

2.1 Newtonov gravitačný zákon

Pozrime sa na systém Zem – Slnko. Podľa Newtonovho gravitačného zákona, Zem pociťuje tzv. gravitačnú silu alebo príťažlivosť, ktorá je úmerná súčinu hmotností Zeme a Slnka a nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti medzi Zemou a Slnkom.

$F = G (m_1 M_2 / d^2)$, kde G je gravitačná konštanta ($G = 6,673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$), m_1 – hmotnosť Zeme, M_2 – hmotnosť Slnka, d – vzdialenosť medzi stredom Zeme a stredom Slnkom.

Interaktívne predstavenie o sile gravitačnej príťažlivosti medzi danou planétou a jej mesiacom si môžete pozrieť tu: <https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Circular-and-Satellite-Motion/Gravitational-Fields/Gravitational-Fields-Interactive>.

Spočiatku Newton predstavil tento zákon takto: Sila, ktorá núti planéty pohybovať sa v eliptických obežných dráhach okolo Slnka, je k nemu vždy nasmerovaná (t. j. je to centrálna sila) a je nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti medzi planétou a Slnkom. Neskôr zhrňa tento zákon takto: **Dva hmotné body sú navzájom priťahované gravitačnou silou smerujúcou pozdĺž priamky, ktorá pretína tieto dva body, úmerné súčtu ich hmotností a nepriamo úmerné druhej mocnine vzdialenosti medzi nimi.**

Pretože gravitačná sila vždy smeruje pozdĺž línie spájajúcej tieto dve telesá, môžeme aplikovať gravitačný zákon aj na teleso padajúce na zemský povrch. Potom v rovnici gravitačnej sily bude m_1 hmotnosť telesa, M_2 bude hmotnosť Zeme a d bude polomer Zeme. Ale podľa Newtonovho zákona pohybu sa sila rovná hmotnosti vynásobenej zrýchlením:

$$m_1 a = G (m_1 M_2 / d^2).$$

Potom môžeme vyjadriť zrýchlenie padajúceho telesa:

$$a = G M_2 / d^2 = g,$$

kde g predstavuje zrýchlenie Zeme (tiež gravitačné zrýchlenie alebo zrýchlenie počas voľného pádu), rovná sa $9,8 \text{ m/s}^2$ (približne) a vzťahuje sa na gravitačnú silu, ktorú všetky telesá pociťujú v blízkosti zemského povrchu.

Newtonove zákony o gravitácii a zrýchlení sa dajú použiť aj na zhrnutie Keplerových zákonov:

1. Obežné dráhy dvoch telies pohybujúcich sa okolo spoločného centra hmoty pod vplyvom vzájomnej príťažlivosti (gravitácie) budú vždy opisovať jednu z kužeľových sekcií, t. j. elipsu, parabolu alebo hyperbolu.

2. Čiara spájajúca tieto dve telesá opíše rovnaké plochy/oblasti v rovnakých časových intervaloch. Tento zákon predpokladá, že sa telesá budú pohybovať rýchlejšie na svojich dráhach, keď je vzdialenosť do centra hmotností menšia, a naopak – pomalšie, keď je táto vzdialenosť väčšia.
3. Tento zákon sa vzťahuje aj na relatívnu obežnú dráhu jedného telesa okolo druhého. Potom sa súčet hmotností oboch telies vynásobené druhou mocninou orbitálneho obdobia pohybujúceho sa telesa rovná hlavnej polosi obežnej dráhy vynásobené tretou mocninou: $(m^1 + m^2) P^2 = a^3$. **Tento druh zákona je veľmi užitočný pri výpočte hmotností hviezd.**

2.2 Kozmické rýchlosti. Keplerov pohyb

Pozrime sa znova na pohyb na rôznych druhoch obežných dráh. Predstavme si, že vystrelíme umelý satelit zo Zeme. Typ a veľkosť obežnej dráhy satelitu bude závisieť od jeho počiatocnej rýchlosti (tu zanedbáme jeho hmotnosť, pretože je zanedbateľná v porovnaní s hmotnosťou Zeme). Ak je príliš nízka, satelit začne opisovať eliptickú obežnú dráhu, jej veľkosť však bude nedostatočná a zrúti sa na zemský povrch. Ak zvýšime rýchlosť, kým nedosiahne špeciálnu hodnotu, ktorá sa nazýva aj **kruhovú rýchlosť** $v = (GM/r)^{1/2}$ (**M je hmotnosť Zeme**), potom sa satelit bude pohybovať v kruhovej obežnej dráhe okolo Zeme, pričom polomer obežnej dráhy bude r (vypočítané zo stredu Zeme) a excentricita bude nula.

Ak zvýšime rýchlosť tak, aby presiahla kruhovú rýchlosť, satelit sa bude pohybovať na eliptickej obežnej dráhe, a v jednom z jej fókusov bude na Zemi. Čím viac budeme rýchlosť zvyšovať, tým viac sa bude zvyšovať aj excentricita obežnej dráhy, kým nebude dosiahnutá tzv. **kritická rýchlosť** $v = (2GM/r)^{1/2}$, pri ktorej sa eliptická obežná dráha „zlomí“ a stane sa parabolou. Ak budeme aj naďalej zvyšovať rýchlosť, obežná dráha sa stane hyperbolou, pričom čím väčšia bude táto rýchlosť v porovnaní s parabolickou rýchlosťou, tým „otvorejšími“ budú „krídla“ hyperboly.

Vo všetkých vyššie uvedených prípadoch je rýchlosť vždy nepriamo úmerná ku koreňu diaľky. Pohyb rýchlosťou podľa tohto zákona sa nazýva **Keplerov pohyb**.

Ak uplatníme túto závislosť na planéty zo Slnčnej sústavy, uvidíme, že čím ďalej je daná planéta od stredu Slnka, tým nižšia je jej orbitálna rýchlosť. Potom bude mať Merkúr najvyššiu orbitálnu rýchlosť (v priemere cca 47 km/s, resp. jedno orbitálne obdobie trvá takmer 88 dní) a Neptún najnižšiu (v priemere cca 5,5 km/s, resp. jedno orbitálne obdobie trvá približne 165 rokov).

Kozmické
rýchlosti

Podme sa ale v krátkosti vrátiť k nášmu satelitu. Ak je jeho obežná dráha eliptická, je gravitačne spojený so Zemou, a rýchlosť potrebnú na dosiahnutie takej obežnej dráhy označujeme pojmom „**prvá kozmická rýchlosť**“ (nazýva sa tiež „kruhovú rýchlosť“ z ang. circular velocity).

Ak je obežná dráha parabolická alebo hyperbolická, náš satelit sa odtrhne od gravitačného poľa Zeme. Rýchlosť potrebná na to, aby sa jedno teleso odtrhlo od gravitačného

3. Newtonov gravitačný zákon

poľa iného telesa, sa nazýva „úniková rýchlosť“ (ang. escape velocity). Pre hviezdu alebo planétu sa **druhá kozmická rýchlosť dá vypočítať podľa vzorca $v = (2GM/r)^{1/2}$, to je rýchlosť potrebná na dosiahnutie parabolickej obežnej dráhy.** Všeobecne platí, že G je gravitačná konštanta, M je hmotnosť telesa, ktorého gravitačné pole objekt opúšťa, a r je vzdialenosť medzi objektom a ťažiskom hmotností. Pre povrch Zeme je druhá kozmická rýchlosť 11,2 km/s.

Tretia kozmická rýchlosť je rýchlosť potrebná na to, aby sa objekt odtrhol od gravitačného poľa Slnka. Je to opäť parabolická rýchlosť, ale so vzdialenosťou r rovnajúcou sa vzdialenosti Slnko – Zem.

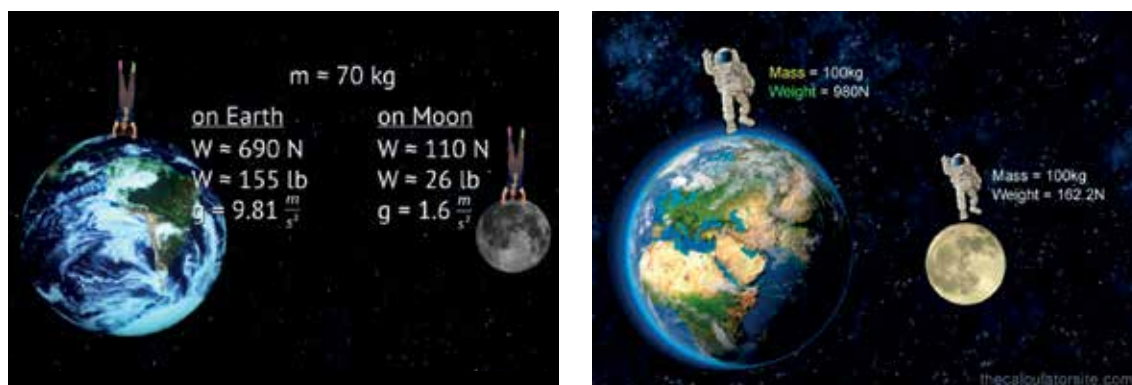
2.3 Hmotnosť a tiaž

Hmotnosť Hmotnosť je základnou vlastnosťou každého objektu a predstavuje množstvo hmoty obsiahnutej v objekte. Za normálnych podmienok je hmotnosť konštantná, nemenná veličina. Obvykle sa hmotnosť označuje písmenom m (alebo M) a meria sa v kilogramoch.

Tiaž Tiaž objektu je jednotkou pre gravitačnú silu. Je definovaná ako $w = mg$, kde m je hmotnosť objektu a g je gravitačné zrýchlenie. Pretože hmotnosť je jednotkou pre silu, mernou jednotkou hmotnosti je Newton ($1 \text{ N} = 1 \text{ m kg/s}^2$).

Aby bol rozdiel medzi hmotnosťou a tiažou jasnejší, poďme sa pozrieť na astronauta, ktorý smeruje na Mesiac. Keď bol astronaut stále na Zemi, jeho kolegovia zistili, že jeho hmotnosť bola 100 kg. Pri zemskom zrýchlení $9,8 \text{ m/s}^2$ bude tiaž astronauta 980 N. Po pristátí astronauta na Mesiac bude jeho hmotnosť stále 100 kg, ale pri gravitačnom zrýchlení na mesiaci $1,6 \text{ m/s}^2$ bude tiaž astronauta 162 N.

Ďalším významným rozdielom medzi tiažou a hmotnosťou je, že hmotnosť je tzv. skalárna veličina, pričom tiaž je vektor (to znamená, že hmotnosť má číselnú hodnotu, kým tiaž má číselnú hodnotu aj smer).



Obrázok 1: Voľný pád vs. beztiažový stav

Teraz vysvetlíme ďalšie dva bežne používané termíny – voľný pád a bezťažový stav. **Voľný pád je pohyb objektu JEDINE pod vplyvom gravitačnej sily.** T. j. pri voľnom páde objekt nie je ovplyvnený žiadnymi ďalšími, inými silami.

Voľný pád vs. bezťažový stav

Bezťažový stav je stav, pri ktorom objekt nie je ovplyvnený gravitačným poľom. To, čo bežní ľudia majú na mysli, keď hovoria o bezťažnosti (bezťažovom stave), je v skutočnosti pocit bezťažnosti a pozoruje sa počas voľného pádu. To, prečo je tomu tak je, že vtedy na ľudské telo nepôsobia žiadne ďalšie sily a ľudia majú pocit, že sú ľahší. V skutočnosti sa ich tiaž nezmenila, ale keďže gravitačnú silu necítiť tak silno ako tzv. kontaktné sily (normálna sila, trecia sila, ťahová sila a pod.), človek cíti tento pocit bezťažnosti.

Je bežnou mylnou predstavou, že astronauti na Medzinárodnej vesmírnej stanici sú v stave bezťažnosti, pretože tam necítia vplyv gravitácie alebo preto, že gravitačná sila je oveľa menšia. **Obe tvrdenia sú nesprávne** – gravitáciu cítiť tak, ako je tomu na povrchu, a gravitačné zrýchlenie na stanici je len o 10 % menšie ako gravitačné zrýchlenie na povrchu. Skutočný dôvod, prečo sa Medzinárodnej vesmírnej stanici pociťuje tzv. bezťažnosť je skutočnosť, že celá stanica, spolu s celým zariadením a astronautmi, je v stave voľného pádu. Padajú na Zem pod vplyvom gravitácie, ale nekolidujú s ňou, pretože ich tangenciálna rýchlosť im umožňuje zostať na obežnej dráhe, aj keď gravitačná sila ich priťahuje na Zem.

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY A TESTY PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Proporcionalita v Newtonovom gravitačnom zákone

Cieľ úlohy

Ilustrovať to, ako je gravitačná sila priamo úmerná súčinu hmotností dvoch telies a nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti medzi telesami. Toto cvičenie je možné vykonať samostatne alebo vo dvojiciach.

Metodické pokyny pre učiteľov

Vytlačiť Prílohu H1 a rozdať ju žiakom, ktorí v uvedených príkladoch majú vyplniť chýbajúce hodnoty F.

Pokyny pre žiakov

Na obrázku je graficky znázornená závislosť gravitačnej sily od hmotnosti telies a vzdialenosti medzi nimi. Dva z príkladov sú už vyriešené a ostatné musíte vyriešiť vy podobným spôsobom.

Úloha 2 a 3: Hmotnosť a tiaž

Cieľ úloh

Ukázať zmenu gravitačnej sily ako dôsledku zmeny vo vzdialenosti alebo v hmotnosti telies. Ukázať, že gravitačné zrýchlenie g je v skutočnosti rovnaké ako vzťah $(G M_{\text{Zeme}})/(R_{\text{Zeme}})^2$. Toto cvičenie sa robí samostatne. Diskusia o výsledkoch je spoločná.

Metodické pokyny pre učiteľov

V úlohe 2 je vo vzorci $F = G (m_1 M_2 / d^2)$ m_1 je hmotnosť žiaka, M_2 je hmotnosť Zeme a d je vzdialenosť od stredu Zeme k žiakovi, t. j. $6,38 \times 10^6$ m v podúlohe (a) a $6,39 \times 10^6$ m v podúlohe (b). Odpoveď (a) $F = 491,81$ N (alebo približne 492 N); (b) $F = 409,28$ N (alebo približne 490 N).

Diskutujte o malom rozdieli v sile na úrovni mora a v nadmorskej výške 10 km. Porovnajte s odpoveďou (a) z úlohy 3 a poznamenajte žiakom, že v skutočnosti je to $g = (G M_{\text{Zeme}})/(R_{\text{Zeme}})^2$.

Úloha 2

Určite gravitačnú silu medzi Zemou (hmota $M = 6 \times 10^{24}$ kg) a žiakom s hmotnosťou 50 kg, ktorý sa nachádza:

- na hladine mora (vo vzdialenosti $6,38 \times 10^6$ m od stredu Zeme);
- v lietadle v nadmorskej výške 10 000 m nad povrchom Zeme.

Pokyny pre žiakov:

Použite vzorec pre gravitačnú silu medzi dvoma telesami. Gravitačná konštanta je $G = 6,667 \times 10^{-11}$ N m²/kg².

Úloha 3

Určite gravitačnú silu, ktorá pôsobí:

- na žiaka s hmotnosťou 50 kg,
- na autobus s hmotnosťou 10 ton, pomocou zemského, resp. tiažového zrýchlenia g ($g = 9,8$ m/s²).

Riešenie:

- 490 N, b) 98 000 N.

Úloha 4

Vypočítajte tiaž jedného človeka s hmotnosťou 80 kg, ktorý sa nachádza na nebeských telesách Slnecnej sústavy uvedených v tabuľke.

Cieľ úlohy

Znázorniť rozdiel medzi hmotnosťou a tiažou. Ukázať, ako sa mení tiaž človeka (Pozor: hmotnosť sa nemení!) v závislosti od gravitačného zrýchlenia daného nebeského telesa (ktoré zase závisí od jeho hmotnosti a polomeru).

Metodické pokyny pre učiteľov

Tabuľka uvádza nebeské telesá Slnecnej sústavy a ich zrýchlenia. Žiaci majú vypočítať gravitačnú silu, ktorú každé teleso vyvíja na človeka, ktorá je vlastne jeho tiaž na príslušnom nebeskom telese. Úloha ukazuje rozdiel medzi hmotnosťou a tiažou. Zatiaľ čo hmotnosť posudzovaného človeka je vždy rovnaká, jeho tiaž sa mení v závislosti od toho, na akom nebeskom telese sa nachádza (aj akou gravitačnou silou ho toto nebeské teleso priťahuje). Alternatívny spôsob vysvetlenia rozdielu medzi hmotnosťou a tiažou je, že tiaž je určená

3. Newtonov gravitačný zákon

intenzitou gravitačnej sily, a ak na Zemi porovnáme dve telesá s rôznymi hmotnosťami (Úloha 3), tieto telesá sú priťahované rovnakou silou, takže teleso s väčšou hmotnosťou bude vážiť viac. Ale vo Vesmíre, kde je gravitačná príťažlivosť omnoho slabšia, telesá môžu byť takmer bez tiaže (t. j. s veľmi malou tiažou). Ale aj vo Vesmíre obsahujú telesá nejaký materiál, preto majú aj tiaž.

Tabuľka:

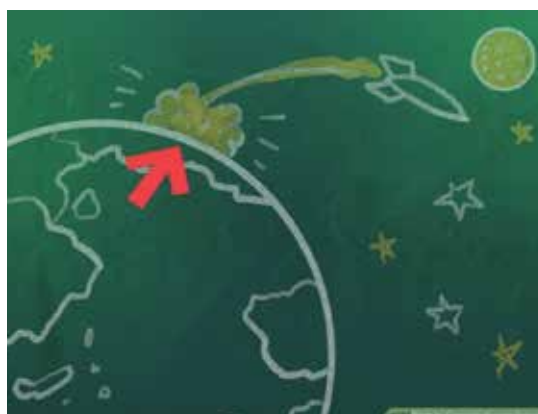
Meno	Hmotnosť (kg)	Polomer (km)	Gravitačné zrýchlenie (m/s ²)	Tiaž človeka (kg)
MESIAC	7.342×10^{22}	1 737	1,62	
MERKÚR	3.301×10^{23}	2 440	3,7	
VENUŠA	4.8675×10^{24}	6 052	8,87	
MARS	6.4171×10^{23}	3 390	3,72	
JUPITER	1.8982×10^{27}	69 911	24,79	
SATURN	5.6834×10^{26}	58 232	10,44	
URÁN	8.6810×10^{25}	25 362	8,87	
NEPTÚN	1.024×10^{26}	24 622	11,15	

Úloha 5: Druhá kozmická rýchlosť**Cieľ úlohy**

Žiaci pochopia, čo presne druhá vesmírna rýchlosť predstavuje.

Metodické pokyny pre učiteľov

Nižšie uvedené informácie by mali byť dôkladne vysvetlené.

Pokyny pre žiakov

Ak chcete presne zistiť, ako sa odvodzuje vzorec pre druhú vesmírnu rýchlosť, postupujte nasledovne:

- 1. Definujte druhú kozmickú rýchlosť:** Je to rýchlosť, ktorú objekt potrebuje, aby prekonal gravitačnú silu planéty, na ktorej sa objekt nachádza, aby „unikol“ do Vesmíru. Väčšie planéty majú väčšie hmotnosti a vyžadujú teda vyššiu druhú kozmickú rýchlosť na opustenie ako menšie planéty s menšou hmotnosťou.
- 2. Zákon zachovania energie** hovorí, že v izolovanej fyzikálnej sústave je celková energia nemenná. Zoberme si teda jeden systém, napríklad systém „Zem – raketa“ a považujme ho za izolovaný. Potom v Zákone zachovania energie prirovnáme počiatočné (označené indexom 1) a konečné (označené indexom 2) energie s potenciálnymi (U) a kinetickými (K) energiami:

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

- 3. Definujeme potenciálnu a kinetickú energiu.** Kinetická energia je energia pohybu a je $K = (\frac{1}{2}) mv^2$, kde m je hmotnosť rakety a v je jej rýchlosť. Potenciálna energia je energia vyplývajúca z umiestnenia objektu vo vzťahu k iným objektom v systéme. Vo fyzike je potenciálna energia, ktorá sa nachádza na nekonečne veľkej vzdialenosti od Zeme, obvykle nulová. Pretože gravitačná sila je silou gravitácie, potenciálna energia rakety bude vždy negatívna a približovaním sa rakety k Zemi sa bude znižovať. Potom môže byť potenciálna energia systému „Zem – raketa“ zapísaná takto:

$$- (GMm)/r,$$

kde G je univerzálna gravitačná konštanta, M je hmotnosť Zeme, m je hmotnosť rakety a r je vzdialenosť medzi stredmi týchto dvoch hmotností.

- 4. Tieto cvičenia nahradíme v Zákone zachovania energie.** Keď raketa získa minimálnu rýchlosť potrebnú na prekonanie gravitačného poľa Zeme, v jednom bode sa spomalí a zastaví na nekonečno (okolo Zeme). Takže $K_2 = 0$. Potom raketa nebude pociťovať gravitáciu Zeme a už nikdy „na Zem“ nepadne, takže aj $U_2 = 0$. Potom:

$$(\frac{1}{2}) m v^2 - (GMm)/r = 0$$

- 5. Vyššie uvedenú rovnicu vyriešime aj pre v :**

$$(\frac{1}{2}) m v^2 = (GMm)/r$$

$$v^2 = (2GM)/r$$

$$v = [(2GM)/r]^{1/2}.$$

Toto je druhá kozmická rýchlosť, alebo v tomto prípade – minimálna požadovaná rýchlosť rakety na prekonanie gravitačného poľa Zeme a vzlietnutia do Vesmíru.

Úloha 6: Výpočet druhej kozmickej rýchlosti pre vesmírne telesá s rôznymi hmotnosťami

Cieľ úlohy

Získať druhé kozmické rýchlosti pre nebeské telesá s rôznymi hmotnosťami a získať predstavu o rozsahu týchto rýchlostí.

Metodické pokyny pre učiteľov

Na základe údajov o polomeroch a hmotnostiach rôznych planét (a ich satelitov) zo Slnčnej sústavy, ako aj samotného Slnka a ďalších výrazne hmotnejších alebo menej hmotných hviezd (ktoré sa dajú zistiť na Wikipédii), žiaci majú vypočítať druhé kozmické rýchlosti týchto telies. Je potrebné usporiadať tieto rýchlosti v zostupnom poradí, ktoré žiakom pomôže získať predstavu o rozsahu rýchlostí (teda to, že menej hmotné telesá vyžadujú nižšiu rýchlosť potrebnú na opustenie gravitačného poľa, než masívnejšie telesá).

Doplňkový materiál

Ako spustiť projektíl do Vesmíru: <https://spaceplace.nasa.gov/how-orbits-work/en/#>

NEWTONOV GRAVITAČNÝ ZÁKON – PRÍLOHA

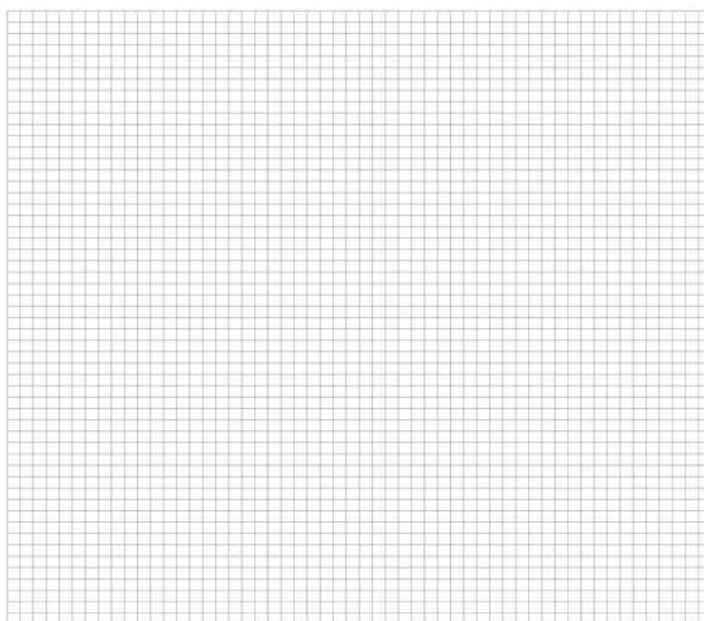
Vzdialenosť (metre)	Sila (Newtony)
0,20	25,00
0,25	16,00
0,30	11,11
0,35	8,16
0,40	6,25
0,45	5,00
0,50	4,00
0,60	2,70
0,70	2,04
0,80	1,56
0,90	1,23
1,00	1,00
1,20	0,60
1,40	0,51
1,60	0,39
1,80	0,31
2,00	0,25

Meno:

Obdobie:

Dátum:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



Vyššie vidíte údaje, ako sa môže meniť gravitačná sila medzi dvoma objektmi, za predpokladu, že sa mení vzdialenosť medzi nimi.

Zaznamenajte údaje do grafu, kde sila bude os y a vzdialenosť os x.

Postup

1. pomenujte graf (sila vs. vzdialenosť)
2. označte os y (nezabudnite jednotky)
3. označte os x (nezabudnite jednotky)
4. určite rozsah pre obidve osi
5. zaznamenajte údaje
6. nakreslite krivku vývoja

STAV BEZTIAŽE

1. ÚVOD

Pojmom **stav beztiaže** nazývame stav, pri ktorom je gravitačná sila pôsobiaca na teleso kompenzovaná inou silou, takže výsledný dojem je, že na teleso gravitačná sila nepôsobí. Typickou situáciou, pri ktorej vzniká stav beztiaže v blízkosti povrchu Zeme, je voľný pád alebo **vrh telesa**. Tieto pohyby umožňujú beztiažový stav veľmi krátku dobu, maximálne niekoľkých sekúnd. Dlhodobo nastáva stav beztiaže pri pohybe telesa v kozmickom priestore, napríklad pri obehu družice okolo Zeme. Pobyt v stave beztiaže prináša pre človeka rôzne zdravotné problémy. Na druhej strane bude možné stav beztiaže využiť pre celý rad technologických procesov. Toto využitie je dnes väčšinou vo fáze experimentov.

1.1 Kľúčové slová

stav beztiaže

gravitačná sila

tiažová sila

tiaž

zotrvačná sila

odstredivá sila

neinerciálna vzťažná sústava

kozmičné lety

družice Zeme

voľný pád

vrh telesa

izolovaná sústava

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

Základné informácie Pojmom stav beztiaže nazývame stav, pri ktorom je gravitačná sila pôsobiaca na teleso kompenzovaná inú silou, takže výsledný dojem či pocit pozorovateľa je, že na teleso žiadna gravitačná sila nepôsobí. **Stav beztiaže vzniká v každej neinerciálnej vzťažnej sústave, ktorá sa pohybuje so zrýchlením rovnakej veľkosti aj smeru, ako je gravitačné zrýchlenie v danom mieste.** V takejto neinerciálnej vzťažnej sústave sa prejavuje zdanlivá zotrvačná sila, ktorá má rovnakú veľkosť ako sila gravitačná, ale opačný smer. Výsledná sila vzniknutá zložením gravitačnej a zotrvačnej sily je nulová. Neznamená to však, že by gravitačná sila zmizla.

Voľný pád

Typickou situáciou, pri ktorej vzniká stav beztiaže v blízkosti povrchu Zeme, je voľný pád. Pri ňom sa teleso pohybuje pôsobením tiažovej sily $F_g = mg$ zrýchlene nadol, t. j. smerom k povrchu Zeme, s tiažovým zrýchlením $g = mg$ zrýchlene dole, t. j. smerom k povrchu Zeme, s tiažovým zrýchlením $g \doteq 10 \text{ ms}^{-2}$. V neinerciálnej vzťažnej sústave (zrýchľujúcej so zrýchlením g) spojenjej s týmto telesom sa prejavuje zdanlivá zotrvačná sila $F_s \doteq mg$ zrýchlene dole, t. j. smerom k povrchu Zeme, s tiažovým zrýchlením $g \doteq 10 \text{ ms}^{-2}$. V neinerciálnej vzťažnej sústave (zrýchľujúcej sa zrýchlením g) spojenjej s týmto telesom sa prejavuje zdanlivá zotrvačná sila $F_s = -F_g = mg$ zrýchlene dole, t. j. smerom k povrchu Zeme, s tiažovým zrýchlením $g \doteq 10 \text{ ms}^{-2}$. V neinerciálnej vzťažnej sústave (zrýchľujúcej sa zrýchlením g) spojenjej s týmto telesom sa prejavuje zdanlivá zotrvačná sila $F_s = -F_g = ma_s$, kde a_s je zotrvačné zrýchlenie $a_s = mg$ zrýchlene dole, t. j. smerom k povrchu Zeme, s tiažovým zrýchlením $g \doteq 10 \text{ ms}^{-2}$. V neinerciálnej vzťažnej sústave (zrýchľujúcej sa zrýchlením g) spojenjej s týmto telesom sa prejavuje zdanlivá zotrvačná sila $F_s = -F_g = ma_s$, kde a_s je zotrvačné zrýchlenie $a_s = -g$. Výsledná sila pôsobiaca na padajúce teleso v neinerciálnej sústave spojenjej s týmto telesom je $F_g - F_s = mg$ zrýchlene dole, t. j. smerom k povrchu Zeme, s tiažovým zrýchlením $g \doteq 10 \text{ ms}^{-2}$. V neinerciálnej vzťažnej sústave (zrýchľujúcej sa zrýchlením g) spojenjej s týmto telesom sa prejavuje zdanlivá zotrvačná sila $F_s = -F_g = ma_s$, kde a_s je zotrvačné zrýchlenie $a_s = -g$. Výsledná sila pôsobiaca na padajúce teleso v neinerciálnej sústave spojenjej s týmto telesom je $F_g - F_s = 0$.

O tom, že takáto zdanlivá zotrvačná sila v zrýchľujúcej vzťažnej sústave naozaj vzniká, sa môžeme presvedčiť **myšlienkovým pokusom**. Predstavme si, že sedíme v aute, ktoré sa pohybuje priamočiari so zrýchlením s veľkosťou $a \doteq 10 \text{ ms}^{-2}$ vo vodorovnom smere. (Takéto auto by dosiahlo z pokoja rýchlosť 100 kmh^{-1} za 2,8 s, muselo by to teda byť naozaj výkonné pretekárske auto.) Zotrvačná sila je presne tá sila, ktorá nás pri takej akcelerácii tlačí do sedačky. V tomto prípade sa však zotrvačná a tiažová sila navzájom nevyrušia – zotrvačná sila nás tlačí dozadu do operadla sedačky, tiažová sila dole do sedadla, preto si obe stále uvedomujeme. Ak je však pohyb vzťažnej sústavy zrýchlený smerom nadol so zrýchlením g , zotrvačná a tiažová sila sa vyrušia a pociťujeme stav beztiaže.

Je vhodné dôsledne rozlišovať gravitačnú silu, tiažovú silu a tiaž. Gravitačná sila (F_g) je sila vzájomného silového pôsobenia dvoch hmotných telies, jedna zo základných fyzikálnych interakcií. Ak je vzťažná sústava spojená s povrchom Zeme, je potrebné vziať do úvahy, že Zem rotuje a už sama táto vzťažná sústava je neinerciálna. Vzniká v nej zdanlivá odstredivá sila spôsobená rotáciou Zeme. **Výslednicou gravitačnej sily a tejto odstredivej sily je tiažová sila (F_G).** Na povrchu Zeme preto počítame s tiažovou silou a už nemusíme vplyv rotácie Zeme zahŕňať do ďalších úvah.

Terminologická poznámka

Pri popise beztiažového stavu nastávajúceho pri lokálnych pohyboch v blízkosti povrchu Zeme (voľný pád, vrhy) je teda vhodné používať **pojmem tiažová sila. Pri popise beztiažového stavu pri telesách v kozmickom priestore (satelity, kozmické stanice a lode, kozmické sondy...) pracujeme s pojmom gravitačná sila.**

Pojem tiaž (G) označuje silu, ktorou pôsobí teleso v tiažovom poli Zeme na podložku. Na teleso ležiace na podložke pôsobí smerom nadol tiažová sila a toto teleso pôsobí na podložku tiažou. (Reakcia na túto tiaž, t. j. sila, ktorou pôsobí podložka na teleso, je dôvodom, prečo teleso na podložke leží, nikam nepadá.) V stave beztiaže sa teleso vznáša, netlačí na podložku (napr. na podlahu výťahu padajúceho voľným pádom). Preto je tiaž naozaj nulová a označenie „bez tiaže“ je v poriadku. Je však potrebné ešte raz zdôrazniť, že tiažová alebo gravitačná sila nulové ani v tomto prípade nie sú.

2.1 Ako dosiahnuť stav beztiaže

Ako už bolo uvedené vrátane rozboru silového pôsobenia, ak teleso padá v tiažovom poli Zeme voľným pádom, nachádza sa v stave beztiaže. Rovnaká situácia nastáva pri zložených pohyboch, pri ktorých je jednou zložkou voľný pád, teda vo všetkých prípadoch vrhov – zvislého, vodorovného aj šikmého. Príkladom zvislého vrhu môžu byť skoky na trampolíne, pri ktorých je gymnasta v stave beztiaže po celý čas, kedy je bez kontaktu s trampolínom. Do rovnakej kategórie patrí už spomínaný voľný pád kabíny výťahu. Všetky tieto pohyby umožňujú beztiažový stav po veľmi krátke doba desiatín sekundy alebo najviac niekoľko málo sekúnd. Dlhšiu dobu trvá napríklad pád parašutistu. Ten sa však v stave beztiaže nachádza iba krátko po začiatku pádu. Už po niekoľkých sekundách vzrastie rýchlosť parašutistu natoľko, že sa sila odporu prostredia vyrovná s tiažovou silou a ďalší pád už prebieha rovnomerným pohybom, pri ktorom stav beztiaže nenastáva.

Voľný pád a vrhy telies

Pohyb po trajektórii vrhu vodorovného alebo šikmého sa využíva pri simulácii stavu beztiaže v lietadlách. Ak sa lietadlo pohybuje po parabolickej trajektórii, po akej by sa pohybovalo vrhnuté teleso, nastáva v lietadle stav beztiaže. Týmto spôsobom je možné vytvoriť beztiažový stav na dobu približne 25 sekúnd.

Dlhodobu nastáva stav beztiaže pri pohybe telesa v kozmickom priestore. Stále musí platiť východisková podmienka, t. j. teleso sa musí nachádzať v neinerciálnej vzťažnej sústave, ktorá sa pohybuje so zrýchlením rovnakej veľkosti a smeru, ako je gravitačné zrýchlenie v danom mieste. Ak by na teleso pôsobila ďalšia sila, typicky ťah raketových motorov, stav beztiaže nenastane.

Pohyb po obežnej dráhe Zeme

3. Newtonov gravitačný zákon

Pri obehu družice okolo Zeme po kruhovej trajektórii pôsobí gravitačná sila do stredu Zeme. Práve táto sila je vo vzťažnej sústave spojenjej so Zemou silou dostredivou, ktorá spôsobuje zakrivenie trajektórie do tvaru kružnice. Ak situáciu sledujeme zo vzťažnej sústavy spojenjej s družicou, ide opäť o referenčnú sústavu neinerciálnu a na družicu (telesá vnútri družice) pôsobí zdanlivá zotrvačná odstredivá sila rovnako veľká ako sila gravitačná, ale opačného smeru. Výslednica gravitačnej a odstredivej sily je nulová.

Pohyb v kozmickom priestore Teleso v kozmickom priestore nemusí obiehať okolo Zeme, ale môže sa priestorom pohybovať úplne všeobecne. V takom prípade nastáva stav beztiaže vo vzťažnej sústave spojenjej s telesom, ak sa teleso pohybuje iba vplyvom gravitačných síl, t. j. so zrýchlením rovnakým ako je gravitačné zrýchlenie v danom mieste. V žiadnom prípade nie je nutné, aby gravitačná sila pôsobiaca na teleso bola nulová. Väčšina kozmických telies sa pohybuje práve týmto spôsobom, t. j. pôsobením gravitačných síl. Výnimkou sú len úseky letu, keď je umelé kozmické teleso urýchľované či spomaľované ťahom motorov alebo sa nimi mení smer letu. V týchto úsekoch letu stav beztiaže nevznikne.

Simulácia stavu beztiaže V súvislosti s letmi do vesmíru je štúdium stavu beztiaže a tréning pobytu v ňom veľmi dôležitý. Ako bolo spomenuté, docieľiť stav beztiaže na povrchu Zeme možno len na veľmi krátku dobu. Na niektoré účely nie je potrebné používať priamo stav beztiaže, ale iba simulovať pobyt v ňom.

Na tieto účely sa často používa pobyt v skafandroch v bazéne s vodou. Skafander je vyvážený tak, aby vztlaková sila na neho bola rovnako veľká ako tiažová sila. Potom sa človek v skafandri vo vode vznáša ako v stave beztiaže. Táto simulácia má dva nedostatky. Odpor vodného prostredia je výrazne väčší ako odpor vzduchu, takže niektoré pohyby sú vo vode brzdené, a tým uľahčené. Vztlaková sila pôsobí len na povrch skafandra a skafander nadnáša človeka silou pôsobiacou na kožu. Na vnútorné orgány človeka vnútri pôsobí úplne normálna tiažová sila, takže nie je možné dosiahnuť efekty poruchy rovnováhy či nevoľnosti spôsobenej pravou beztiažou.

Druhou možnosťou, ako simulovať stav beztiaže, je pobyt vo veternom tuneli. V ňom je človek nadnášaný vo zvislom tuneli vertikálne nahor prúdiacim vzduchom. Rýchlosťou vzduchu je možné regulovať pôsobiacu silu a mieru efektu. Nedostatky tejto simulácie sú podobné ako pri bazéne, len miesto väčšieho odporu vody má vplyv obtekanie kombinézy vzduchom.

Problémy pri pohybe v stave beztiaže Pobyt v stave beztiaže má na človeka (aj na iné vyššie organizmy) viac nežiaducich účinkov. Krátkodobo, po dobu niekoľkých hodín alebo dní sa pri pobyte v stave beztiaže dostaví morská choroba spojená s žalúdočnou nevoľnosťou a pocity tlaku v hlave. Tá vzniká neštandardným dráždením rovnovážneho ústrojenstva vo vnútornom uchu, ktoré normálne organizmu určuje smer pôsobenia tiaže.

Dlhodobejším efektom je redistribúcia kvapalín v tele. Na povrchu Zeme srdce vytláča krv hore proti pôsobeniu tiažovej sily, v stave beztiaže prúdi krv do hornej polovice tela omnoho ľahšie. U kozmonautov sa prejavuje začervenanie a niekedy tiež opuchy tváre.

Iný charakter pohybov v stave beztiaže, kedy nie je nutné prekonávať pôsobenie tiažovej sily a celkovo je fyzická námaha menšia, postupne vedie k atrofii svalstva. Ďalej boli pozorované hormonálne zmeny, vyplavovanie vápnika z kostí a u pokusných zvierat tiež známky poškodenia pečene. Niektoré dôsledky stavu beztiaže možno eliminovať napríklad pravidelným cvičením, iné musia byť v budúcnosti podrobené ďalšiemu dôkladnému skúmaniu.

Medzi problémy pri pobyte v stave beztiaže možno zaradiť aj úplnú zmenu motorických návykov pri vykonávaní bežných činností na obežnej dráhe. Beztiaži musí byť podriadená osobná hygiena, jedlo, vylučovanie, ale samozrejme aj pracovné činnosti typu montážne práce vnútri aj mimo kozmickej stanice. Veľká časť bežných dejov na povrchu Zeme počíta so všade prítomnou tiažovou silou, ktorá „poskytuje oporu“.

2.2 Fyzikálne deje v stave beztiaže

Vyliata voda v stave beztiaže nescie na podlahu, ale voľne poletuje priestorom. Pretože celková vonkajšia sila pôsobiaca na kvapalné teleso je nulová, začnú hrať významnú úlohu sily, ktoré sú na povrchu Zeme okrajové – sily povrchového napätia. Kvapalina sa vplyvom povrchového napätia sformuje do podoby veľkej gule (gulovej kvapky). Pri dotyku s povrchom, ktorý je kvapalinou zmáčaný, sa po ňom roztečie do plochy.

Voda
bez obalu

V stave beztiaže je nulová tiež vztlaková sila v kvapaline, ktorá na povrchu Zeme vzniká podľa Archimedovho zákona. Preto plameň horiacej sviečky nie je pretiahnutý nahor, ale je malý, zle horiaci a vyzerá ako guľôčka. Na povrchu Zeme vplyvom Archimedovho zákona stúpajú horúce spaliny nahor a na ich miesto sa dostáva vzduch z okolia, čo zaisťuje prísun kyslíka k plameňu. Preto je tiež problém uvariť v stave beztiaže vodu. Ak ohrievam kvapalinu v nádobe, ako je bežné zahrievaním dna nádoby, ohreje sa najprv kvapalina na dne, potom ale vďaka vztlakovej sile stúpa ohriata nahor a na jej miesto sa dostane zvyšná doteraz chladnejšia kvapalina. V stave beztiaže tento automatický mechanizmus premiešavania kvapaliny nefunguje, kvapalinu je nutné premiešavať ručne. Ale na druhej strane je jedno, či ju ohrievame zhora či zdola. Neexistuje „dole“ a „hore“.

Archimedov
zákon

Na povrchu Zeme sme neustále v kontakte so Zemou, sme k nej priťahovaní tiažovou silou a získavame oporu vďaka treniu medzi podrážkami našich topánok a povrchom, na ktorom stojíme. **Pri väčšine činností nevedomky a úplne automaticky využívame to, že časť energie, hybnosti alebo momentu hybnosti prenášame silovým pôsobením na Zem.** Pri výskoku sa odrazíme od Zeme a tým získame silový impulz smerom nahor. V stave beztiaže je možnosť odrazu oveľa menšia. Pri údere kladivom pôsobíme kladivom na predmet, ale vďaka reakcii pôsobí tento predmet na kladivo a udeľuje mu impulz smerom vzad. Táto reakcia je eliminovaná silovým pôsobením Zeme, pretože „stojíme pevnými nohami na zemi“. V stave beztiaže po údere bežným kladivom kozmonaut odletí od miesta úderu opačným smerom. Pri manipulácii s otočným kľúčom získava moment hybnosti aj náradie a človek, ktorý s ním manipuluje. Na povrchu Zeme tak vlastne otáčame celou Zemou, s ktorou to samozrejme „ani nehne“. Na kozmickej stanici pokus o utiahnutie skrutky kľúčom znamená roztočenie kozmonauta opačným smerom. Kozmonaut, ktorý by vzal do ruky stolový ventilátor a zapol ho, sa tiež roztočí opačným smerom ako

Izolovaná
sústava telies

3. Newtonov gravitačný zákon

vertule ventilátora. (Našťastie menšou rýchlosťou, ktorá závisí od pomeru momentov zotrvačnosti oboch telies.)

Využitie stavu beztiaže Využitie stavu beztiaže je v súčasnosti stále v štádiu experimentov. Už teraz je jasné, že stav beztiaže je ideálny pre dokonalejšiu rast niektorých druhov monokryštálov, pri ktorých môže tiažová sila spôsobovať nerovnomerné rozloženie rôzne ťažkých častíc alebo všeobecne poruchy kryštalickej mriežky. **Týmto spôsobom môžu napríklad vznikáť nové druhy polovodičov.** Aj niektoré organické látky vytvárajú v stave beztiaže dokonalejšiu a pravidelnejšiu štruktúru, čo sa už využíva pri vývoji kvalitnejších liečiv. Podobne ako kryštály je možné v stave beztiaže vyrábať aj dokonalejšie zliatiny. **Prebiehajú experimenty s priebehom horenia v stave beztiaže, ktoré môžu vo výsledku viesť k zdokonaleniu spaľovacích motorov na Zemi, aj k príprave nových druhov uhľovodíkových palív.**

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY PRE ŽIAKOV

Názov úlohy	Doba trvania	Náročnosť úlohy	Odporúčaná vek detí	Pomôcky a materiál	Cieľ úlohy
1. Gravitačné pole v okolí Zeme	20 – 40 min	stredná	6. až 8. ročník ZŠ	kalkulačka, aplikácia MS Excel	Žiaci pochopia, že gravitačná sila pôsobí do nekonečnej vzdialenosti. Uvedomia si, že pre existenciu stavu beztláče nie je nutné, aby gravitačná sila bola nulová. Dokážu si predstaviť geometriu nízkej obežnej dráhy.
2. Demonštrácia stavu beztláče pri voľnom páde	20 – 40 min	stredná	4. až 8. ročník ZŠ	PET fľaša s vodou, škatuľka od džúsu s vodou, pomôcka – silomer v priehľadnej škatuli	Žiaci si uvedomia, že stav beztláče môže vzniknúť aj na povrchu Zeme. Pochopia, že stav beztláče je na povrchu Zeme možné docieľiť pri voľnom páde. Je však obmedzený na krátke časové úseky.
3. Správanie kvapaliny v stave beztláče	20 – 40 min	stredná	4. až 8. ročník ZŠ	fotoaparát s režimami ručného ostrenia a predvolby času uzávierky	Žiacividia, že kvapalné teleso v stave beztláče zaujme guľový tvar. Pochopia, že stav beztláče je na povrchu Zeme možné docieľiť pri voľnom páde.

Úloha 1: Gravitačné pole v okolí Zeme

- Skúste overiť výpočtom, či pôsobí gravitačná sila aj v stave beztláče. V kozmickom priestore sa v stave beztláče blízko Zeme nachádza medzinárodná vesmírna stanica ISS, ďalej od Zeme sa nachádzajú geostacionárne družice (sú stále nad rovnakým miestom zemského povrchu), ešte ďalej je Mesiac. V akej vzdialenosti vymizne príťažlivá gravitačná sila Zeme?
- Vo výške h nad povrchom guľového telesa (Zeme) s hmotnosťou M_Z a polomerom R_Z pôsobí na teleso s hmotnosťou m gravitačná sila

$$F_g = \kappa \cdot \frac{M_Z \cdot m}{(R_Z + h)^2} \quad F_g = \kappa \cdot \frac{M_Z \cdot m}{(R_Z + h)^2} \quad \kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2};$$

$$M_Z = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}; \quad R_Z = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m}.$$

Spočítajte a porovnajte gravitačnú silu pôsobiacu na teleso s hmotnosťou 1 kg:

- na povrchu Zeme,
- vo výške 400 km, v ktorej sa pohybuje medzinárodná vesmírna stanica ISS,
- vo výške 35 800 km, v ktorej sa pohybujú geostacionárne družice,
- vo vzdialenosti Mesiaca, čo je 380 tisíc km.

- Ďalej zostrojte graf závislosti tejto gravitačnej sily na vzdialenosti od povrchu Zeme od 0 km do 40 000 km. Využite pripravenú tabuľku so vzdialenosťami po 2 000 km. (Graf je možné vytvoriť tiež v aplikácii MS Excel alebo v podobnej.) Odhadnite podľa grafu, v akej vzdialenosti bude gravitačná sila Zeme nulová.

3. Newtonov gravitačný zákon

4. ISS sa pohybuje na nízkej obežnej dráhe 400 km nad povrchom Zeme. O koľko percent je tam gravitačná sila menšia ako na povrchu? Prečo na ISS kozmonauti nepocitujú pôsobenie gravitačnej sily?

Načrtnite obrázok trajektórie ISS v mierke 1: 100 000 000 (polomer Zeme bude 6,4 cm, vzdialenosť trajektórie ISS od povrchu Zeme 4 mm).

Cieľ úlohy

Cieľom tejto aktivity je ukázať žiakom, že gravitačná sila Zeme pôsobí do nekonečnej vzdialenosti. Žiaci si musia uvedomiť, že pre existenciu stavu beztiaže nie je vôbec nutné, aby bola gravitačná sila nulová. Typický je príklad nízkej obežnej dráhy a ISS, kde je gravitačná sila iba o 12 % menšia ako na povrchu Zeme.

Metodické poznámky pre učiteľov

- Výpočet gravitačnej sily nie je zložitý, len pozor na prevody všetkých jednotiek dĺžky na metre.
- Žiakov je vhodné upozorniť na to, že vypočítaná gravitačná sila pôsobiaca na teleso s hmotnosťou 1 kg na povrchu Zeme je vlastne tzv. konštanta $g = 10 \text{ N/kg}$, ktorú poznajú z hodín fyziky.
- Ak žiaci ovládajú tvorbu grafov v aplikácii MS Excel alebo v inom tabuľkovom procesore, je vhodné, aby túto aplikáciu pre tvorbu grafu využili. Odpadnú tak nudné výpočty.
- Už v tejto chvíli je potrebné viesť žiakov k úvahe, že gravitačná sila je v stave beztiaže kompenzovaná inou silou – pri obehú okolo Zeme ide o silu odstredivú.
- Náčrtok trajektórie ISS vedie k predstave, v akej tesnej blízkosti Zeme sa ISS pohybuje. A napriek tomu je na nej stav beztiaže. Zaujímavou poznámkou k náčrtku je porovnanie s výškou najvyšších hôr v tomto meradle (cca 8 km).

Vzorové riešenie

Na povrchu Zeme pôsobí na teleso s hmotnosťou 1 kg gravitačná sila 9,84 N.

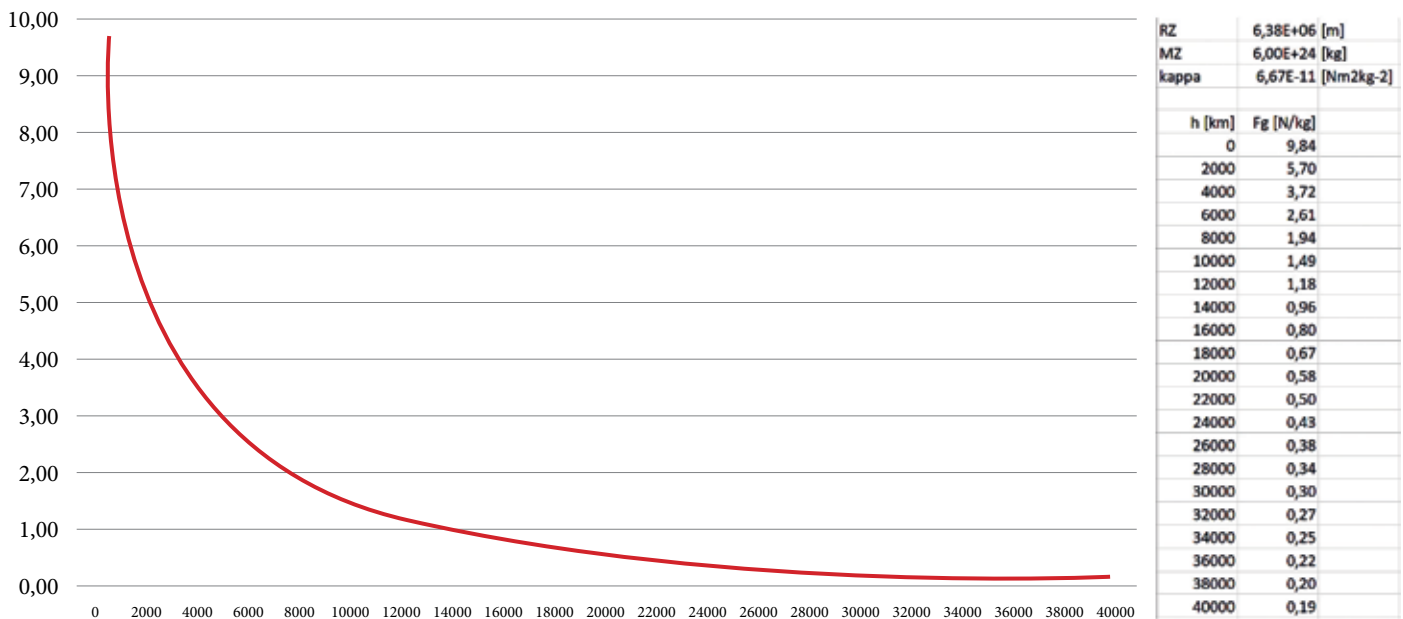
Vo výške 400 km pôsobí na teleso s hmotnosťou 1 kg gravitačná sila 8,71 N.

Vo výške 35 800 km pôsobí na teleso s hmotnosťou 1 kg gravitačná sila 0,199 N.

Vo vzdialenosti 380 000 km pôsobí na teleso s hmotnosťou 1 kg gravitačná sila 0,0027 N.

Ako vzor zostrojenia grafu závislosti gravitačnej sily od vzdialenosti od povrchu Zeme uvádzame spracovanie aplikáciou MS Excel, pozri obrázok.

Gravitačná sila nad povrchom Zeme



Krivka v grafe sa stále približuje k osi x (asymptoticky), ale nikdy sa jej nedotkne. Preto nikdy, v žiadnej vzdialenosti od Zeme nebude gravitačná sila nulová. V istej vzdialenosti bude samozrejme tak malá, že bude zanedbateľná v porovnaní s pôsobením iných bližších telies.

Vo výške 400 km nad povrchom Zeme je gravitačná sila iba o 12 % menšia ako na povrchu Zeme. Kozmonauti sa nachádzajú v stave beztláže, pretože je gravitačná sila pôsobiaca na nich aj na stanicu vykompenzovaná odstredivou silou, ktorá na nich pôsobí, pretože sa pohybujú okolo Zeme po približne kruhovej trajektórii.

Údaje pre náčrtok sú uvedené v zadaní. Polomer Zeme 64 mm, vzdialenosť ISS od povrchu 4 mm (polomer trajektórie ISS 68 mm).

Pokyny na prispôbenie pre žiakov so ŠVVP

Žiaci s poruchami

Žiakom s poruchami učenia môže veľkosti gravitačnej sily vypočítať vyučujúci a žiaci ich len porovnajú medzi sebou, napr. určia, že vo vzdialenosti geostacionárnej družice je gravitačná sila 50-krát menšia. Prípadne môžu z vopred pripraveného grafu odčítať, v akej vzdialenosti je sila polovičná ako na povrchu atď. Dôležitý je záver, že sila so vzdialenosťou klesá, ale nikde nie je nulová.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci môžu početne riešiť opačnú úlohu typu – v akej vzdialenosti je gravitačná sila polovičná, v akej je desaťkrát menšia než na povrchu Zeme a pod. Náčrtok trajektórie ISS je možné využiť na všeobecnejšie úvahy o vzdialenosti. V akej vzdialenosti budú geostacionárne družice, v akej vzdialenosti bude v tejto mierke Mesiac (Slnko).

Pracovný list 1 – Gravitačné pole v okolí Zeme

Úloha

Skúste overiť výpočtom, či pôsobí gravitačná sila aj v stave beztláče. V kozmickom priestore sa v stave beztláče blízko Zeme nachádza medzinárodná vesmírna stanica ISS, ďalej od Zeme sa nachádzajú geostacionárne družice (sú stále nad rovnakým miestom zemského povrchu), ešte ďalej je Mesiac. V akej vzdialenosti vymizne príťažlivá gravitačná sila Zeme?

Vo výške h nad povrchom guľového telesa (Zeme) s hmotnosťou M_Z a polomerom R_Z pôsobí na teleso s hmotnosťou m gravitačná sila

$$F_g = \kappa \cdot \frac{M_Z \cdot m}{(R_Z + h)^2} \quad \kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2};$$

$$M_Z = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}; \quad R_Z = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m}.$$

- a) Spočítajte a porovnajte gravitačnú silu pôsobiacu na teleso s hmotnosťou 1 kg:
 - 1) na povrchu Zeme,
 - 2) vo výške 400 km, v ktorej sa pohybuje medzinárodná vesmírna stanica ISS,
 - 3) vo výške 35 800 km, v ktorej sa pohybujú geostacionárne družice,
 - 4) vo vzdialenosti Mesiaca, čo je 380 tisíc km.

- b) Ďalej zostrojte graf závislosti tejto gravitačnej sily na vzdialenosti od povrchu Zeme od 0 km do 40 000 km. Využite pripravenú tabuľku so vzdialenosťami po 2 000 km. (Graf je možné vytvoriť tiež v aplikácii MS Excel alebo v podobnej.) Odhadnite podľa grafu, v akej vzdialenosti bude gravitačná sila Zeme nulová.

- c) ISS sa pohybuje na nízkej obežnej dráhe 400 km nad povrchom Zeme. O koľko percent je tam gravitačná sila menšia ako na povrchu? Prečo na ISS kozmonauti nepocitujú pôsobenie gravitačnej sily?

- d) Načrtnite obrázok trajektórie ISS v mierke 1 : 100 000 000 (polomer Zeme bude 6,4 cm, vzdialenosť trajektórie ISS od povrchu Zeme 4 mm).

Riešenie:

a)

- 1) Gravitačná sila pôsobiaca na teleso s hmotnosťou 1 kg na povrchu Zeme.

.....

Na povrchu Zeme pôsobí na teleso s hmotnosťou 1 kg gravitačná sila N.

2) Gravitačná sila pôsobiaca na teleso s hmotnosťou 1 kg vo výške 400 km nad povrchom Zeme.

.....

Vo výške 400 km pôsobí na teleso s hmotnosťou 1 kg gravitačná sila N.

3) Gravitačná sila pôsobiaca na teleso s hmotnosťou 1 kg vo výške 38 500 km nad povrchom Zeme.

.....

Vo výške 38 500 km pôsobí na teleso s hmotnosťou 1 kg gravitačná sila N.

4) Gravitačná sila pôsobiaca na teleso s hmotnosťou 1 kg vo vzdialenosti 380 000 km od povrchu Zeme.

.....

Vo vzdialenosti Mesiaca pôsobí na teleso s hmotnosťou 1 kg gravitačná sila N.

b) Doplňte tabuľku a zostrojte graf:

výška [km]	0	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	12 000
silá [N]							

výška [km]	14 000	16 000	18 000	20 000	22 000	24 000	26 000
silá [N]							

výška [km]	28 000	30 000	32 000	34 000	36 000	38 000	40 000
silá [N]							

c) Vo výške ISS je gravitačná sila o % menšia ako na povrchu Zeme.

3. Newtonov gravitačný zákon

Prečo kozmonauti na ISS nepocitujú pôsobenie gravitačnej sily?


.....

.....

.....

.....

d) Náčrtok Zeme a trajektórie ISS:



Úloha 2: Demonštrácia stavu beztiaže pri voľnom páde

Stav beztiaže môžete pozorovať aj na povrchu Zeme, a to v priebehu voľného pádu. Ak sa nejaké teleso pohybuje voľným pádom, pohybuje sa zrýchlene a zotrvačná sila vykompenzuje pôsobiacu gravitačnú silu. Stav beztiaže je možné pozorovať napríklad pri týchto padajúcich telesách:

- a) Plastová PET fľaša naplnená vodou. Ak padá plná otvorená PET fľaša hrdlom dole, kvapalina z nej nevytečie. Nachádza sa totiž v stave beztiaže a na kvapalinu nepôsobí žiadna sila, vďaka ktorej by mohla z fľaše vytečť. Experiment je možné vykonať aj s naplnenou škatulkou od džúsu. Ani z nej dierkou na slamku kvapalina počas pádu nepotečie.
- b) Špeciálna pomôcka – silomer so závažím zavesený v priehľadnej škatuli či ráme. Na demonštráciu stavu beztiaže pri voľnom páde je možné vyrobiť špeciálnu pomôcku – priehľadnú škatuľu, v ktorej je na silomere zavesené závažie. Pomôcka musí byť vyrobená pomerne odolne, aby vydržala dopad po páde, hoci na mäkkú podložku. V pokoji ukazuje silomer výchylku zodpovedajúcu hmotnosti závažia. Ak necháme pomôcku padať, bude vnútri stav beztiaže a silomer bude ukazovať nulovú výchylku. Rovnako sa bude silomer správať aj pri vrhnutí škatule smerom nahor, vodorovne alebo šikmo. Vyskúšajte.

Cieľ úlohy

Cieľom tejto aktivity je ukázať žiakom, že stav beztiaže môže existovať aj na povrchu Zeme, že nie je obmedzený len na kozmický priestor. Na povrchu Zeme je však trvanie stavu beztiaže obmedzené len na krátke časové úseky maximálne niekoľkých sekúnd.

Metodické poznámky pre učiteľov

- Všetky uvedené varianty experimentu sú rovnocenné.
- Všeobecným problémom je, že voľný pád na povrchu Zeme je možné docieľiť len na veľmi krátku dobu, počas ktorej je tiež možné experiment pozorovať. Je vhodné realizáciu experimentu zachytiť fotoaparátom s krátkou expozičnou dobou.
- Ďalším problémom je, že padajúce teleso je na konci experimentu nutné zastaviť, a to pokiaľ možno takým spôsobom, aby sa nerozbilo. Z tohto pohľadu je padajúca PET fľaša alebo škatuľka od džúsu dostupnejšia. Prevedenie experimentu silomerom ukazujúcim nulovú výchylku je ale zase presvedčivejšie.
- V ČR sa vyrábala špeciálna pomôcka na demonštráciu stavu beztiaže. Išlo práve o priehľadný rám, vo vnútri ktorého bolo závažie na pružine. Aktuálne nepoznáme dodávateľa.
- Za zmienku stojí aj poznámka, že rovnako ako v škatuli so závažím, na pružine by vznikol stav beztiaže v padajúcom utrhnutom výťahu alebo v padajúcej kabíne na niektorej z veľkých atrakcií horskej dráhy.

3. Newtonov gravitačný zákon

Vzorové riešenie

Ide o aktivitu kvalitatívnu, nie je možné ani vhodné uvádzať vzorové riešenie. Konkrétne prevedenie závisí od dostupných možností realizátora, pozri poznámky vyššie.

Pokyny na prispôsobenie pre žiakov so ŠVVP

Žiaci s poruchami

Pre žiakov s poruchami učenia nie je nutné experimenty upravovať.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci môžu sami navrhnúť konkrétne prevedenie experimentu na demonštráciu vzniku bezťažového stavu na povrchu Zeme. Východisková podmienka je daná – bezťažový stav nastáva pri voľnom páde. Žiaci sami môžu vymyslieť, ako tento bezťažový stav „zviditeľniť“.

Pracovný list 2 – Demonštrácia stavu bezťažave pri voľnom páde

Úloha

Stav bezťažave môžete pozorovať aj na povrchu Zeme, a to v priebehu voľného pádu. Ak sa nejaké teleso pohybuje voľným pádom, pohybuje sa zrýchlene a zotrvačná sila vykompenzuje pôsobiacu gravitačnú silu. Stav bezťažave je možné pozorovať napríklad pri týchto padajúcich telesách:

- Plastová PET fľaša naplnená vodou.** Ak padá plná otvorená PET fľaša hrdlom dole, kvapalina z nej nevytečie. Nachádza sa totiž v stave bezťažave a na kvapalinu nepôsobí žiadna sila, vďaka ktorej by mohla z fľaše vytiecť. Experiment je možné vykonať aj s naplnenou škatulkou od džúsu. Ani z nej dierkou na slamku kvapalina počas pádu nepotečie.
- Špeciálna pomôcka – silomer so závažím zavesený v priehľadnej škatuli.** Na demonštráciu stavu bezťažave pri voľnom páde je možné vyrobiť špeciálnu pomôcku – priehľadnú škatuľu, v ktorej je na silomere zavesené závažie. Pomôcka musí byť vyrobená pomerne odolne, aby vydržala dopad po páde, hoci na mäkkú podložku. V pokoji ukazuje silomer výchylku zodpovedajúcu hmotnosti závažia. Ak necháme pomôcku padať, bude vnútri stav bezťažave a silomer bude ukazovať nulovú výchylku. Rovnako sa bude silomer správať aj pri vrhnutí škatule smerom nahor, vodorovne alebo šikmo. Vyskúšajte.

Riešenie

Pripravte a vykonajte experiment podľa zadania. Pozorujte vznik bezťažového stavu pri voľnom páde. Pokúste sa priebeh experimentu zdokumentovať fotoaparátom s krátkou expozičnou dobou.

Úloha 3: Správanie kvapaliny v stave beztiaže

V stave beztiaže je celková pôsobiaca sila na kvapalnú teleso nulová, takže kvapalnú teleso sa vznáša v priestore. V takejto situácii budú aj také sily povrchového napätia významnejšie, ktoré sú v bežnej situácii malé a často je možné ich zanedbať. Vznášajúce sa kvapalnú teleso zaujme pôsobením síl povrchového napätia tvar s čo najmenším povrchom, čo je bez dotyku s inými telesami tvar gule.

Na povrchu Zeme je možné pozorovať stav beztiaže pri voľnom páde. Správanie kvapaliny v stave beztiaže môžeme pozorovať na odkvapkávajúcich a padajúcich kvapkách vody. Tvar kvapiek vody je guľový, zodpovedá opisu vyššie. Kvapky je vhodné zachytiť fotoaparátom s krátkou dobou expozície pri dobrom osvetlení na kontrastnom pozadí.

Cieľ úlohy

Cieľom tejto aktivity je ukázať žiakom, že kvapalnú teleso v stave beztiaže zaujme guľový tvar a že stav beztiaže môžeme docieľiť na povrchu Zeme pri voľnom páde.

Metodické poznámky pre učiteľov

- Pozorovanie kvapiek voľným okom nie je príliš presvedčivé, ak je to možné, pokúste sa zachytiť kvapku fotoaparátom.
- Pri fotografovaní kvapkajúceho zdroja vody je potrebné použiť krátku dobu expozície (1/1000 sekundy alebo kratšiu), čo vyžaduje dobré osvetlenie a/alebo vysokú citlivosť snímacieho čipu. Výhodou je potom použiť sériové snímání, tým sa zvýši pravdepodobnosť, že aspoň niektorá snímka zo série kvapku zachytí. Ďalej je vhodné použiť režim manuálneho zaostrovania, aby bol objektív zaostrený neustále na rovinu padajúcich kvapiek a nezaostroval znova.
- Na základe uvedeného možno guľové kvapky bez problémov nafotiť aj z ruky ľubovoľným amatérskym fotoaparátom s režimom ručného ostrenia a preferencie času uzávierky. Počítajte ale s obstaraním mnohých snímok na jednu použiteľnú. Pozri fotografiu vpravo.
- Ďalšou možnosťou je použitie športovej videokamery s možnosťou zvoliť vysokú snímáciu frekvenciu.



Vzorové riešenie

Ide o aktivitu kvalitatívnu, nie je možné ani vhodné uvádzať vzorové riešenie. Konkrétne prevedenie závisí od dostupných možností realizátora, pozri poznámky a fotografie vyššie.

3. Newtonov gravitačný zákon**Pokyny na prispôsobenie pre žiakov so ŠVVP****Žiaci s poruchami**

Pre žiakov s poruchami učenia nie je nutné experiment upravovať.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci môžu sami navrhnúť konkrétne prevedenie experimentu, aby bol efekt na fotografiách čo najzreteľnejší.

Pracovný list 3 – Správanie kvapaliny v stave beztiaže**Úloha**

V stave beztiaže je celková pôsobiaca sila na kvapalné teleso nulová, takže kvapalné teleso sa vznáša v priestore. V takejto situácii budú aj také sily povrchového napätia významnejšie, ktoré sú v bežnej situácii malé a často je možné ich zanedbať. Vznášajúce sa kvapalné teleso zaujme pôsobením síl povrchového napätia tvar s čo najmenším povrchom, čo je bez dotyku s inými telesami tvar gule.

Na povrchu Zeme je možné pozorovať stav beztiaže pri voľnom páde. Správanie kvapaliny v stave beztiaže pozorujte na odkvapkávajúcich a padajúcich kvapkách vody. Tvar kvapiek vody je guľový, zodpovedá opisu vyššie. Kvapky zachyťte fotoaparátom s krátkou dobou expozície pri dobrom osvetlení na kontrastnom pozadí.

Riešenie

Pripravte a vykonajte experiment podľa zadania. Zachyťte fotoaparátom guľový tvar vodných kvapiek.

Odporúčanie

- Pri fotografovaní kvapkajúceho zdroja vody použite krátku dobu expozície (1/1 000 sekundy alebo kratšiu), čo vyžaduje dobré osvetlenie a/alebo vysokú citlivosť snímacieho čipu. Výhodné je použiť sériové snímanie, tým sa zvýši pravdepodobnosť, že aspoň niektorá snímka zo série kvapku zachytí. Ďalej použite režim manuálneho zaostrovania, aby bol objektív zaostrený neustále na rovinu padajúcich kvapiek a nezaostroval znova.
- Na základe uvedeného dokážete guľové kvapky bez problémov nafotiť aj z ruky ľubovoľným amatérskym fotoaparátom s režimom ručného ostrenia a preferencie času uzávierky. Počítajte ale s obstaraním mnohých snímok na jednu použiteľnú.
- Prípadne môžete použiť športovú videokameru s možnosťou zvoliť vysokú snímacu frekvenciu.

ZÁKLADNÁ ORIENTÁCIA NA OBLOHE (NAJVIDITEĽNEJŠIE SÚHVEZDIA), POLÁRNA HVIEZDA, OBJEKTY HLBOKÉHO VESMÍRU, MESSIEROV KATALÓG A NOVÝ VŠEOBECNÝ KATALÓG

1. ÚVOD

Rozdelenie oblohy na súhvezdia pravdepodobne vyplýva z potreby orientovať sa na oblohe. Je prirodzené, že orientácia začína najtypickejšími súhvezdiami, ktoré obsahujú jasné hviezdy alebo ľahko rozlíšiteľné tvary.

1.1 Kľúčové slová

hviezdy

Polárka

nebeský pól

precesia

súhvezdie

asterizmus

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

2.1 Orientácia na oblohe

Polárka Jedným z najdôležitejších dôvodov poznania súhvezdí je **možnosť určovať svetové strany**. Už od pradávna si ľudia všimli, že takmer všetky hviezdy sa pohybujú na oblohe a opisujú cez noc polkruh, akoby sa pohybovali okolo hviezdy, ktorá vyzerá ako nehybná. Táto hviezda zostala každú noc na rovnakom mieste bez ohľadu na ročné obdobie alebo časť dňa. Táto vlastnosť stačila na to, aby sa z nej stala hlavná orientačná hviezda na oblohe a slúžila všetkým na zorientovanie sa, podobne ako dnešný kompas. Nazýva sa „**Polárka**“, „**Polárna hviezda**“ alebo aj „**Severná hviezda**“, a dnes už vieme, že je vždy na severe a leží v bode nazývanom „Severný nebeský pól“ v nebeskej sfére.

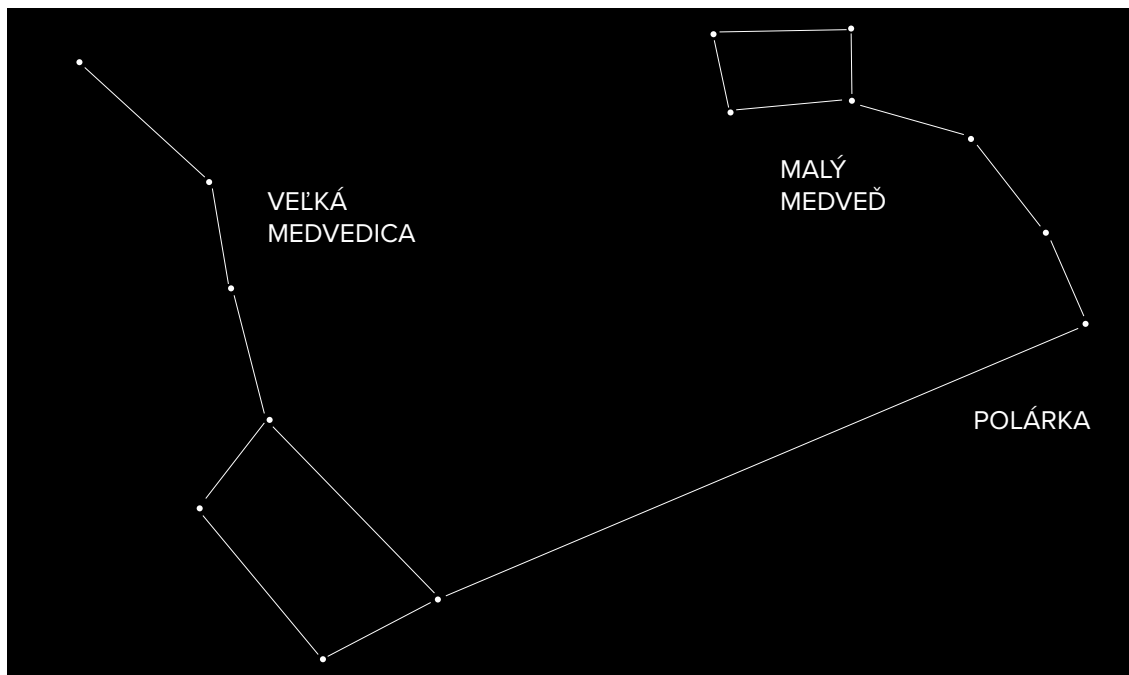


Obrázok 1: Fotografia hviezdnych dráh. Najbližšou hviezdou v strede je Polárka.

Rotačný pohyb Zeme V dôsledku rotačného pohybu Zeme (nazývaného „precesia“) sa časom menia hviezdy, ktoré sú najbližšie k severnému pólu. Tento proces však trvá veľmi dlho a Polárka zostáva rovnaká už niekoľko stáročí. **V súčasnosti je táto „najdôležitejšia hviezda“ na oblohe najjasnejšou hviezdou súhvezdia Malý medveď.** Zďaleka nie je najjasnejšou hviezdou na oblohe a samotné súhvezdie nie je najjednoduchšie rozoznať najmä v súčasnosti v mesiacoch s veľkým svetelným znečistením. Preto sa Malý medveď zvyčajne používa ako sprievodca pri hľadaní Polárky.

Veľký voz Sotva existuje niekto, kto nedokáže na oblohe rozoznať tvar súhvezdia Veľká medvedica alebo Veľký voz. Veľký voz je tvar vytvorený siedmimi takmer rovnakými hviezdami, známy pod rôznymi menami v rôznych krajinách. Ak vytvoríme imaginárnu čiaru medzi

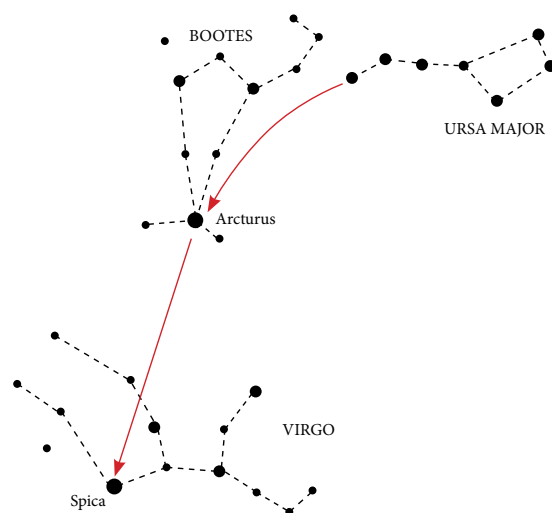
prvými dvoma hviezdami zo súhvezdia Veľký voz a potom pokračujeme v tejto línii až po jeho vrchol, tak v asi päťnásobnej vzdialenosti medzi týmito dvoma hviezdami sa dostaneme k Polárke (Obr. 2).



Obrázok 2: Polárka. Nájdenie pravidla pomocou súhvezdia Veľká medvedica.

Počnúc súhvezdím Veľká Medvedica môžeme nájsť aj jednu z najjasnejších hviezd na oblohe – **Arktúr zo súhvezdia Pastier**. Dostaneme sa k nej oblúkom okolo „rukoväte“ Veľkého voza. Ak budeme pokračovať v tomto oblúku, dostaneme sa k ďalšej veľmi jasnej hviezde – volá sa Spica a je zo súhvezdia Panna. Panna je dobre pozorovateľná na jar. Na jar sa vysoko nad obzorom nachádzajú aj ďalšie krásne súhvezdia: Severná koruna so svojou jasnou hviezdou Gemma, ako aj nebeský hrdina Herkules. Ďalším súhvezdím pre túto sezónu, nielen s jednou, ale s dvoma jasnými hviezdami (Rigel a Denebola), je zodiakálne súhvezdie Lev.

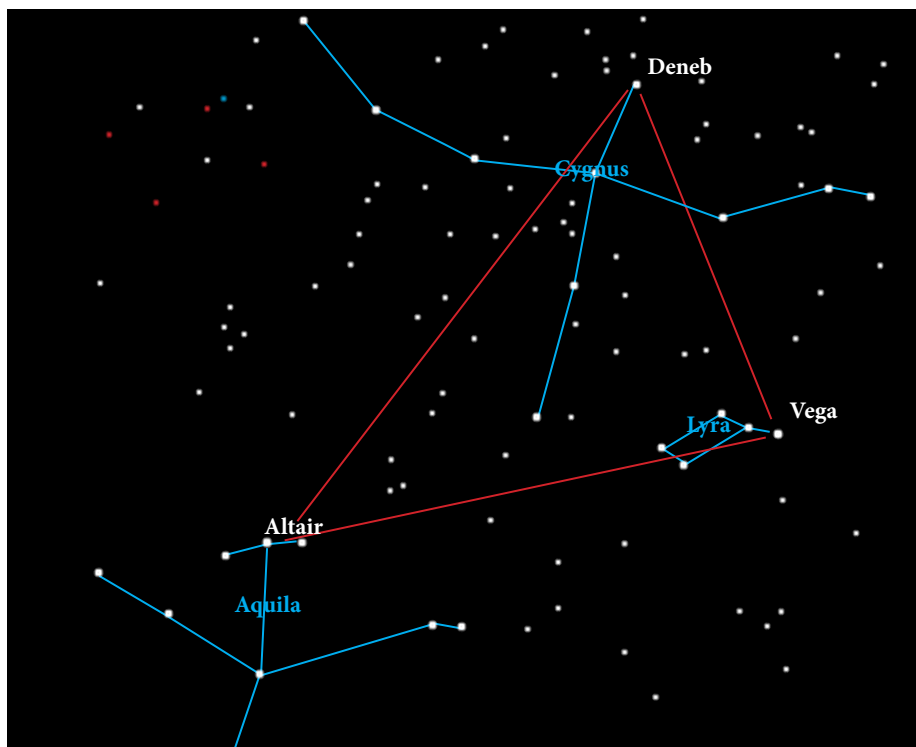
Veľká medvedica



Obrázok 3: Hviezdy v súhvezdí Veľká medvedica

4. Objavovanie vesmíru

Asterizmus Letný trojuholník V lete je najlepšie začať sa na oblohe orientovať podľa iného veľmi obľúbeného asterizmu – asterizmus Letný trojuholník. **Spája najjasnejšie hviezdy troch krásnych súhvezdí – Vega zo súhvezdia Lýra, Deneb zo súhvezdia Labuť a Altair zo súhvezdia Orol.** Súhvezdie Lýra predstavuje akýsi diamant zo štyroch takmer rovnako jasných hviezd a samotná Vega, ktorá je jasnejšia ako ony, je blízko jednej z hviezd diamantu. Predstaviť si lietajúcu labuť z jasných hviezd súhvezdia Labuť nevyžaduje veľa fantázie. Jasná hviezda Deneb je na chvoste súhvezdia Labuť, jeho krk vedie pozdĺž Mliečnej cesty a jeho krídla sú cez krk a vytvárajú kríž, ktorý dal bulharskému ľudu dôvod nazvať toto súhvezdie „Križ“. „Severný križ“ je tiež populárnym asterizmom medzi mnohými inými národmi.



Obrázok 4: Asterizmus Letný trojuholník

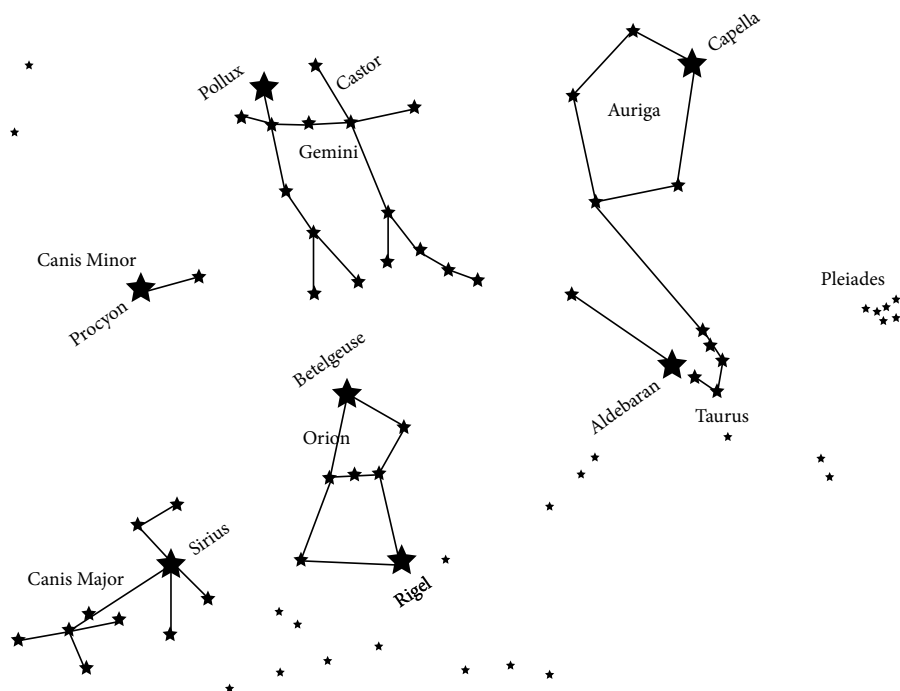
Asterizmus Pegasov štvorec **Súhvezdie Pegasus je prirodzenou súčasťou jesennej hviezdnej oblohy.** Veľký asterizmus „Pegasov štvorec“ sa na oblohe dá pomerne ľahko nájsť. Súhvezdie Andromeda začína od hviezdy, ktorá je najbližšie k Severnému pólu. Táto hviezda v skutočnosti patrí do súhvezdia Andromeda, hoci si ju mentálne spájame so štvorcom, ktorého ďalšie tri hviezdy pochádzajú zo súhvezdia Pegas. Andromeda je oblúkom spojená s ďalšími tromi rovnako jasnými hviezdami, ale niektoré hviezdne mapy to ukazujú ako dva oblúky vychádzajúce z asterizmu „Pegasov štvorec“. Pod dúhou Andromedy vidíme dve malé súhvezdia – Trojuholník a Baran, a ešte ďalej a nižšie sa Ryby rozširujú, aby objali polovicu Pegasa. Ak budeme pokračovať v Andromedovom hlavnom oblúku, dostaneme sa k súhvezdiu Perzeus. Má podobu gréckeho písmena λ, ale možno ešte zaujímavejšou skutočnosťou je, že je obklopený jasnými hviezdicovými zhlukmi (hviezdokopami) na oboch koncoch. Na severe sú hviezdokopy χ a η považované za „rozmazané škvrny“. Na juhu sa nachádza svetlá a veľmi pôsobivá hviezdokopa s názvom Plejády. Plejády sú však súčasťou súhvezdia Baran, čo znamená, že ich môžeme použiť na nájdenie charakteristického tvaru tohto zodiakálneho súhvezdia a jej najjasnejšej hviezdy – oranžovej hviezdy Aldebaran alebo aj Býčie oko.



Obrázok 5: Asterizmus Pegasov štvorec

Dostávame sa tak na zimnú oblohu, ktorú mnohí považujú za najkrajšiu. Ak pôjdeme v chladnej, ale bezoblačnej zimnej noci von nebude možné, aby mocná postava nebeského lovca nazývaného Orión zostala bez povšimnutia. Niektorí vidia tvar Oriónu ako tvar piesočných hodín, iní doslova „vidia“ postavu poľovníka, ktorý v svojej pravej ruke drží palcát, zdvihnutý nad rameno (červená hviezda Betelgeuze), v ľavej ruke (hviezda Beatrix) drží kožu leva ako štít, opasok zložený z troch rovnako jasných a rovnomerne rozmiestnených hviezd, meč visiaci z opasku a nakoniec nohy obra, kde žiaria hviezdy Rigel a Nair Al Saif alebo Hatysa. Hviezda Betelgeuze je tiež súčasťou iného asterizmu zvaného „Zimný trojuholník“. Ďalšie dve hviezdy trojuholníka sú najjasnejšie hviezdy na oblohe – Sírius zo súhvezdia Veľký pes a Prokyón zo súhvezdia Malý pes. Táto časť oblohy obsahuje tiež Mliečnu cestu (našu Galaxiu) a ďalšie významné hviezdy – Pollux a Kastor zo súhvezdia Blíženci, a hviezda Capella zo súhvezdia Povožník.

Asterizmus
Zimný
trojuholník



Obrázok 6: Asterizmus Zimný trojuholník

4. Objavovanie vesmíru

2.2 Názvy hviezd

Zoznámením sa s oblohou pomocou súhvezdí sa môžeme ľahko naučiť aj názvy hviezd. Názvy však má len malý počet všetkých hviezd. Ide o približne 300 najjasnejších alebo najzaujímavejších a dôležitých hviezd. **A pretože súhvezdia nesú názvy súvisiace s tvarom vytvoreným ich najjasnejšou hviezdou, samotné hviezdy sú väčšinou pomenované podľa miesta, ktoré zaujímajú v danom súhvezdí.** Existuje mnoho príkladov: Daneb v arabčine znamená „chvost“ a táto hviezda je skutočne na chvoste súhvezdia Labuť; Denbela, čo je v arabčine „leví chvost“ je na chvoste súhvezdia Lev a Regulus, čo v latinčine znamená „kráľovský“, je najjasnejšou hviezdou Leva; Aldebaran je taktiež z arabčiny a znamená „oko býka“ a nachádza sa v súhvezdí Býk.

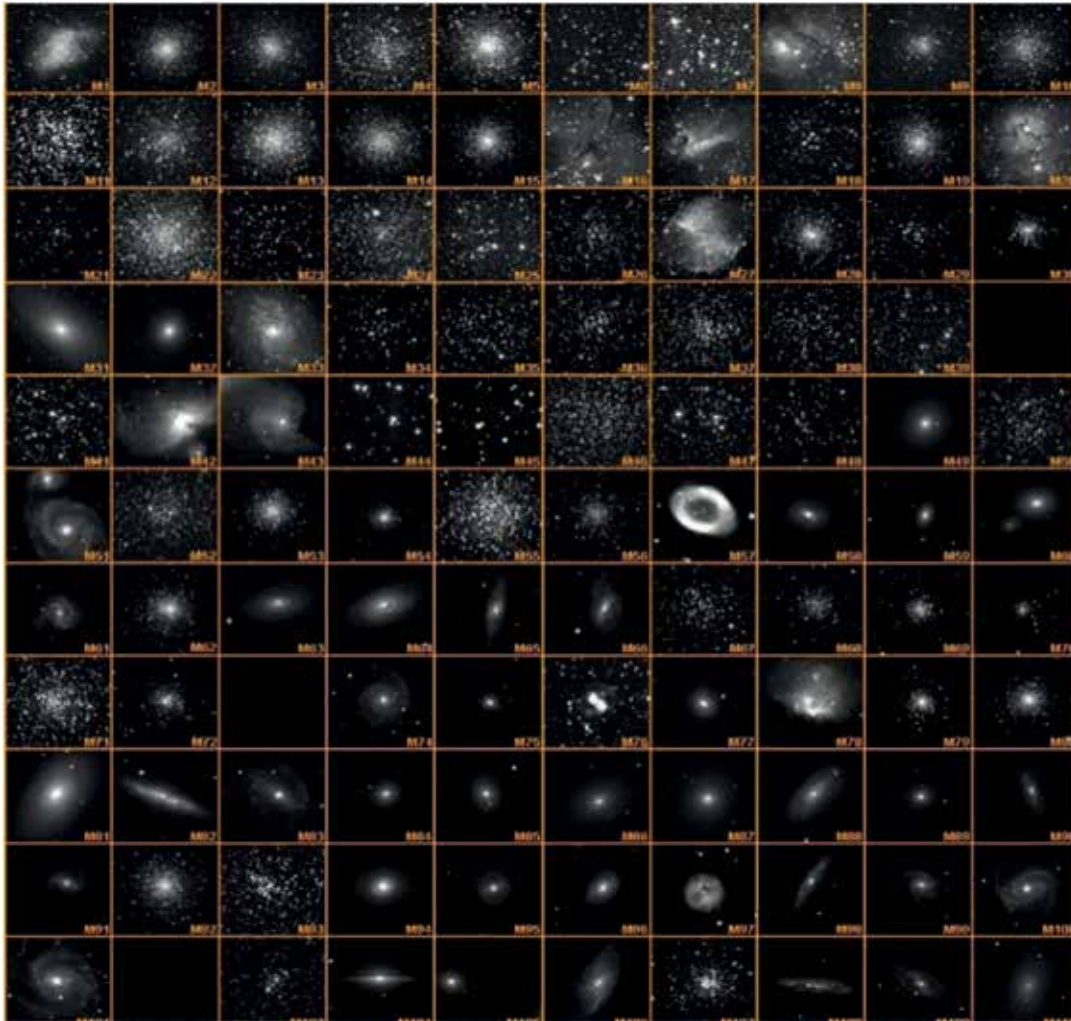
Zaujímavým faktom je, že rozdelenie oblohy na dnešné súhvezdia pochádza hlavne z Egypta. Starí Gréci si tieto čísla zachovali, ale dali im názvy, ktoré súvisia s ich vlastnými legendami a mýtmi. Názvy hviezd sú arabského pôvodu, ale vo väčšine prípadov zodpovedajú ich umiestneniu v súhvezdí.

2.3 Objekty hlbokého vesmíru; Messierov katalóg

Je prirodzené venovať najväčšiu pozornosť najjasnejším hviezdám, ale ani zďaleka nie sú jedinými zaujímavými objektmi na oblohe. **Ďalekohľadom môžete vidieť nespočetné množstvo menších hviezd a môžeme vidieť aj planéty, satelity, asteroidy, kométy.** Pri hľadaní nových komét si francúzsky astronóm Charles Messier všimol, že na oblohe existujú nehybné objekty, ktoré sa podobajú kométam. Potom ich začal číslovať a označovať ich na svojich hviezdnych mapách. Takto začal svoj život slávny „Messierov katalóg“. **Vo svojej konečnej verzii pozostáva zo 110 takýchto objektov hlbokého vesmíru.** Dnes tieto objekty rozdeľujeme na hviezdokopy, hmloviny a galaxie, a sú predmetom osobitného záujmu profesionálnych aj amatérskych astronómov.

So zlepšením teleskopov boli objavené tisíce ďalších takýchto objektov. To viedlo k vytvoreniu ďalších, úplnejších a presnejších katalógov, dnes známych ako Caldwellov katalóg, Nový všeobecný katalóg (NGC), dva Indexové katalógy (IC-I a IC-II) atď.

Messierov katalóg Messierov katalóg je prvým katalógom astronomických objektov hlbokého vesmíru, ktorý zostavil a publikoval francúzsky astronóm Charles Messier v 18. storočí. Objekty pozoroval a opísal Charles Messier spolu so svojim priateľom a asistentom menom Pierre Méchain.



Obrázok 7: Objekty Messierovho katalógu

V katalógu sú zahrnuté rôzne astronomické objekty vrátane špirálových a eliptických galaxií (39), hmlovín (7), planetárnych hmlovín (5), rozptýlených a guľovitých hviezdokôp (55). Objekty v katalógu nie sú usporiadané podľa typu ani ich umiestnenia. Čísla sú uvedené v poradí pozorovania alebo detekcie objektu. Neskôr, na počesť Messiera, katalóg bol nazvaný „Messierov katalóg“ a objekty boli označené písmenom „M“ a ich poradovým číslom (od M1 do M110).

Keďže Messier žil a vykonával svoje astronomické pozorovania vo Francúzsku, katalóg obsahuje iba objekty umiestnené medzi Severným nebeským pólom a nebeskou šírkou okolo 35° . Messier robil svoje pozorovania iba za pomoci binokuláru alebo malých ďalekohľadov. Vďaka dnešnej, modernej úrovni astronomického vybavenia sú všetky tieto objekty hlbokého vesmíru ľahko prístupné na pozorovanie aj súčasným amatérskym astronómom. Takmer všetky objekty v katalógu patria totiž k najbližším zemským predstaviteľom vo svojich triedach, a preto sa dobre študujú aj zo strany profesionálnych astronómov.

2.4 Charles Messier (1730 – 1817)



Charles Messier bol francúzsky astronóm, ktorý zostavil slávny „Messierov katalóg“. Messier sa narodil 26. júna 1730 v obci Badonviller vo Francúzsku.

Jeho záujem o astronómiu vyvolali dve po sebe nasledujúce udalosti: výskyt veľkej kométy so šiestimi chvostmi v roku 1744 a prstencové zatmenie Slnka 25. júla 1748. Messierovým prvým dokumentovaným pozorovaním bol prechod Merkúra cez kotúč Slnka dňa 6. mája 1753.

V roku 1764 sa Messier stal členom Kráľovskej spoločnosti v Londýne. V roku 1769 bol zvolený za zahraničného člena Švédskej kráľovskej akadémie vied. Dňa 30. júna 1770 bol zvolený za člena Francúzskej akadémie vied. Snom Charlesa Messiera bolo stať sa slávnym objaviteľom kométy. Bohužiaľ, keď Charles sledoval oblohu svojím ďalekohľadom, často na oblohe vídaval rozmazané objekty, ktoré už boli známe (a neboli to kométy). Preto sa rozhodol ušetriť sebe trocha času a zakaždým, keď objavil objekt, ktorý sa nepohyboval (očakávalo sa, že kométy sa budú pohybovať medzi hviezdami), poznamenal si ho.

V roku 1774 Messier publikoval prvú verziu svojho katalógu, ktorá obsahovala 45 objektov vrátane hmlovín a hviezdokôp v časopise Francúzskej akadémie vied. Do roku 1781 sa zoznam rozrástol na 103 objektov. Cieľom katalógu bolo pomôcť astronómom a „lovcom komét“ (akým bol sám Messier) rozlišovať migrujúce a stále nebeské objekty. Aj keď vo svojom živote objavil až 13 komét, Charles Messier sa stal známym práve pre jeho katalóg. Aj dodnes je Messierov katalóg objektov hlbokého vesmíru široko využívaný amatérskymi a profesionálnymi astronómami. Dňa 12. apríla 1817 zomrel Messier vo svojom dome v Paríži. Bol pochovaný na cintoríne Pere Lachase. Na jeho počesť bol pomenovaný mesačný kráter a asteroid č. 7359.

3. PRAKTICKÉ CVIČENIA PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Práca s počítačovým programom alebo smartfónovou aplikáciou typu Planetárium

V závislosti od možností je pre učiteľa dobré ukázať najjednoduchšie možnosti nejakého bezplatného planetáriového programu, ako je napríklad Stellarium. S jeho pomocou je možné ukázať nájdenie súhvezdí opísaných v tejto lekcii.

Žiaci si potom môžu nainštalovať bezplatnú aplikáciu na svoje mobilné zariadenia (telefóny alebo tablety), ako sú napríklad SkyMap, SkySafari atď. Žiakov potom môžeme požiadať, aby našli napríklad súhvezdia, ktoré susedia so súhvezdím Malý medveď. Pomocou týchto programov sa môžu žiaci oboznámiť aj s názvami najjasnejších hviezd jednotlivých súhvezdí.

Žiaci môžu byť rozdelení do skupín a skúmať súhvezdia zimnej, jarnej, letnej či jesennej oblohy.

Úloha 2: Názvy hviezd

Žiaci majú vyplniť chýbajúce názvy súhvezdí alebo hviezd v nasledujúcej tabuľke. To sa dá urobiť aj pomocou počítačového programu, telefónnej aplikácie alebo vytlačenej hviezdnej mapy v závislosti od dostupných zdrojov.

SÚHVEZDIE	NAJJASNEJŠIA HVIEZDA V SÚHVEZDÍ
Lýra	
Veľký pes	
Labuť	
	Capella
Býk	
Lev	
Panna	
	Betelgeuze
Škorpión	
	Prokyón

Úloha 3: Messierove objekty

Žiakom sa ukážu fotky objektov z Messierovho katalógu. Toto je možné urobiť buď pomocou počítača (a multimediálneho projektora), alebo vytlačení obrázkov objektov hlbokého vesmíru na farebných tlačiarňach. Úlohou žiakov je uhádnuť, či je daný objekt hmlovina, hviezdokopa alebo galaxia.

Je dobré, ak učelia najprv strávia so žiakmi nad touto úlohou určitý čas a až potom sa uistia, že žiaci dokážu rozoznať aspoň jednu galaxiu – napr. galaxiu Andromeda (M31), aspoň jednu hmlovinu – napr. hmlovinu Orión (M42) a aspoň jednu hviezdokopu – napr. hviezdokopu Plejády (M45).

SÚHVEZDIE	NAJJASNEJŠIA HVIEZDA V SÚHVEZDÍ
Lyra	
Canis Major	
Cygnus	
	Capella
Taurus	
Leo	
Virgo	
	Betelgeuse
Scorpius	
	Procyon

SÚHVEZDIE	NAJJASNEJŠIA HVIEZDA V SÚHVEZDÍ
Lyra	
Canis Major	
Cygnus	
	Capella
Taurus	
Leo	
Virgo	
	Betelgeuse
Scorpius	
	Procyon

SÚHVEZDIE	NAJJASNEJŠIA HVIEZDA V SÚHVEZDÍ
Lyra	
Canis Major	
Cygnus	
	Capella
Taurus	
Leo	
Virgo	
	Betelgeuse
Scorpius	
	Procyon

SÚHVEZDIE	NAJJASNEJŠIA HVIEZDA V SÚHVEZDÍ
Lyra	
Canis Major	
Cygnus	
	Capella
Taurus	
Leo	
Virgo	
	Betelgeuse
Scorpius	
	Procyon

SÚHVEZDIE	NAJJASNEJŠIA HVIEZDA V SÚHVEZDÍ
Lyra	Vega
Canis Major	Sirius
Cygnus	Deneb
Auriga	Capella
Taurus	Aldebaran
Leo	Regulus
Virgo	Spica
Orion	Betelgeuse
Scorpius	Antares
Canis Minor	Procyon

MERANIE ČASU (ČAS, HODINY)

1. ÚVOD

Meranie času je téma, ktorá sa v učive základnej školy vyskytuje, aj keď v najzákladnejšej podobe, už v úvodných ročníkoch. Astronomické poznatky, na ktorých je meranie času založené, sú potom rozdelené podľa rozvoja intelektových možností detí s vekom do učiva v ďalších ročníkoch, prakticky počas celej základnej školy, ale aj následne na ďalších stupňoch vzdelávania.

1.1 Kľúčové slová

Slnko, hviezda, Zem

ročné obdobia, deň a noc

fázy Mesiaca, sklon osi Zeme, hviezdny čas

pravý slnečný čas, stredný slnečný čas

svetový čas, pásmový čas, stredoeurópsky čas

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

2.1 Pravý slnečný čas a stredný slnečný čas

Astronomické javy umožňujú ľuďom rozčleniť spojité plynutie času na rôzne dlhé, väčšinou však dlhodobejšie **časové intervaly**. Pre toto rozčlenenie možno využiť najrôznejšie astronomické telesá, **najvýraznejšie z pohľadu pozorovateľov je však Slnko a Mesiac**. Postupom času boli hľadané súvislosti medzi základnými časovými jednotkami odvodenými z pohybov astronomických telies po oblohe, vznikli prvé kalendáre. Zároveň dochádzalo k vylepšovaniu hodnôt základných časových jednotiek, pri hlbšom pochopení astronomických javov a procesov vznikali ďalšie časové jednotky. Rozvoj priemyslu viedol k vynálezom najrôznejších časomerných zariadení – hodín – a k potrebe zaviesť presnejšie meranie času, najmä v oblasti kratších časových intervalov.

Ako je uvedené vyššie, **najnápadnejším telesom na oblohe je Slnko. Pohyb Slnka po oblohe rozdeľuje časové kontinuum na pravidelné striedanie dní a nocí**. Toto rozdelenie kontinua je však hrubé, a tak sa objavila potreba rozčlenenia dňa na kratšie úseky. Jednotlivé úseky môžu byť dané rozdielnou polohou slnečného kotúča na oblohe. Toto monitorovanie časových úsekov však nie je úplne optimálne, pretože závisí od miesta pozorovateľa (napríklad poloha Slnka nad nejakým osamoteným stromom môže pre pozorovateľa v rôznych miestach nastať v rôznych denných časoch). Ako vhodnejšie sa ukázalo sledovanie tieňa tyče zapichnutej do zeme. **Vznikajú tak prvé jednoduché (z nášho dnešného pohľadu presnejšie gnómonické) slnečné hodiny**.

Slnko
a meranie
času

Čas, ktorý je meraný slnečnými hodinami, je odvodený z pohybu slnečného kotúča po oblohe (čiže presnejšie rotáciou Zeme okolo osi voči Slnku) a označuje sa ako pravý slnečný čas. Pojem pravé slnko je definovaný ako stred skutočného slnečného disku na oblohe. **Pravý slnečný čas je určený hodinovým uhlom Slnka a je rozdelený na slnečné dni a slnečné hodiny**. Jeden slnečný deň je čas, ktorý uplynie za dobu jednej rotácie Zeme, je to teda doba medzi dvoma priechodmi Slnka určitým poludníkom. Môže byť tiež definovaný ako čas medzi dvoma po sebe nasledujúcimi kulmináciami pravého slnka. Pretože je pohyb slnka po oblohe nerovnomerný, mení sa počas roka dĺžka pravého slnečného dňa. Pre bežné využitie tak nie je úplne optimálny, a preto namiesto neho v bežnom živote používame čas odvodený od stredného slnečného času, ktorý plynie rovnomerne.

Pravý
slnečný čas

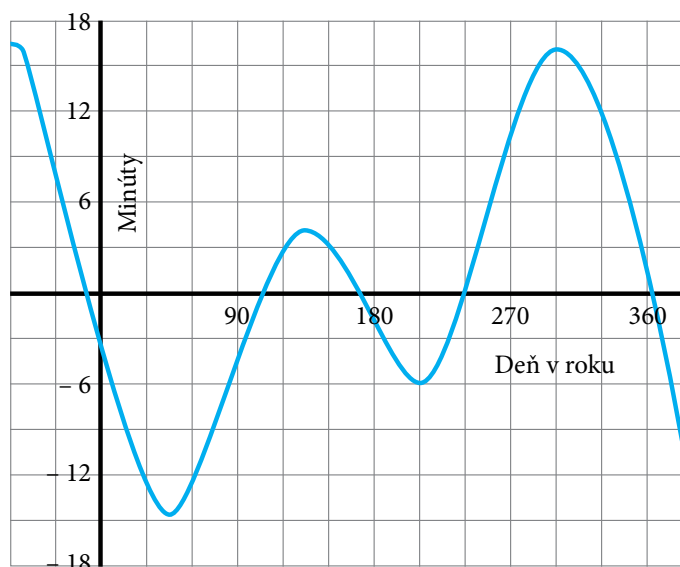
Príčiny nerovnomernosti pravého slnečného dňa sú dve: jednak **eliptičnosť trajektórie Zeme okolo Slnka**, jednak **sklon osi Zeme** (táto príčina, hoci uvedená ako druhá, je pre nerovnomernosť významnejšia). Najkratší pravý slnečný deň nastáva 16. septembra a je o 21 s kratší než priemerný pravý slnečný deň, naopak najdlhší pravý slnečný deň nastáva 22. decembra a je dlhší o 30 s ako priemer.

4. Objavovanie vesmíru

Kým pre ľudstvo nepredstavoval rozdiel desiatok sekúnd v meraní času žiadny význam (a hlavne kým tento rozdiel nebol vtedajšími hodinami zistiteľný), bolo praktické používanie pravého slnečného dňa bezproblémové. To však skončilo v súvislosti s rozvojom presného merania času. Potom vystala potreba použitia rovnomerne plynúceho času, avšak takého, aby sa v zásade ani pri použití tohto rovnomerného času nezmenila dĺžka slnečného dňa. **Vznikol tak stredný slnečný čas (spriemerovaný pravý slnečný čas), ktorý za rok obsahuje rovnaký počet sekúnd ako pravý slnečný čas, ale plynie rovnomerne.**

Stredný slnečný čas

Úplne presne ho možno definovať tak, že je to **hodinový uhol tzv. druhého stredného slnka**. Druhé stredné slnko je pomyselný bod na nebeskej sfére, ktorý sa pohybuje po ekliptike rovnomerne a s pravým slnkom sa stretáva v jarnom bode. Okrem neho existuje ešte prvé stredné slnko, ktoré sa tiež po nebeskej sfére pohybuje rovnomerne, ale stretáva sa s pravým slnkom v perihéliu a aféliu. Je zrejme, že takto definovaný stredný slnečný čas nie je úplne praktický pre určenie z pohybu slnka, pretože druhé stredné slnko je len pomyselný bod. Preto sa v praxi určuje stredný slnečný čas z hviezdneho času, o ktorom sa bude hovoriť neskôr. Ani stredný slnečný čas nie je dokonale konštantný najmä pri dlhodobom meraní času presahujúcom niekoľko storočí (alebo s ohľadom na zmeny vyvolané napríklad zemetraseniami, dopadmi meteoritov na zemský povrch, či ďalšími podobnými javmi). Pretože vieme čas v súčasnej dobe zmerať s nebyvalou presnosťou, sme schopní určiť aj tak drobné odchýlky. V priemere je v súčasnej dobe stredný slnečný deň asi 86 400,002 sekúnd definovaných v sústave SI.



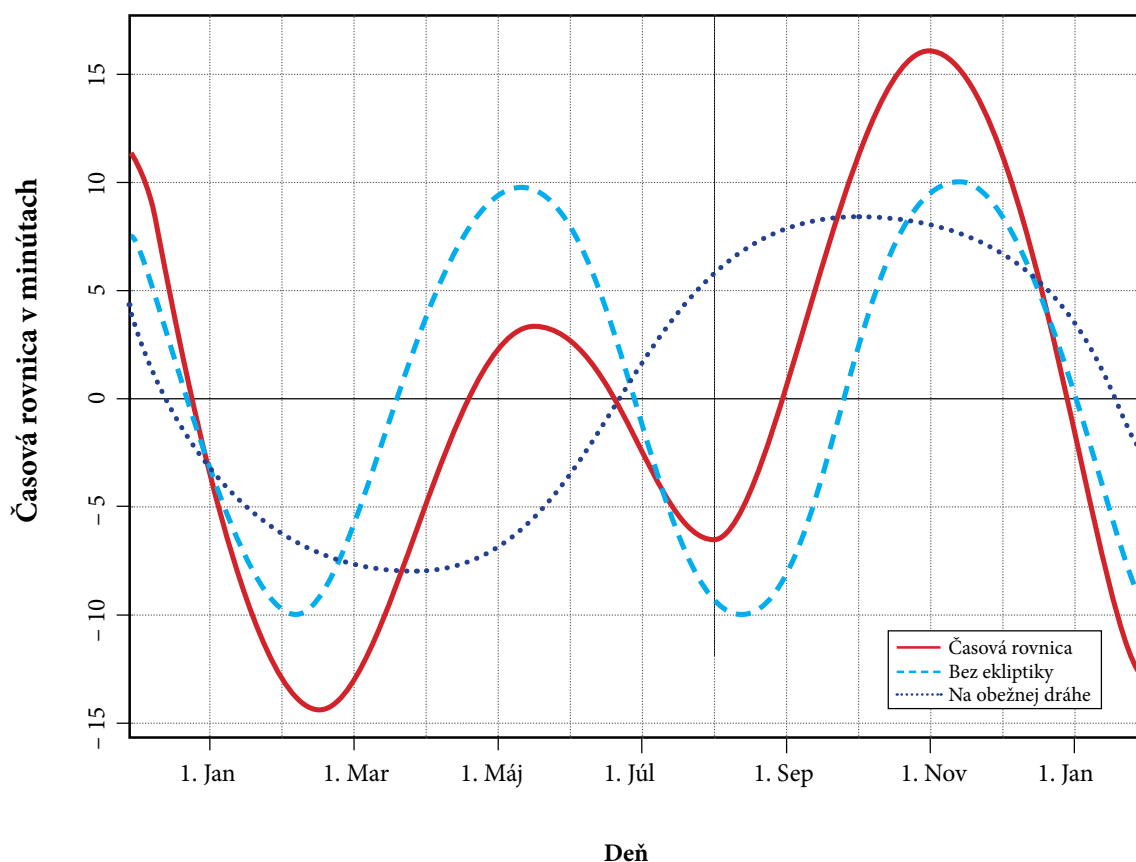
Obrázok 8: Časová rovnica

(Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Equation_of_time.svg)

Časová rovnica

Medzi pravým a stredným slnečným časom dochádza v priebehu roka k pravidelným zmenám, ktoré opisuje fyzikálna veličina nazvaná časová rovnica. Tá sa rovná rozdielu oboch časov: $\Delta t = t_p - t_s$, kde t_p je pravý slnečný čas a t_s je stredný slnečný čas. Závislosť časovej rovnice od dňa v roku znázorňuje pripojený graf. Pretože rozdiely pravých a stredných slnečných dní sa postupne kumulujú, najväčšia hodnota časovej rovnice sa rovná 16,4 minúty (pravý slnečný čas je o 16,4 minúty oneskorený za stredným slnečným časom), a to 3. novembra. Minimálne hodnoty -14,4 minúty (pravý slnečný čas sa o 14,4 minúty predbieha pred stredným slnečným časom) dosahuje časová rovnica 12. februára.

Časová rovnica: pravý slnečný čas – stredný slnečný čas

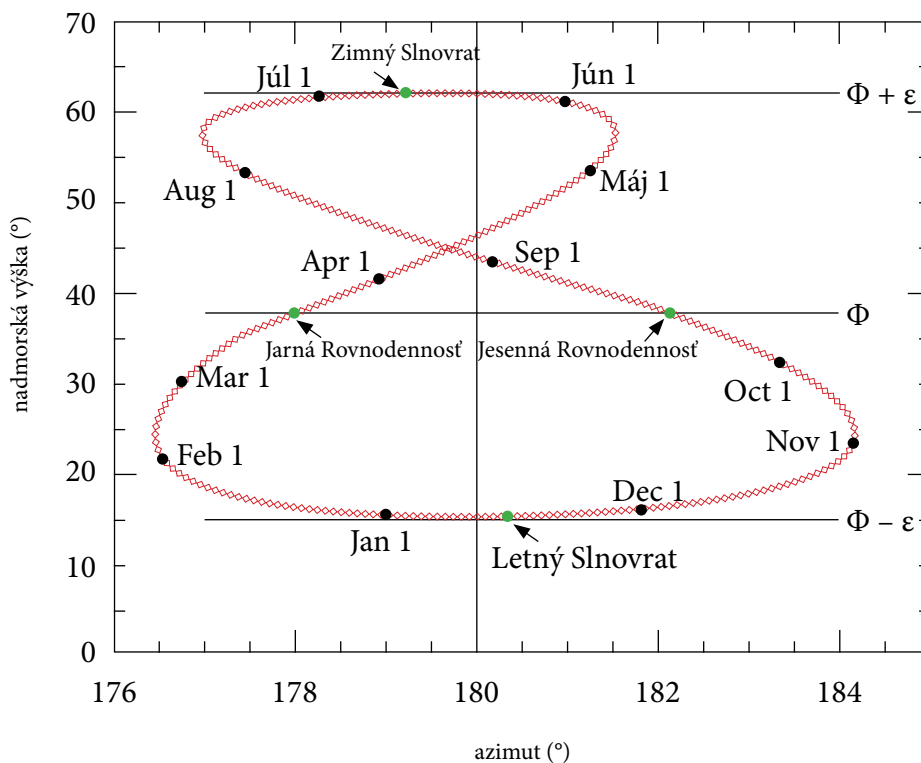


Obrázok 9: Časová rovnica: pravý slnečný čas, stredný slnečný čas

(Zdroj: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Zeitgleichung.png>)

Ak budeme počas roka zaznamenávať polohu Slnka na oblohe pravidelne v určitý čas, napríklad na poludnie, nebude sa vplyvom rozdielu medzi stredným slnečným časom a pravým slnečným časom pohybovať po úsečke, ale bude opisovať oveľa zložitejšiu krivku v tvare osmičky, ktorej hovoríme **analema** (pozri obr.). **Na rozdiel medzi pravým a stredným slnečným časom je založená aj pranostika „Lucia noci upíja, ale dňa nepriďá“, ktorá na prvý pohľad vyzerá nezmyselne.** Jej vysvetlenie súvisí s tým, že na sviatok Lucie (13. 12.) Slnko zapadá najskôr v celom roku (tesne pred 16. hodinou), teda „po Lucii“ sa západy už posúvajú späť za 16. hodinu, ale pretože najneskorší východ slnka nastáva až začiatkom januára (v decembri sa znateľne v rádoch minút posúvajú okamihy pravého poludnia), nie je „na Luciu“ najkratší biely deň, ale skracuje sa až do okamihu zimného slnovratu, teda na 20. či 21. 12.

4. Objavovanie vesmíru



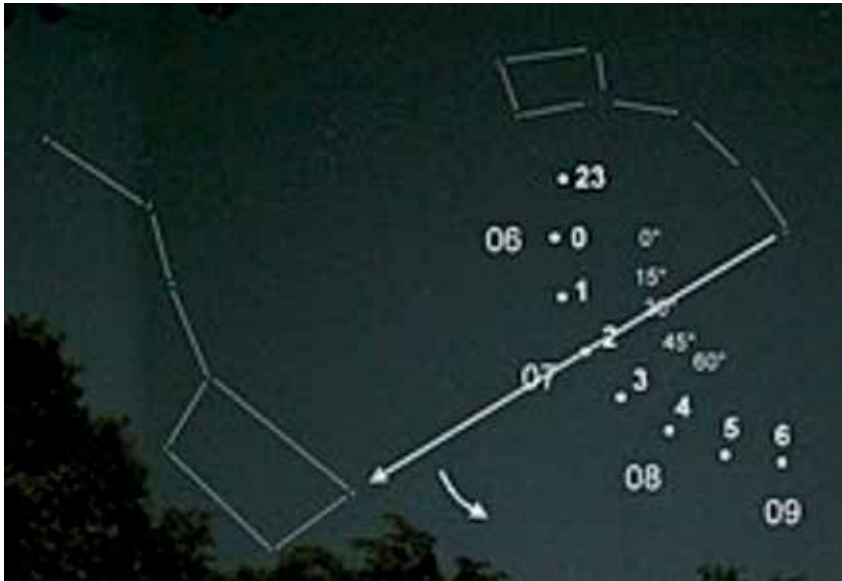
Obrázok 10: Analema

(Zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Analemma_Earth.png)

Ani stredný slnečný čas však neplynie presne rovnomerne. Hlavnou príčinou je nerovnomernosť rotácie Zeme spôsobená jednak krátkodobými mimoriadnymi procesmi na Zemi, ako je zemetrasenie, dopady kozmických telies a pod., jednak systematické spomalenie rotácie Zeme o 0,017 s za storočie vplyvom prílivového pôsobenia Mesiaca, ktoré spomaľuje rotáciu Zeme a súčasne znižuje jej sploštenie. Ide však o veľmi malé vplyvy, a tak ich potrebujeme zohľadniť až pri potrebe väčšej presnosti časových údajov alebo v prípade dlhodobých časových intervalov.

2.2 Hviezdny čas

Kým slnečný čas je určený z rotácie Zeme voči Slnku, **hviezdny čas je určený z rotácie Zeme voči vzdialeným hviezdám**. Pretože Zem okrem rotácie koná ešte obežný pohyb okolo Slnka, a teda poloha Slnka medzi hviezdami sa pozorovateľovi na Zemi počas roka mení, **navzájom sa slnečný čas a hviezdny čas od seba líšia. V astronómii je presne definovaný ako hodinový uhol jarného bodu, teda bodu s nulovou rektascenziou**. Ak jarný bod prechádza miestnym poludníkom (meridiánom), je práve 0 hodín miestneho hviezdneho času. Hviezdny čas beží o niečo rýchlejšie ako slnečný čas. Preto je jeden hviezdny deň trochu kratší ako jeden slnečný deň; rovná sa 23 h 56 min a 4,09 s stredného slnečného času. **Hviezdny čas možno sledovať podľa polohy súhvezdí na oblohe, ako znázorňuje nasledujúci obrázok.**

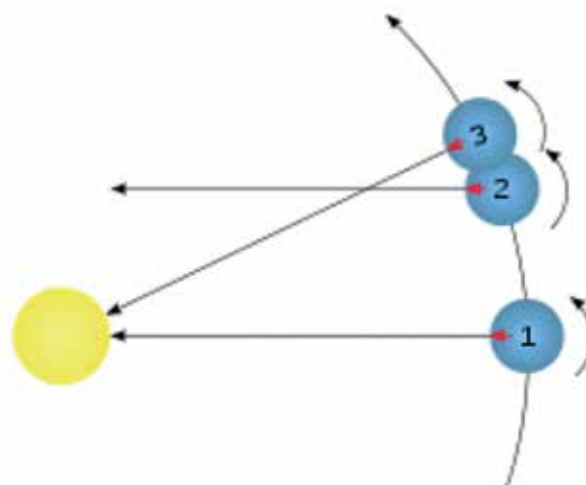


Obrázok 11: Hviezdny čas

(Zdroj: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Grosserwagenmitzeigerz.jpg>)

Rozdiel dĺžky hviezdneho a slnečného času možno priblížiť pomocou pripojeného schematického obrázka (v schéme si nezodpovedajú vzájomné veľkosti telies, ich vzdialenosť ani uhol medzi polohami 1 a 3). Vyjdime z polohy Zeme označenej číslicou 1. Zem sa pohybuje okolo Slnka približne po kružnici (ide presne o elipsu, avšak len nepatrne odlišnú od kruhu) a súčasne sa otáča okolo vlastnej osi. Smer obiehania a smer rotácie Zeme sú rovnaké (momenty hybnosti oboch pohybov majú rovnakú orientáciu). Potom, čo sa Zem okolo svojej osi otočí o 360 stupňov, dostane sa do polohy 2. Medzi 1 a 2 ubehol jeden hviezdny deň. Pozorovateľ na povrchu Zeme však ešte nemá Slnko v rovnakej polohe, ako bola v polohe 1. Až po ďalšom pohybe okolo Slnka a súčasnej rotácii okolo svojej osi sa dostane Zem do polohy 3, kedy má pozorovateľ na povrchu Zeme Slnko v rovnakej polohe ako v polohe 1. Medzi polohami 1 a 3 ubehol jeden slnečný deň. Je teda zjavné, že slnečný deň je dlhší ako hviezdny deň.

Na obrázku je vidieť uhol medzi sprievodičmi v polohe 1 a 3, ktorý zodpovedá jednému slnečnému dňu. Pretože rok má približne 365 dní a kružnici zodpovedá uhol 360 stupňov, Zem okolo Slnka každý deň prejde uhol približne rovný 1 stupňu (presnejšie uhol o niečo menší, rovný $360/365$ stupňa). O rovnaký uhol sa pootočí Zem okolo svojej osi viac, aby nastal jeden slnečný deň. Preto je slnečný deň dlhší o čas potrebný na otočenie Zeme o jeden stupeň, teda o 4 minúty ($1/360$ dňa sa rovná $24 \cdot 60/360$ minútam, čo sú uvedené 4 minúty). Pretože uhol je o niečo menší ako 1 stupeň (ako je uvedené vyššie, rovná sa $360/365$ stupňa), je rozdiel medzi hviezdny a slnečným dňom nepatrne menší ako vypočítané 4 minúty (3 min 55,91 s stredného slnečného času, čiže 3 min 56,555 s hviezdneho času).



Obrázok 12: Hviezdny deň

(Zdroj: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sidereal_day_\(prograde\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sidereal_day_(prograde).svg))

Dohodou je stanovené, že slnečný a hviezdny čas majú rovnakú hodnotu v okamihu jesennej rovnodennosti.

Poznámka: Okrem spomínaných časov používajú astronómovia ešte ďalšie časy, ktoré sú presnejšie a zbavujú sa najrôznejších vplyvov narušujúcich ich stabilné spojité plynutie.

2.3 Svetový koordinovaný čas

Ferrský poludník Slnečný čas je rôzny pre rôzne miesta na Zemi, pretože slnko vychádza a zapadá na rôznych miestach v rôznom čase (a rovnako tak nastáva v iný čas na rôznych miestach poludnie). Presnejšie povedané, na každom zemskom poludníku platí iný čas. Nebolo by však praktické, aby prakticky v každom mieste na Zemi platil iný čas. Preto bolo rozhodnuté použiť rovnaký čas pre väčšie územie. Klúčové bolo dosiahnutie dohody na tom, na ktorom mieste na Zemi bude meraný základný čas. Ako optimálny bol najprv využitý najzápadnejší ostrov Kanárskych ostrovov, ostrov El Hierro (alebo tiež Ferro).

Túto voľbu navrhoval už Klaudios Ptolemaios v roku 150 n. l. vzhľadom na to, že všetky miesta sú na východ od tohto poludníka, vystačia pri zemepisných dĺžkach kladné čísla, realizovaná však bola až v roku 1634 francúzskym kráľom Ľudovítom XIII. potom, čo na základe stretnutí najvýznamnejších európskych astronómov a geografov prikázal prekresliť všetky mapy vo Francúzsku, aby boli v zhode so stanovením ferrského poludníka ako základného. Dohoda však mala platnosť nielen pre Francúzsko, ale prakticky pre celú Európu (s výnimkou Anglicka).

Greenwichský poludník Ferrský poludník sa ako základný používal vo Francúzsku až do roku 1792, kedy bol nahradený parížskym, inde v Európe však až do roku 1884, kedy bol medzinárodnou dohodou stanovený ako základný, nultý poludník greenwichský, prechádzajúci hviezdárňou v anglickom meste Greenwich. Pre výber tohto poludníka používaného v Anglicku ako základného od roku 1721 hralo dôležitú úlohu to, že základný poludník prechádza

hvezdárňou, čo umožnilo presnejšie meranie času. Celosvetové zjednotenie na základnom poludníku bolo dôležité, pretože do tej doby si prakticky každá významnejšia krajina stanovila svoj vlastný základný poludník. Tak napríklad Portugalsko určovalo zemepisné dĺžky od ostrova Terceira, Španielsko od mesta Toledo, Francúzsko (ako už bolo uvedené vyššie) od Paríža, Holandsko od Tenerife, Dánsko od Kodane, Taliansko od Ríma či Pisy, Rusko od Petrohradu (resp. presnejšie od hvezdárne Pulkovo) a pod. Základnými poludníkmi boli aj poludníky prechádzajúce Jeruzalemom či Philadelphiou.

Určenie **greenwichského poludníka za oficiálny základný poludník** bolo rozhodnuté na zvláštnej konferencii (International Meridian Conference) usporiadanej z iniciatívy amerického prezidenta Chestera A. Arthura v októbri 1884 vo Washingtone za účasti 41 delegátov z 25 krajín. V tej dobe už využívali tento poludník ako základný dve tretiny všetkých lodí (poludník ako základný presadzoval pre anglické lode významný anglický astronóm sir George Airy už od roku 1851). Za stanovenie greenwichského poludníka za nulový sa na konferencii vyslovili zástupcovia 22 krajín, Francúzsko a Brazília sa zdržali a Haiti (vtedajší San Domingo) bolo proti.

Na konferencii boli okrem stanovenia základného poludníka prijaté aj ďalšie závery týkajúce sa merania času, napríklad to, že **základom pre univerzálnu jednotku času bude stredný slnečný deň, ktorého začiatok bude poľnoc stredného slnečného času**. Nulový poludník bol dlho symbolizovaný mosadzným pásikom vo dvore, neskôr bol nahradený nerezovou oceľou, a od 16. decembra 1999 poludník označuje zelený laser namierený na sever na nočnú oblohu Londýna. Prístroje GPS však v Greenwichi ukazujú, že značiaci prúžok pre nulový poludník v Greenwichi nie je presne na hodnote nula zemepisnej dĺžky, ale je vzdialený 102,478 m od poludníka (astronomická dĺžka greenwichského poludníka je 5,3" západnej dĺžky), čo je dané podľa najnovšieho rozboru z roku 2015 najmä tým, že sklon vertikály meraný z lietadla voči povrchu Zeme na danom mieste nie je rovný 90 stupňom. Prejavujú sa aj ďalšie javy, ale ich vplyv je menej významný.

Čas, z ktorého je potom odvodený občiansky čas používaný všade na svete, sa označuje **koordinovaný svetový čas UTC** (Coordinated Universal Time). Koordinovaný svetový čas nadväzuje na **greenwichský stredný čas GMT** (Greenwich Mean Time). Kým však greenwichský stredný čas je určený zo zdanlivého pohybu nebeských telies, teda z pohybu Zeme voči vzdialeným nebeským objektom (hviezdy, kvazary), je koordinovaný svetový čas viazaný na **medzinárodný atómový čas TAI** (Temps Atomique International), teda čas meraný atómovými hodinami. Ak sa rozdiel medzi koordinovaným svetovým časom a stredným slnečným časom priblíži hodnote jednej sekundy, je tento rozdiel eliminovaný vložением **priestupnej sekundy** o polnoci z 30. 6. na 1. 7. alebo z 31. 12. na 1. 1. (posledná bola pridaná z 31. 12. 2016 na 1. 1. 2017). Hlavnou systematickou príčinou rozdielu medzi oboma časmi je spomaľovanie rotácie Zeme, a preto sú až doteraz vždy priestupné sekundy pridávané, teoreticky je však možné aj odobratie priestupnej sekundy. Celkový rozdiel vzrástol od roku 1972, kedy rozdiel predstavoval 10 s, do roku 2019 (v tomto časovom intervale bolo zaradených 27 priestupných sekúnd) na 37 sekúnd.

Koordinovaný svetový čas

Poznámka: Na spresnenie svetového času UT bolo zavedených 1. januára 1956 niekoľko systémov svetového času podľa toho, ktoré nerovnosti či nerovnomernosti kompenzujú.

4. Objavovanie vesmíru

- Najjednoduchšou verziou svetového času je čas **UT0**, určený pre Greenwich z astronomických pozorovaní denných pohybov hviezd, Mesiaca, zemských družíc aj extragalaktických rádiových zdrojov (najmä kvazarov). Tento systém času nezahŕňa žiadne kompenzácie.
- Základný systém svetového času je označovaný **UT1**. Na rozdiel od UT0 je v ňom kompenzovaný pohyb zemských pólov vnútri Zeme, ktorý spôsobuje zmeny polôh a rovin jednotlivých poludníkov. Je určovaný z rotácie Zeme voči vzdialeným nebeským objektom. Rovnako ako UT0 je aj UT1 nerovnomerný vzhľadom na nerovnomernosť zemskej rotácie. Jeho nepresnosť predstavuje 3 ms za deň.
- Podtypom UT1 je čas **UT1R**, v ktorom sú kompenzované nerovnomernosti rotácie Zeme spôsobené slapovými javmi (prílivom a odlivom), teda nerovnomernosti s periódou menšou ako 35 dní.
- Ďalším systémom času je systém **UT2**, v ktorom sú vzhľadom na UT1 kompenzované nerovnomernosti rotácie Zeme počas roka. Tento systém času sa však pre meranie času v súčasnosti príliš nevyužíva.
- Podtypom UT2 je čas **UT2R**, v ktorom sú kompenzované nerovnomernosti rotácie Zeme spôsobené slapovými javmi (prílivom a odlivom). Nerovnosti v UT2R sú potom spôsobené iba nepredvídateľnými zmenami rýchlosti rotácie Zeme vyvolané napríklad prejavmi doskovej tektoniky, zemetraseniami, ale aj inými výraznými pohybmi hmoty v zemskom plášti, presunmi vody v oceánoch (tsunami), či vzduchu v zemskej atmosfére.
- Pre meranie času je zásadný už vyššie uvedený koordinovaný svetový čas **UTC**, ktorý je na rozdiel od všetkých uvedených systémov odbremený od nerovnomernosti zemskej rotácie, a to svojou nadväznosťou na medzinárodný atómový čas TAI. Koordinovaný svetový čas UTC je určovaný z meraní času v mnohých národných časových laboratóriách vybavených atómovými hodinami; z týchto meraní potom Medzinárodný úrad pre miery a váhy spätne určí hodnotu UTC, pretože jednotlivé atómové hodiny sa môžu o niekoľko nanosekúnd navzájom líšiť.

Poznámka: Okrem koordinovaného svetového času je pre potreby orientačnej znalosti času vydávaná aj „rýchlejšia“ predbežná hodnota času UTCr (UTC rapid).

Priestupná sekunda sa zaraďuje podľa rozdielu koordinovaného svetového času a svetového času UT1. Ak sa ich rozdiel zväčší na 0,9 s, je rozhodnuté o vložení (či prípadnom odobratí) jednej sekundy o polnoci 30. 6. či 31. 12., ako je uvedené vyššie. Zaujímavosťou je, že systém GPS nepoužíva vkladanie priestupných sekúnd. Rozdiel medzi UTC a UT1 tak stále zodpovedá 19 s, ako tomu bolo v roku 1980. Všetko je však kompenzované softvérovo v prijímačoch signálu GPS.

2.4 Pásmový čas

Na rôznych miestach na Zemi vychádza slnko v rôznom čase. Na praktické využitie sa tak ukazuje ako vhodné zavedenie času, ktorý by reflektoval rôznu polohu daného miesta na Zemi. **Riešením je zavedenie systému pásmových časov.**

Základom pre zavedenie systému pásmových časov, ako ho poznáme, je myšlienka, že keď sa na Zemi (zanedbáme polárne oblasti) posunieme o 15 stupňov východne, vyjde slnko o 1 hodinu skôr. To možno dokázať jednoduchým výpočtom: 360 stupňov zodpovedá 24 hodinám, preto 15 stupňov znamená rozdiel 1 h. Preto ak použijeme poludníky so zemepisnou dĺžkou rovnou násobkom 15 stupňov, dostaneme na Zemi sieť poludníkov, v ktorých bude stredný slnečný čas posunutý o násobky hodín voči času UTC. **Vyššie uvedené hrubé rozdelenie povrchu Zeme na jednotlivé pásy však nie je úplne optimálne, a to najmä s ohľadom na hranice jednotlivých štátov.** S výnimkou obrovských štátov, ako je Rusko, Austrália či USA, je vhodné, aby v danom štáte platil jeden pásmový čas, ba dokonca aby platil rovnaký pásmový čas v štátoch geograficky blízky. Preto je mapa pásmových časov uvedená vyššie oveľa pestrejšia, než by zodpovedalo prísnemu uplatňovaniu pásiem podľa poludníkovej siete. Na mape môžeme zaregistrovať aj časové pásma, ktoré sa líšia od UTC o necelý počet hodín.

Časové pásma



Obrázok 13: Časové pásma

(Zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Time_Zones_Map.png)

Slovenská republika využíva **stredoeurópsky čas** posunutý od UTC o 1 hodinu (SEČ = UTC + 1 h), resp. **stredoeurópsky letný čas** posunutý od UTC o 2 hodiny (SELČ = UTC + 2 h). V médiách sa často stredoeurópsky čas označuje nesprávne ako „zimný čas“, ktorý podľa zákona skutočne existuje, avšak ako čas posunutý od stredoeurópskeho o 1 h opačným smerom ako letný čas; je to teda vlastne UTC.

4. Objavovanie vesmíru

Stredoeurópsky čas je čas zodpovedajúci poludníku 15. stupňa východnej dĺžky, ktorý prechádza napríklad cez Pacov (ČR). Ako už vieme, na miestach východne od tohto poludníka vychádza slnko skôr, na miestach západne od poludníka naopak neskôr. Každý stupeň zemepisnej šírky znamená posun 4 minúty (15 stupňov zemepisnej šírky zodpovedá 1 hodine, čiže 60 minútam, preto 1 stupeň zodpovedá 4 minútam). Rozdiel zemepisných šírok najvýchodnejšieho a najzápadnejšieho miesta v SR je necelých 7 stupňov, rozdiel východov (a západov) slnka je v rovnaký deň asi 27 minút.

2.5 Meranie času hodinami

Zariadenia na meranie času sa všeobecne nazývajú **hodiny**. Názov hodiny pochádza zo staroslovanského slova *goch*, ktoré znamená sviatok, výročie. V priebehu ľudskej histórie vznikli hodiny na početných fyzikálnych princípoch, s rôznou presnosťou a rôznymi možnosťami použitia. Presné hodiny sú dôležité nielen pre vlastné meranie času, ale napríklad v námornej a leteckej doprave **umožňujú určovanie polohy lodí**. Preto bol v histórii ľudstva tak dôležitý objav hodín pre námorné plavby, alebo v súčasnej dobe systém GPS (Global Positioning System) či ďalšie systémy jemu podobné.

Slnčné hodiny Osobitný význam majú **slnčné hodiny**, ktoré na rozdiel od ďalších typov hodín **merajú pravý slnečný čas na danom mieste povrchu Zeme**. Slnčné hodiny môžeme deliť podľa tvaru a polohy ukazovateľa, ktorého tieň na stupnici ukazuje časový údaj. Rozlišujeme tak **slnčné hodiny s polosom**, tyčkou smerujúcou v smere zemskej osi, a **slnčné hodiny s gnómonom**, tyčkou či tyčou kolmou k zemskému povrchu v danom mieste. Rozlišovať môžeme slnečné hodiny aj podľa ďalších aspektov, napríklad podľa umiestnenia, resp. podľa orientácie steny, na ktorej sú umiestnené, či podľa ďalších funkčných prvkov či podľa grafickej podoby. **Niektoré slnečné hodiny sú vybavené nódom, malou guľičkou na konci ukazovateľa, ktorý umožňuje na hodinách určiť nielen hodinu, ale aj približný deň v roku**. Iné slnečné hodiny majú dvojité stupnice, a to jednak so stredoeurópskym časom a jednak so stredoeurópskym letným časom. Na stupnici môže byť vyznačená aj analema pri určitej hodine, najčastejšie pri 12. hodine, či dokonca väčší počet týchto kriviek.

Typy hodín Ostatné hodiny môžeme rozdeliť do dvoch nerovnako veľkých skupín: na **hodiny, ktoré odmeriavajú určité časové intervaly, a hodiny, ktoré odmeriavajú a ukazujú príslušný (pásmový) čas**.

Do prvej skupiny patria napríklad:

- **hodiny presýpacie**, ktoré majú svoj typický tvar a ktoré odmeriavajú čas (dobu) potrebný na presýpanie jemného piesku z jednej časti nádoby do druhej;
- **hodiny vodné (klepsydra)**, ktoré merajú časový interval potrebný k preliatiu daného objemu vody, čas je indikovaný poklesom hladiny kvapaliny v priehľadnej nádobe;
- **hodiny sviečkové**, ktoré na rozdiel od predchádzajúcich typov boli použiteľné iba jednorázovo a ktoré odmerali čas podľa dĺžky odhorenej časti sviečky;
- **stopky** určené na presné odmeriavanie doby, napríklad na športových pretekoch.

Druhým typom sú hodiny, ktoré sa nastavujú tak, aby ukazovali v danom mieste platný čas, teda aby umožňovali zistiť, koľko je práve hodín. **Ručičkové hodiny** majú hodinovú a minútovú ručičku, niekedy aj ručičku sekundovú, a čas odčítame na stupnici, ktorá je zvyčajne rozdelená na 12 hodín. **Digitálne hodiny** potom ukazujú čas v digitálnej forme.

Veľmi zhruba možno takéto hodiny podľa pohonu a konštrukcie rozdeliť do nasledujúcich skupín:

- **mechanické hodiny**, pre ktoré je typický mechanický oscilátor (sústava telies s vhodnou vlastnou frekvenciou kmitov), mechanické prevody (súprava ozubených kolies a ďalších súčastí), mechanický zdroj energie (pružina, predtým závažia) a ručičková indikácia času na stupnici. Do skupiny mechanických hodín patria hodiny vežové, kyvadlové, prenosné hodiny s nepokojom, či námorné a letecké chronometre, môžu to však byť aj hodiny či hodinky s elektrickým zdrojom energie (elektrickým článkom) a s ostatnými atribútmi mechanických hodín;
- **elektronické hodiny** s oscilátorom tvoreným obvykle kremenným kryštálom;
- **atómové hodiny**, ktoré odmeriavajú čas pomocou rezonančnej frekvencie určitých atómov.

Zloženie mechanických hodín

Mechanické hodiny sa skladajú z niekoľkých hlavných častí. Jednou z nich je pohon, zdroj energie, ktorým môže byť závažie postupne klesajúce v tiažovom poli Zeme, pružina stočená do špirály, ktorú človek natiahne a ona potom postupne nazhromaždenú energiu odovzdáva ďalším častiam, alebo elektrický galvanický článok. Energia zo zdroja sa postupne prevádza na ďalšie súčasti hodín, a to pomocou sústavy ozubených kolies či koliesok, ktorú nazývame prevod. Kľúčovou súčasťou hodín ovplyvňujúcou presnosť ich chodu je oscilátor. **Najčastejšími typmi oscilátorov sú foliot, kyvadlo a nepokoj.** Foliot je tvorený ramenom s dvoma symetricky umiestnenými závažiami, ktorý sa otáča na povraze alebo remeni okolo zvislej osi, a skrútením povrazu vzniká direkčný moment sily. Poloha závaží na ramenách určuje vlastnú frekvenciu foliotu. Výhodou kyvadla ako oscilátora hodín je časovo stabilná frekvencia, nevýhodou je okrem útlmu nutný malý rozkvyv kyvadla a závislosť frekvencie od teploty (zmena teploty spôsobuje zmenu dĺžky a inú frekvenciu), tá bola u kvalitnejších hodín kompenzovaná. U prenosných hodín a hodiniek sa ako oscilátor používa nepokoj. Je to koleso na hriadeli, kde direkčný moment vyvoláva vlások zo špeciálnej zliatiny (invaru), ktorý má tvar špirálovej pružinky.

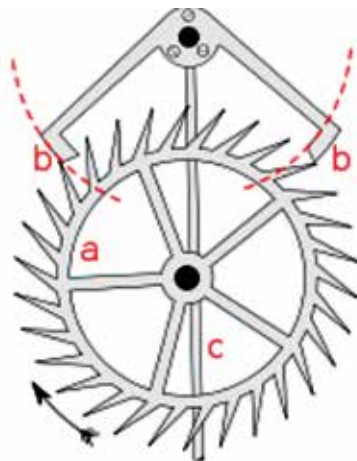


Obrázok 14: Nepokoj vreckových hodín

(Zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hamilton_926_movement.jpg)

4. Objavovanie vesmíru

Medzi prevodom a oscilátorom sa nachádza krok, súčiastka, ktorej konce postupne zapadajú do ozubenia posledného kola prevodu, a tak rozčleňujú rovnomerné otáčanie do rovnako dlhých úsekov. Pri každom kyve oscilátora prepúšťa krok jeden zub kolesa a zároveň dodáva oscilátoru energiu.



Obrázok 15: Grahamov krok

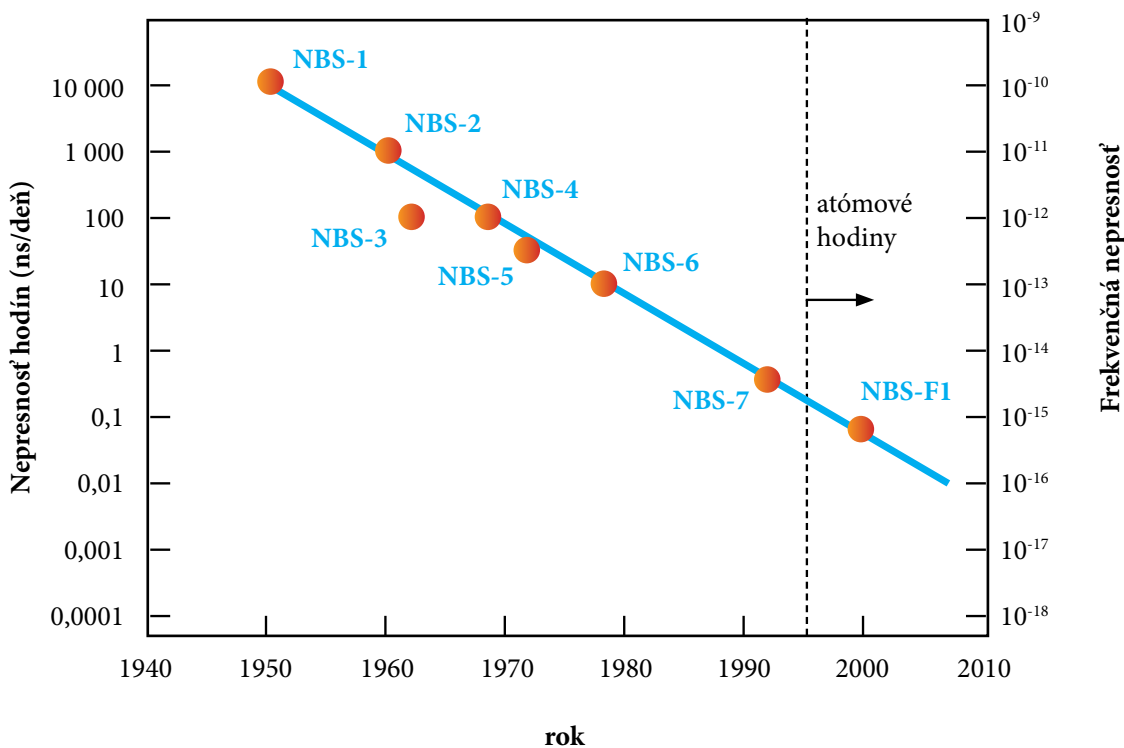
(Zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Graham_Escapement.svg)

Samozrejmom súčasťou mechanických hodín je zobrazovacie zariadenie, teda najmä ciferník a ručičky. U niektorých mechanických hodín nájdeme aj ďalšie časti, napríklad bicí (odbíjací) stroj, hracie zariadenia, kalendárový stroj alebo zariadenie demonštrujúce polohu Slnka, Mesiaca. Hoci presnosť mechanických hodín až do začiatku 20. storočia nedosahovala presnosť hodín merajúcich hviezdny čas, bolo ich použitie mimoriadne. **Niektoré ďalšie mechanické hodiny majú svoje špeciálne názvy**, napríklad hodinky (malé prenosné hodiny, zvyčajne náramkové), stopky, chronometre (veľmi presné hodiny), orloje, slepecké hodiny s indikáciou času pomocou hmatu, šachové hodiny (špeciálne dvojité hodiny umožňujúce merať oddelene časovú spotrebu času oboch hráčov) a pod.

Zloženie elektronických hodín Elektronické hodiny sú založené na oscilácii kremenného kryštálu vplyvom piezoelektrického javu. Oscilácie kremenného kryštálu, ktorý sa za pomoci laseru obrába do tvaru ladičky, sú veľmi stabilné, a tak sú elektronické hodiny najmenej o jeden rád presnejšie ako mechanické hodiny. Oscilátor pracuje na veľmi vysokej frekvencii 32 768 Hz ($32\,768 = 2^{15}$). Zobrazenie času už dávno nie je obmedzené na digitálny formát, bežne existujú hodinky s ručičkovým zobrazením a v súčasnej dobe sa už prakticky iné ako elektronické hodinky nevyrábajú. Zvláštnym typom elektronických hodín sú rádiové hodiny, ktoré miesto vlastného oscilátora majú spravidla miniatúrny rádiový prijímač a získavajú údaje o presnom čase pomocou dlhovlnného časového signálu. V Európe sa používa signál DCF77 vysielaný z nemeckého Mainflingenu neďaleko Frankfurtu nad Mohanom.

Atómové hodiny merajú čas pomocou rezonančnej frekvencie atómov, napríklad cézia alebo rubídia. Základom céziových atómových hodín je kryštálový oscilátor, ktorého frekvencia je elektronicky riadená. Oscilátor je pripojený na vysielateľ rádiových vln, emitovaných do nádoby s atómami cézia. Keď dôjde k zhode frekvencie oscilátora (a teda aj vysielateľa) s vlastnou rezonančnou frekvenciou atómov cézia, prejdú tieto do excitovaného stavu. Podľa počtu excitovaných atómov cézia je možné ladiť frekvenciu kryštálového oscilátora, aby sa zhodovala s rezonančnou frekvenciou atómov cézia, t. j. 9,192 631 770 GHz. Vo fáze výskumu sú optické hodiny na báze stroncia využívajúce kvantové javy, za ktoré boli udelené Nobelove ceny za fyziku v roku 2005 a 2012. Relatívna presnosť týchto moderných hodín dosahuje 10^{-18} .

Zloženie
atómových
hodín



Obrázok 16: Presnosť hodín

(zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/de/Clock_accuracy.svg/220px-Clock_accuracy.svg.png)

4. Objavovanie vesmíru
Prehľad úloh

Názov úlohy	Predpokladaná doba trvania	Náročnosť úlohy	Vek detí, pre ktorý je úloha vhodná	Pomôcky a použitý materiál	Cieľ úlohy
1. Pásmový čas	1 – 2 vyučovacie hodiny	časová náročnosť je stredná, mentálna náročnosť je vyššia	druhý stupeň ZŠ	pozri návod a postup	Aktivita zoznamuje žiakov s pojmom pásmový čas a s jeho uplatnením v rôznych miestach našej republiky aj v rôznych lokalitách na svete. Úlohy sú zvolené tak, aby viedli k pochopeniu podstaty pásmového času.
2. Stredný slnečný čas a pravý slnečný čas	1 rok (denná náročnosť cca 10 minút; záverečné spracovanie približne 1 hodina)	malá až stredná	druhý stupeň ZŠ	slnečné hodiny, tabuľka pre záznam nameraných údajov (najlepšie v počítačovom programe)	pochopenie rozdielu medzi pravým a stredným slnečným časom
3. Vyroba si sviečkové hodiny	1 – 2 hodiny (doba je daná dobou zhorenia sviečky + 1 h)	stredná	druhý stupeň ZŠ	pozri návod	ukážka výroby jednoduchého meradla časových intervalov
4. Vyroba si vodné hodiny	1 – 2 hodiny	stredná	druhý stupeň ZŠ	pozri návod	ukážka výroby jednoduchého meradla časových intervalov
5. Vyroba si slnečné hodiny	1 deň	stredná	druhý stupeň ZŠ	pozri návod	ukážka výroby jednoduchého meradla času

3. PRAKTICKÁ ČASŤ PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Pásmový čas

Pomôcky

Mapa Slovenskej republiky, mapa sveta, mapa časových pásem – napríklad

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/World_Time_Zones_Map.png

Postup

1. Nájdite na mape SR akékoľvek mesto, ktoré leží na 15. poludníku východnej dĺžky. Ďalej nájdite najvýchodnejší bod a najzápadnejší bod krajiny. Určite ich zemepisné súradnice.

(Riešenie je modelový príklad z Českej republiky: napríklad Pacov $49^{\circ} 28'$; $15^{\circ} 06'$; najvýchodnejší $49^{\circ} 55'$; $18^{\circ} 52'$; najzápadnejší $50^{\circ} 15'$; $12^{\circ} 05'$)

2. Na 15. poludníku vychádza v určitý deň slnko o 6.00 ráno a zapadá o 18.00 večer. O kolkej vychádza a zapadá v najvýchodnejšom a najzápadnejšom mieste SR? Nadmorskú výšku miesta a jeho okolia zanedbajte.

(Riešenie je modelový príklad z Českej republiky: Rozdiel zemepisných dĺžok medzi najvýchodnejším miestom v ČR a 15. poludníkom je $3^{\circ} 52'$, medzi najzápadnejším miestom v ČR a 15. poludníkom je to $2^{\circ} 55'$. Pretože rozdiel 15° zemepisnej dĺžky znamená rozdiel 1 hodina (360 stupňov znamená 24 hodín), znamená 1° zemepisnej dĺžky rozdiel 4 minúty. V najvýchodnejšom mieste ČR slnko vychádza a zapadá o 15,5 minút skôr, v najzápadnejšom mieste o 11,5 minút neskôr.)

3. Nájdite na mape miesto, na ktorom v rovnaký deň vychádza slnko v 5 h 50 minúte.

(Riešenie je modelový príklad z Českej republiky: Rozdiel 10 minút znamená rozdiel $2,5^{\circ}$ zemepisnej dĺžky oproti poludníku 15° . Hľadané miesto preto leží na poludníku $17,5^{\circ}$. Na tomto poludníku sa nachádza napríklad mesto Tlumačov.)

4. V Plzni zapadlo slnko o 16 h 16 minúte. O kolkej zapadlo slnko v Žďári nad Sázavou? Nadmorskú výšku oboch miest a ich okolia zanedbajte.

(Riešenie: Plzeň $49^{\circ} 44'$; $13^{\circ} 23'$; Žďár nad Sázavou $49^{\circ} 34'$; $15^{\circ} 56'$; rozdiel zemepisných dĺžok je $2^{\circ} 33'$. Rozdiel časov západu slnka je 10,2 minúty. Západ slnka sa v Žďári nad Sázavou uskutočnil o 16 hodín 6 minút.)

5. V Prahe je 3. decembra 6.00 hod pásmového času. Aké je dátum a aký čas v Tokiu, v Sydney, v Káhire, v Ottawe?

(Riešenie: Tokio leží v pásme s časom o 9 hodín posunutom voči svetovému času. Je tu o 8 hodín viac ako v Prahe, teda 3. decembra 14 h. Podobne v Sydney (+ 10 hodín oproti svetovému času) je 15 hodín. V Káhire (+ 2 hodiny) je 7 hodín. Ottawa je v pásme s časom menším o 5 hodín voči svetovému času. Je tam preto o 6 hodín menej ako v Prahe, nastáva tu teda polnoc z 2. na 3. decembra.)

4. Objavovanie vesmíru

6. Pri pásmových časoch sa často zjednodušene uvádza, že je Zem rozdelená do 12 pásiem ohraničených poludníkmi so šírkou pásma 15 stupňov, v ktorých je pásmový čas daný časom poludníka $k \cdot 15^\circ$ ležiaceho uprostred daného pásma. S využitím mapy časových pásiem uveďte, aké ďalšie faktory ovplyvňujú, aký pásmový čas sa v danom mieste využíva. Existujú miesta, v ktorých sa pásmový čas líši od svetového času o dobu, ktorú nemožno vyjadriť v celých hodinách?
(Riešenie: Veľmi podstatným faktorom ovplyvňujúcim, aký pásmový čas sa v danom mieste používa, sú hranice štátu alebo skupiny štátov. Na niektorých ostrovoch v južných zemepisných šírkach je využívaný čas líšiaci sa o nepárne násobky polhodín. Napríklad Kokosové ostrovy (+ 6,5 h), Andamanské a Nikobarské ostrovy (+ 5,5 h), ale napríklad aj stredná časť Austrálie (+ 9,5 h). V južnej časti Austrálie je oblasť s časom + 8,75 h voči svetovému času, neďaleko Nového Zélandu Chathamské ostrovy (+ 12,75 h), a pod.)
7. Zisti, čo je dátová hranica. Popíš jej priebeh na mape Zeme a vysvetli jej význam. Ako má správne postupovať človek, keď prelieta dátovú hranicu z východu na západ, a ako pri prelete opačným smerom? Ako sa prejavila dátová hranica pri ceste Willyho Foga okolo sveta?

Úloha 2: Stredný slnečný čas a pravý slnečný čas**Pomôcky**

- slnečné hodiny,
- hodinky alebo mobil.

Postup

1. Slnečné hodiny merajú miestny pravý slnečný čas, ktorý sa líši od stredného slnečného času, vzťahujúcemu sa k príslušnému poludníku v rámci časového pásma. Cieľom úlohy je zmapovať vzťah medzi pravým a stredným slnečným časom v priebehu kalendárneho roka. Zvoľ si najprv čas, ktorý bude pre pravidelné celoročné sledovanie čo najvhodnejší (aby bolo po celý rok možné v tento čas vykonať merania), teda napríklad 15 h. Nezabudni, že tento čas môže byť iba medzi 8. a 16. hodinou, pretože v zimných mesiacoch je cca od 16 h do cca 8 h noc. Každý deň potom zmeraj presný čas (na minúty), kedy slnečné hodiny ukazujú 15 h. Zaznamenávaj si postupne zmerané časy, najlepšie do počítačovej tabuľky.
2. Vypočítaj rozdiel medzi miestnym časom a pásmovým časom daný zemepisnou dĺžkou miesta pozorovania a uveď ho nad tabuľku. Potom do nového stĺpca v tabuľke uveď prepočítané časy zodpovedajúce hodnote 15 h na slnečných hodinách.
3. Zostroj graf závislosti rozdielu pravého slnečného času a stredného slnečného času. Zisti, ako sa tento rozdiel v astronómii nazýva.
(Riešenie: časová rovnica)

4. S využitím internetu popíš, prečo sa počas roka rozdiel medzi pravým a stredným časom mení. Ktoré dve charakteristiky zmeny spôsobujú?

(Riešenie: sklon zemskej osi a eliptickosť trajektórie Zeme okolo Slnka.)

5. Vysvetli pranostiku „Lucia noci odpije, ale dňa nepridá“. Využi pritom pojmy: pravý slnečný čas, stredný slnečný čas, západ slnka, dĺžka bieleho dňa.

(Riešenie: Na Luciu (13. 12.) zapadá slnko najskôr z celého roka. Keby súčasne v tento deň aj najskôr vychádzalo, bol by na Luciu najkratší biely deň. Najneskorší východ slnka však nastáva až začiatkom januára. Preto je najkratší biely deň najčastejšie 20. decembra. To, že najskôr západ slnka a najneskorší východ slnka nenastávajú v rovnaký deň, je spôsobené nerovnomerným obehom Zeme okolo Slnka a rovnomernou rotáciou Zeme okolo svojej osi. Pranostika o Lucii je prejavom časovej rovnice, teda kolísaním dĺžky časovej rovnice v priebehu roka. Uvedená pranostika tak zviditeľňuje rozdiel medzi pravým a stredným slnečným časom.)

Úloha 3: Vyroba si sviečkové hodiny

Pomôcky

- silná sviečka,
- malé kovové guľôčky (priemer do 0,5 cm),
- PET-fľaša,
- tenký kliniec,
- zápalky, fotomiska, fixka, stopky,
- hodinky alebo mobil.

Postup

1. Vyroba si sviečkové hodiny. Na zvislú sviečku si fixkou vyznač pravidelnú stupnicu.
2. Sviečku zapál a odmeraj podľa stupnice rýchlosť zhárania sviečky: najprv zmeraj doby, po ktorých zhoria jednotlivé dieliky stupnice.
3. Namerané hodnoty zaznamenaj do tabuľky (pozri nižšie).

Číslo merania	Čas	Zhorená dĺžka

4. Zostroj graf závislosti zhorenia dĺžky sviečky od času. Vyznačenými bodmi v grafe prelož priamku. Urči z tejto priamky, aká dĺžka sviečky zhorí za jednotku času.

4. Objavovanie vesmíru

- Na ďalšiu (rovnakú) sviečku (alebo na niekoľko ďalších rovnakých sviečok) vyznač stupnicu podľa výsledkov predchádzajúceho merania. Do jednotlivých značiek zatlač malé kovové guľôčky. Pri zháraní sviečkových hodín budú postupne, ako sa bude taviť materiál sviečky, guľôčky odpadávať napríklad na porcelánovú podložku, a tým budú označovať jednotlivé časové intervaly.

Úloha 4: Vytvor si vodné hodiny

Pomôcky

- PET-fľaša (najlepšie so stálym prierezom),
- tenký dlhý kliniec,
- zápalky, veľká fotomiska, fixka,
- stopky, hodinky alebo mobil.

Postup

- Vytvor si vodné hodiny. Do PET-fľaše si zahriatym klincom (pozor na bezpečnosť!) v spodnej časti vytvor malý otvor. Zároveň po celej dĺžke fľaše nalep papierové meradlo tak, aby nula bola vo výške otvoru vo fľaši.
- Do fľaše nalej vodu (otvor drž palcom, aby voda nevytekala) a postav ju nad fotomisku. Potom odmeraj podľa stupnice rýchlosť poklesu hladiny vo fľaši: najprv zmeraj doby, v ktorých je hladina vody pri jednotlivých dielikoch stupnice (vyskúšaj si najskôr, ako rýchlo voda vyteká, a potom zvoľ tak veľké dieliky, aby si dobu postupného poklesu hladiny stačil pohodlne zmerať).
- Namerané hodnoty zaznamenaj do tabuľky (pozri nižšie).

Číslo merania	Čas	Výška hladiny

- Zostroj graf závislosti výšky hladiny od času. Vyznačenými bodmi v grafe prelož vhodnú krivku.
- Z grafu odčítaj hodnoty zodpovedajúce rovnakým časovým intervalom a na fľašu fixkou vyznač (nerovnomernú) časovú stupnicu.

Úloha 5: Vyroba si slnečné hodiny

Pomôcky

- šablóna

Postup

Na výrobu slnečných hodín použite priloženú šablónu. Hodiny starostlivo vystrihnite, zlepte a umiestnite na vodorovnú plochu na slnečnom mieste. Počkajte, až vaše hodinky budú ukazovať celú hodinu. Slnečné hodiny natočte tak, aby po započítaní korekcie na dátum ukazovali rovnaký čas.

Šablóna na výrobu slnečných hodín

Vodorovné slnečné hodiny

Graf korekcie

Korekcia (minúty)

Slnnečné hodiny sa opravujú (používajte minútovú korekciu)

Kalendárne obdobie

Slnnečné hodiny sa predlžujú (používajte minútovú korekciu)

Odstrihnúť

Korekčná tabuľka

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1. – 10.	4	14	12	4	-3	-2	4	6	-2	-12	-16	-9
11. – 20.	7	14	10	1	-4	0	6	4	-5	-15	-15	-5
21. – 31.	12	13	7	-2	-3	2	7	2	-9	-16	-12	1

Hodiny s drobnými úpravami prevzaté
<http://www.slunecni-hodiny.webzdarma.cz>

Ďalšie návody nájdete na
www.giocomania.ort

50°

Odstrihnúť

Tu prilepiť

zemepisná šírka 50°

PLANÉTY SLNEČNEJ SÚSTAVY

1. ÚVOD

Poznatky týkajúce sa planét slnečnej sústavy sú prazákladom astronomického učiva na základnej škole. S najzákladnejšími poznatkami o planétach, teda s ich počtom, menami, poradím od Slnka, sa žiaci zoznamujú už v rámci výučby na prvom stupni v predmete prírodoveda, rovnako ako s dôsledkami ich pohybov v témach striedania dňa a noci, striedania ročných období, prípadne s fázami Mesiaca. Podrobnejšie informácie sú potom obsahom predmetov zemepis a fyzika na druhom stupni základnej školy. Tu žiaci pochopia podstatu zatmenia Slnka a Mesiaca, príčiny vzniku fáz Mesiaca, ale pochopia aj ďalšie astronomické javy súvisiace s ich základnými fyzikálnymi a chemickými charakteristikami a s druhmi pohybov planét a ich mesiacov.

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

Slnko

hviezda

planéty

Merkúr, Venuša, Zem, Mars, Jupiter, Saturn, Urán, Neptún

Mesiac

mesiace, kométy, planétky, trpasličie planéty

ročné obdobia, deň a noc, fázy Mesiaca

os planéty

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

Odpradávná ľudia pozorovali oblohu a zamýšľali sa nad tým, ako je usporiadaný vesmír. Prvým dôležitým zistením bolo poznanie, že okrem hviezd, ktoré sa po oblohe pohybujú stále rovnako a ktoré boli pre ľahšiu orientáciu usporadúvané do zoskupení zvaných súhvezdia, sú aj také hviezdy, ktoré sa pohybujú nezvyčajne: voči ostatným menia svoju polohu, posúvajú sa z jedného súhvezdia do druhého, ako by nemohli nájsť svoj domov. Gréci tieto hviezdy nazvali **blúdiace hviezdy alebo planéty** (grécky planètes znamená blúdiaci), v staročeštine v 19. storočí boli označované ako bludice. Počet známych planét bol spočiatku malý, boli to len Merkúr, Venuša, Mars, Jupiter a Saturn. **Zem sa medzi planéty začala počítať až na prelome 16. a 17. storočia.** Neskôr pribudli planéty pozorované ďalekohľadom, teda Urán (1781) a Neptún (1846). Medzitým medzi rokmi 1801 a 1807 pribudli medzi planéty ďalšie telesá medzi Marsom a Jupiterom: Ceres (1801), Pallas (1802), Juno (1804) a Vesta (1807). Tieto telesá boli menšie (najväčšia z nich, Ceres, má veľkosť o niečo menšiu ako 1 000 km), a preto boli označované slovným spojením „malé planéty“. V polovici 19. storočia John Herschel navrhol rozlíšiť „blúdiace telesá“ na planéty, planétky a asteroidy, ale realizácia jeho myšlienky nastala až na prelome 19. a 20. storočia. To už bolo malých planét takmer 500 a situácia bola veľmi neprehľadná. Ďalší posun je potom spojený so súčasnou trpasličou planétou Plutom, ktoré bolo objavené ako planéta v roku 1930 a z rodiny planét bolo vyradené na astronomickom kongrese Medzinárodnej astronomickej únie v roku 2006 prakticky z rovnakého dôvodu, prečo bola zhruba 100 rokov predtým z rodiny planét vyradená skupina malých telies medzi Marsom a Jupiterom. Tentoraz bola dôvodom vyradenia (presnejšie preradenia do novovytvorenej kategórie trpasličích planét) skutočnosť, že sa na prelome 20. a 21. storočia objavovali nové a nové telesá za trajektóriou Neptúna a počet potenciálnych planét znova narastal.

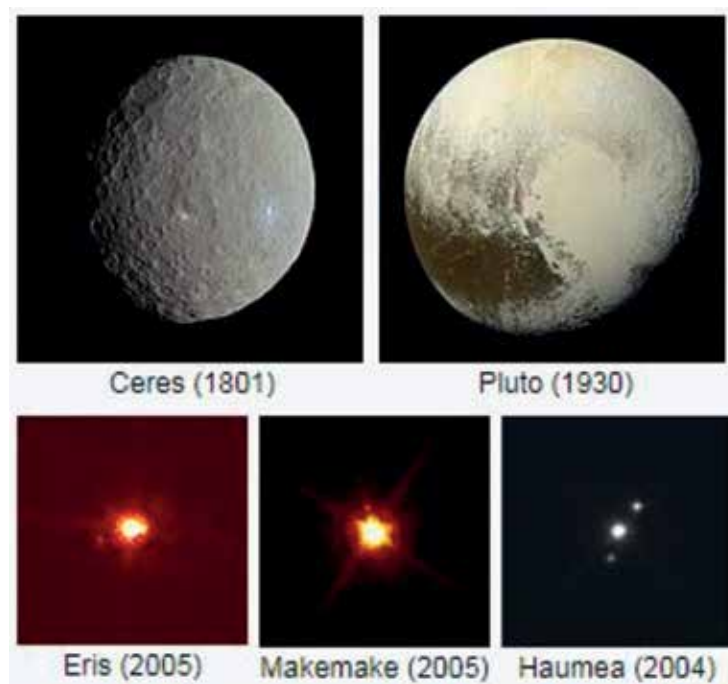
V súčasnej dobe za planéty považujeme **osem telies slnečnej sústavy**, teda telesá Merkúr, Venuša, Zem, Mars, Jupiter, Saturn, Urán a Neptún. Medzi trpasličie planéty v súčasnosti zaraďujeme zatiaľ päť telies, a to **Ceres, Pluto, Haumea, Makemake a Eris**.

Planéty rozdeľujeme podľa ich fyzikálno-chemických charakteristík do dvoch hlavných skupín. Medzi **kamenné (alebo terestrické) planéty** zaraďujeme Merkúr, Venušu, Zem a Mars, medzi **obrie (alebo tiež plynné či neterestrické) planéty** potom Jupiter, Saturn, Urán a Neptún.

Planéty

Rozdelenie planét

5. Slnecná sústava



Obrázok 1: Päť trpasličích planét podľa Medzinárodnej astronomickej únie:

- Ceres (fotografia zo sondy Dawn)
- Pluto (fotografia zo sondy New Horizons)
- Eris a jej mesiac Dysnomia (fotografia z Hubblovho kozmického teleskopu)
- Makemake a doteraz nepomenovaný mesiac S/2015 (fotografia z Hubblovho kozmického teleskopu)
- Haumea a jej mesiace Namaka a Hi'aka (fotografia z Hubblovho kozmického teleskopu)
(zdroj https://en.wikipedia.org/wiki/Dwarf_planet)

Kamenné
planéty

Základnými charakteristikami kamenných planét sú najmä:

- pevný povrch
- veľká hustota
- malá veľkosť
- malé sploštenie
- menšia vzdialenosť od Slnka
- malý počet mesiacov
- neexistencia prstencov
- pomalá rotácia



Obrázok 2: Merkúr

(zdroj: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d9/>

[Mercury_in_color_-_Prockter07-edit1.jpg/800px-Mercury_in_color_-_Prockter07-edit1.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d9/Mercury_in_color_-_Prockter07-edit1.jpg/800px-Mercury_in_color_-_Prockter07-edit1.jpg))

Merkúr

Najbližšie k Slnku obieha planéta **Merkúr**. Ide o planétu menšiu ako Zem. Na prvý pohľad je veľmi podobná Mesiacu obiehajúcemu okolo Zeme. Rovnako ako iné kamenné planéty alebo tiež Mesiac má aj Merkúr pevný kamenný povrch, na ktorom sú najnápadnejšími útvarmi krátery. Najväčším kráterom na Merkúre je **Caloris s priemerom 1 300 km**. Vo vnútri krátera Caloris sa nachádza mnoho menších kráterov. Niektoré krátery na Merkúre sú pomenované po významných spisovateľoch, umelcoch a hudobných skladateľoch. Z českých osobností majú svoj kráter Smetana, Dvořák a Janáček. Slovensko ani Bulharsko medzi krátermi nemajú zastúpenie. Krátery na Merkúre vznikli rovnako ako krátery na iných telesách slnečnej sústavy. **Pričinou ich vzniku je zrážka s nejakým menším telesom. Pri dopade takéhoto telesa dôjde k uvoľneniu veľkého množstva tepla. Tým sa zahreje dopadajúce teleso aj planéta v mieste dopadu na teplotu niekoľkých tisícov kelvinov. Dôjde k sublimácii horniny a vzniku priehlbiny – krátera.** Ďalej od miesta dopadu telesa dochádza len k roztaveniu horniny a k jej trvalej deformácii. Ešte ďalej od miesta dopadu je hornina deformovaná len dočasne. Pre vznik kráterov je dôležité, že na Merkúre prakticky neexistuje atmosféra. Preto môžu na povrch planéty dopadnúť aj celkom malé telesá z kozmického priestoru, a zapríčiniť tak vznik aj celkom malých kráterov. Všeobecne platí, že hustota a veľkosť takto vzniknutých kráterov znamená, že sa na planéte nevyskytuje atmosféra a zároveň, že tu neprebiehajú procesy pretvárajúce povrch planéty. **Dopad telesa nazývame impakt, preto sa takto vzniknuté krátery nazývajú impaktné krátery.** Najväčšie **impaktné krátery** majú uprostred centrálny pahrbok. Proces vzniku impaktného krátera môžeme sledovať napríklad aj pri vhození kameňa do blata alebo vhození kúsku masla do krupicovej kaše.

Merkúr**Orbitálne charakteristiky**

veľká polos trajektórie	57 909 050 km 0,387 098 au
numerická excentricita	0,205 630
obežná doba okolo Slnka	87,969 1 dní 0,240 846 rokov 0,5 merkúrskeho slnečného dňa
priemerná obežná rýchlosť	47,362 km/s
počet mesiacov	0

Fyzikálne charakteristiky

stredný priemer	4 880 km 0,3829 priemeru Zeme
sploštenie	0
hmotnosť	3,301 1 · 10 ²³ kg 0,055 hmotnosti Zeme
priemerná hustota	5 427 kg/m ³
perióda rotácie	58,646 dní
povrchová teplota na rovníku	340 K (min. 100 K, max. 700 K)
povrchová teplota v blízkosti pólu (85°)	200 K (min. 80 K, max. 380 K)

Atmosféra

atmosférický tlak	menší ako 0,5 nPa
zloženie (objemový pomer)	42 % O ₂ 29 % Na 22 % H 6 % He

Najpodrobnejšie snímky povrchu Merkúra zaobstarala sonda Messenger na konci prvého desaťročia tohto storočia. Okolo Slnka obieha Merkúr raz za 88 dní, teda za necelé 3 mesiace. Perióda rotácie je necelých 60 dní, teda asi 2 mesiace. Znamená to, že sa Merkúr okolo svojej osi otáča veľmi pomaly. Preto sú deň aj noc na Merkúre oveľa dlhšie ako na Zemi. Slnko na Merkúre vychádza vždy po 176 pozemských dňoch, 88 dní je stále nad obzorom, 88 dní stále pod obzorom. Pretože os Merkúra je kolmá k rovine obehu, nedochádza k striedaniu ročných období, ako ich poznáme zo Zeme. Na strane privrátenej k Slnku je Merkúr rozpaľovaný na teplotu vyššiu ako 400 °C, na odvrátenej strane panuje mráz takmer –200 °C.

Merkúr s polomerom 2 440 km obieha okolo Slnka vo vzdialenosti asi 40 % vzdialenosti Zeme od Slnka. To znamená, že sa na oblohe nikdy od slnka veľmi nevzdiali. Dá sa ho preto vidieť len tesne pred východom alebo tesne po západe slnka.

Merkúr je pomenovaný podľa rímskeho boha obchodu a zisku Mercuria. Jeho gréckym náprotivkom bol Hermes, boh cestovateľov, obchodníkov a zlodejov. Predtým sa pre Merkúr používali staročeské mená Dobropán a Horana.

Venuša

Kamennou planétou je aj **Venuša**. Venuša je len o málo menšia než Zem, mohla by teda byť akýmsi dvojníkom. To však neplatí, pretože Venuša je obklopená hustou atmosférou, ktorá neumožňuje pozorovať vo viditeľnom žiarení z vesmíru žiadne povrchové útvary. Tie poznáme až vďaka sonde Magellan (sonda bola pomenovaná podľa portugalského moreplavca Fernão de Magalhães, ktorého loď ako prvá oboplávala v roku 1522 zeme-gulu), ktorá začiatkom 90. rokov minulého storočia pomocou radaru zmapovala povrch planéty. Sonda Magellan obiehala Venušu po polárnej trajektórii (prechádza nad oboma pólmi planéty) a pomocou radaru fotografovala povrch Venuše. Ako sa planéta otáčala okolo svojej osi, bol zmapovaný celý povrch. Zistila, že povrch Venuše bol pretvorený intenzívnou sopečnou činnosťou. Aj keď žiadna zo sopiek na Venuši nie je v súčasnej dobe činná, sú v ich okolí výrazné lávové polia. Najvyššou vyhasnutou sopkou na Venuši je Maat Mons vysoká asi 8 km. Iné vyhasnuté sopky sa označujú ako arachnoidy, ďalšie ako kruhové dómy (inokedy tiež lievance). Kruhové dómy sú vyhasnuté sopky s priemerom asi 20 – 25 km, ktoré sa čiastočne zaborili do zmäknutého povrchu. Na Venuši je oveľa menej kráterov ako na Merkúre. Chýbajú menšie krátery, pretože malé telesá pri prelete hustou atmosférou úplne zhoria. Krátery ľudia pomenovali podľa významných žien; jeden z kráterov sa volá Němcová podľa spisovateľky Boženy Němcovej, iný Cori podľa česko-americkéj biochemičky (Gerty Coriová), ďalší Budevská podľa bulharskej herečky (Adriana Budevská). Niektoré krátery majú české a slovenské krstné mená Hanka, Julie, Vlasta, Jitka, bulharské krstné mená Galina, Radka, Vaka a Zdravka.



Obrázok 3: Venuša

(zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Venus-real_color.jpg)

Venuša má mnohonásobne hustejšiu atmosféru ako Zem. Atmosféra Venuše obsahuje najmä oxid uhličitý, ktorý zabraňuje úniku tepla z planéty do okolia. Teplota povrchu planéty tak dosahuje takmer 500 °C. Zvýšenie teploty povrchu Venuše, ktoré takto nastáva, označujeme názvom skleníkový jav. Skleníkový jav na Venuši je najvýraznejší zo všetkých telies slnčnej sústavy. Hustá atmosféra na Venuši spôsobuje neustále šero. Návštevníci Venuše by nemali možnosť cez atmosféru pozorovať Slnko ani iné hviezdy.

Venuša je len o málo menšia ako Zem (polomer Venuše je 6 050 km, polomer Zeme 6 400 km) a obieha Slnko vo vzdialenosti troch štvrtín vzdialenosti Zeme od Slnka. Venuša obehne okolo Slnka približne za 7,5 mesiaca. Rok na Venuši je preto o niečo dlhší ako pozemský polrok. Pretože sa Venuša otáča okolo svojej osi veľmi pomaličky, dochádza k striedaniu dňa a noci len raz za 117 pozemských dní. Venuša sa okolo osi otáča opačným smerom ako Zem a väčšina planét. Preto tam slnko vychádza na západe a zapadá na východe.

5. Slnčná sústava

Venuša

Orbitálne charakteristiky

veľká polos trajektórie	108 208 000 km 0,723 332 au
numerická excentricita	0,006 772
obežná doba okolo Slnka	224,701 dní 0,615 198 rokov
priemerná obežná rýchlosť	1,92 Venušinho slnečného dňa 35,02 km/s
počet mesiacov	0

Fyzikálne charakteristiky

stredný priemer	12 104 km 0,949 9 priemeru Zeme
splošenie	0
hmotnosť	4,867 5 · 10 ²⁴ kg 0,815 hmotnosti Zeme
priemerná hustota	5 243 kg/m ³
perióda rotácie	-243,025 dní (otáča sa opačne – retrográdne)
povrchová teplota	737 K

Atmosféra

atmosférický tlak	9,2 MPa takmer 100-krát väčší ako na Zemi
zloženie (objemový pomer)	96,5 % CO ₂ 3,5 % N

Venuša má meno podľa rímskej bohyně krásy. Jej gréckym náprotivkom bola Afrodita, bohynja lásky. Predtým sa pre ňu používalo staročeské meno Krasopaní.

Merkúr a Venuša majú pri pohľade zo Zeme fázy podobne ako Mesiac. Tvar a veľkosť fáz závisí od vzájomnej polohy planéty, Slnka a Zeme.

Mars

Tretou planétou podobnou Zemi je Mars. Rovnako ako Zem má aj Mars pevný povrch, je ale menší. Na Marse sú veľmi nápadné polárne čiapočky v okolí oboch pólů. Sú tvorené zamrznutou vodou (ľadom) a zmrznutým oxidom uhličitým (suchým ľadom). Planéta Mars je najčastejším cieľom kozmických sond. SONDY ZMAPOVALI PVRCH MARSU A ZISTILI, ŽE SEVERNÁ POLOGUĽA MÁ NIŽŠIU „NADMORSKÚ“ VÝŠKU, ZATIAĽ ČO JUŽNÚ POLOGUĽU TVORÍ ROZSIAHLA PAHORKATINA. Načervená farba povrchu Marsu je spôsobená oxidmi železa.



Obrázok 4: Mars

(zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/02/OSIRIS_Mars_true_color.jpg/800px-OSIRIS_Mars_true_color.jpg)

Výskumy tiež odhalili, že sa v dávnej minulosti na Marse nachádzalo obrovské množstvo tečúcej vody a pravdepodobne tiež more či ohromný oceán. Dnes je však planéta vyprahnutá, suchá. Voda sa na Marse nachádza len v podobe snehu a ľadu v polárnych čiapočkách, prípadne snehu a námrazy v hlbokých kráteroch. Voda v kvapalnom skupenstve sa môže nachádzať iba hlboko pod povrchom Marsu. Krátery na Marse sú pomenované podľa prírodovedcov a podľa miest. Svoj kráter majú aj slovenské mestá Handlová a Lipany, české Cheb, Nýrsko (kráter Njesko) a Tábor, bulharské Byala a Dulovo.

Zaujímavým útvarom na Marse je kaňon Údolie Mariner (Valles Marineris). Valles Marineris je kaňon hlboký 5 – 6 km a široký niekoľko sto kilometrov, ktorý sa tiahne do vzdialenosti 4 000 km. V jeho blízkosti sa vypínajú najvyššie sopky na Marse, ktoré rovnako ako sopky na Venuši nie sú v súčasnosti činné. Vôbec najvyššou sopkou a horou na Marse je štítový vulkán Olympus Mons, ktorý sa na ploche porovnateľnej s plochou Českej republiky týči do výšky 21 km. Táto sopka je zároveň najvyššou horou v celej slnečnej sústave. Mars obehne okolo Slnka približne za 1,9 roka. Os rotácie Marsu má takmer rovnaký sklon ako os Zeme. Preto sa podobne ako na Zemi aj na Marse striedajú ročné obdobia. Mars je podobný Zemi aj dobou rotácie okolo osi. Jeden deň na Marse trvá 24 hodín a 37 minút. Planéta Mars má v porovnaní so Zemou približne polovičný polomer (3 400 km) a obieha Slnko 1,5-krát ďalej ako Zem. Atmosféra Marsu obsahuje hlavne oxid uhličitý, rovnako ako atmosféra Venuše. Atmosféra je však riedka, a tak je vplyv skleníkového javu oveľa menší.

Mars má na oblohe typickú červenkastú farbu. **Preto bol pomenovaný podľa rímskeho boha vojny.** Jeho gréckym náprotivkom bol Ares. Predtým sa používali staročeské mená Smrtonoš a Řeřana.

Mars**Orbitálne charakteristiky**

veľká polos trajektórie	227 939 200 km 1,523 679 au
numerická excentricita	0,093 4
obežná doba okolo Slnka	686,971 dní 1,880 82 rokov 668,599 1 solov (slnecných dní Marsu)
priemerná obežná rýchlosť	24,007 km/s
počet mesiacov	2 (Phobos, Deimos)

Fyzikálne charakteristiky

stredný priemer	6 779 km 0,532 priemeru Zeme
sploštenie	0,006
hmotnosť	6,417 1 · 1 023 kg 0,107 hmotnosti Zeme
priemerná hustota	3 933,5 kg/m ³
perióda rotácie	1,025 957 dní
povrchová teplota	210 K (min. 130 K, max. 308 K)

Atmosféra

atmosférický tlak	0,636 kPa (min. 0,4 kPa, max. 0,87 kPa) cca 160-krát menší ako na Zemi
zloženie (objemový pomer)	95,97 % CO ₂ 1,93 % Ar 1,89 % N

(zdroj: <https://en.wikipedia.org/wiki/Mars>)

Mars je často spájaný s možným životom. Určite k tomu prispela podobnosť fyzikálnych podmienok Marsu so Zemou, okrem toho sa však v histórii nachádza niekoľko vln záujmu o Mars ako druhú „obývanú“ planétu. Asi najväčšia vlna vznikla v súvislosti s pozorovaním Marsu talianskym astronómom Giovannim Schiaparellim v roku 1877 a potom ďalšími následnými pozorovaniami. Schiaparelli totiž na Marse zaregistroval hustú sieť lineárnych útvarov, ktoré označil ako prieplyvy (taliansky canali). V tom čase na Zemi vznikali dva obrie prieplyvy: Suezský a Panamský, ktorých vznik bol v druhej polovici 19. storočia považovaný za vrchol pozemskej techniky. So svojimi 193, resp. 82 kilometrami sa však nemohli porovnávať s lineárnymi útvarmi na Marse, a tak Schiaparelli oprávne predpokladal, že civilizácia na Marse musí byť oveľa ďalej vo svojom vývoji. Ďalšia vlna záujmu o Mars vznikla, keď bola v roku 1976 sondou Viking vyfotografovaná „Ludská tvár“. Aj keď ide len o zvetraný kameň zaujímavého tvaru, ako nespochybniteľne dokázala fotografia zo sondy Mars Global Surveyor v roku 2001, fotografia zvýšila záujem ľudí o prieskum Marsu a viedla následne k množstvu vyslaných prieskumných sond.

Okolo Marsu obiehajú dva mesiace: väčší Phobos [fobos] a menší Deimos [dejmos]. Ide o kamenné telesá nepravidelného tvaru. Phobos je zhruba 25-kilometrový kus skaly, ktorý obieha okolo Marsu vo vzdialenosti 9 000 km. Deimos má skoro o polovicu menšie rozmery ako Phobos a obieha okolo Marsu vo vzdialenosti 24 000 km. Aj mesiace Phobos a Deimos mali svoje staročeské mená: Strach a Hrůza.

Ku kamenným planétam patrí samozrejme aj Zem. Jej opis však obvykle nespadá do astronomie, ale prevažne do zemepisu či geografie. Napriek tomu existujú početné zábery Zeme z vesmíru. Pravidelne je Zem fotografovaná z obežnej dráhy, je však fotografovaná tiež kozmickými sondami, ktoré po opustení povrchu Zeme môžu hneď vyskúšať svoje kamery na snímkovanie Zeme. **Zem je jedinou planétou (presnejšie jedinou známou planétou), na povrchu ktorej sa nachádza voda v kvapalnom skupenstve. Kvapalná voda je kľúčová pre vznik a udržanie sa života na Zemi.** Preto si predstavujeme, že aj na ďalších kozmických telesách môže byť život založený na podobných (vodných) procesoch, a tak je pre nás hľadanie vody vo vesmíre tak významnou témou.

Zem

Orbitálne charakteristiky

veľká polos trajektórie	149 598 023 km
	1,000 001 02 au
numerická excentricita	0,016 708 6
obežná doba okolo Slnka	365,256 363 004 dní
	1,000 017 420 96 rokov
priemerná obežná rýchlosť	29,78 km/s
počet mesiacov	1 (Mesiac)

Fyzikálne charakteristiky

stredný priemer	12 742,0 km
rovníkový polomer	6 378,1 km
polárny polomer	6 356,8 km
sploštenie	0,003 352 8
hmotnosť	5,972 37 · 1 024 kg
priemerná hustota	5 514 kg/m ³
perióda rotácie	0,997 269 68 dní (23 h 55 min 4,100 s)
povrchová teplota	288 K (min. 184 K, max. 330 K)

Atmosféra

atmosférický tlak	101,325 kPa
zloženie (objemový pomer)	78,08 % N ₂
	29,95 % O ₂
	1 % H ₂ O
	0,934 0 % Ar

(zdroj: <https://en.wikipedia.org/wiki/Earth>)

5. Slnecná sústava

Mesiac Kamenným telesom je aj Mesiac, ktorý je zároveň jediným mesiacom obiehajúcim Zem. Mesiac je veľkým telesom, jeho polomer je skoro štyrikrát menší ako polomer Zeme. Rovnako ako niektoré mesiace obrích planét má viazanú rotáciu, teda pozorovateľom zo Zeme ponúka pohľad len na jednu svoju pologuľu. Viazaná rotácia je spôsobená slapovými silami, ktoré po dostatočne dlhej dobe „zaparkujú“ Mesiac v takej polohe, že doba obehu je rovná dobe rotácie okolo osi. V dokonalej podobe môžeme viazanú rotáciu sledovať u dvojice telies Pluto-Cháron, kde majú obe telesá viazanú rotáciu, a tak podobne ako dvaja zamilovaní ľudia hľadajú stále na seba, i Pluto a Cháron sú k sebe natočené stále rovnakými pologulami. Ako už bolo spomenuté vyššie, Mesiac rovnako ako Merkúr nemá atmosféru, a tak sú si obe telesá podobné aj na snímkach, pretože typickými povrchovými útvarmi sú impaktné krátery.

Plynné planéty Základnými charakteristikami plynných planét sú najmä:

- plynný „povrch“,
- nízka hustota,
- relatívne veľký polomer,
- malé sploštenie,
- väčšia vzdialenosť od Slnka,
- veľký počet mesiacov,
- existencia prstencov,
- rýchla rotácia.

Jupiter Najväčšou planétou slnečnej sústavy je Jupiter. Na rozdiel od Zeme, Merkúra, Venuše a Marsu nemá Jupiter pevný povrch. Ide o planétu plynnú, tvorenú prevažne vodíkom a héliom. Preto sa planéta otáča okolo osi inak ako planéty s pevným povrchom. Okrem bežného skúmania zloženia a štruktúry atmosféry mali astronómovia v roku 1994 možnosť využiť na skúmanie aj postupný vplyv jednotlivých fragmentov kométy D/1993 F2 Shoemaker-Levy 9.



Obrázok 5: Jupiter

(zdroj: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2b/>

[Jupiter_and_its_shrunken_Great_Red_Spot.jpg/800px-Jupiter_and_its_shrunken_Great_Red_Spot.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2b/Jupiter_and_its_shrunken_Great_Red_Spot.jpg/800px-Jupiter_and_its_shrunken_Great_Red_Spot.jpg))

Už v menšom ďalekohľade sú na Jupiteri vidieť pásy rovnobežné s rovníkom. Plyn v rôznych pásoch sa pohybuje rôznou rýchlosťou, dokonca v niektorých pásoch prúdi plyn opačným smerom. Tam, kde sa jednotlivé pásy stýkajú, vznikajú v plyne víry. Najväčší vír

nazývame **Veľká červená škvrna**. Veľká červená škvrna sa na Jupiteri nachádza už niekoľko stoviek rokov. Je o niečo väčšia ako Zem. Jupiter obieha Slnko 5,2-krát ďalej ako Zem. Polomer planéty je 71 500 km, teda približne desaťnásobok polomeru Zeme.

Jupiter je pomenovaný podľa rímskeho vládcu bohov. Jeho gréckym náprotivkom bol Zeus. Predtým sa používali staročeské mená Kráľomoc a Prúhana.

Jupiter

Orbitálne charakteristiky

veľká polos trajektórie	778 570 000 km 5,204 4 au
numerická excentricita	0,048 9
obežná doba okolo Slnka	11,862 rokov 4 332,59 dní 10 475,8 slnečných dní Jupitera
priemerná obežná rýchlosť	13,07 km/s
počet mesiacov	79

Fyzikálne charakteristiky

stredný priemer	139 822 km 11,462 priemeru Zeme
sploštenie	0,064 87
hmotnosť	1,898 2 · 1 027 kg 317,8 hmotnosti Zeme
priemerná hustota	1 326 kg/m ³
perióda rotácie	9,925 hodín (9 h 55 min 30 s)
povrchová teplota	165 K (na hladine 100 kPa)

Atmosféra

atmosférický tlak	70 kPa (min. 20 kPa, max. 200 kPa) 0,7 atmosférického tlaku na Zemi
zloženie (objemový pomer)	89 % H ₂ 10 % He

Zoznam mesiacov

Adrastea, Aitne, Amalthea, Ananke, Aoede, Arche, Autonoe, Callirrhoe, Callisto, Carme, Carpo, Cyllene, Dia, Elara, Erinome, Euanthe, Eukelade, Euporie, Europa, Eurydome, Ganymede, Harpalyke, Hegemone, Helike, Hermippe, Herse, Himalia, Chaldene, Io, Iocaste, Isonoe, Kale, Kallichore, Kalyke, Kore, Leda, Lysithea, Megac-lite, Metis, Mneme, Orthosie, Pasiphae, Pasithee, Praxidike, Sinope, Sponde, Taygete, Thebe, Thelxinoe, Themisto, Thyone, Valetudo (29 doteraz nepomenovaných)

(zdroj: <https://en.wikipedia.org/wiki/Jupiter>)

5. Slnecná sústava

Okolo Jupitera obieha veľa mesiacov. V roku 2019 ich poznáme 79. Najväčšie štyri mesiace Io, Europa, Ganymedes a Callisto, ktoré sú vidieť aj v menších ďalekohľadoch, objavil v roku 1610 Galileo Galilei. Preto sa nazývajú galileovské mesiace. Všetky štyri galileovské mesiace obiehajú v smere rotácie Jupitera. Pri ostatných mesiacoch to však nie je pravidlom. Mnohé mesiace obiehajú proti smeru rotácie planéty. Najmenšie z týchto mesiacov majú veľkosť len asi 1 km. Io je kamenné teleso s veľmi búrlivou sopečnou činnosťou. Sonda Galileo tu objavila asi 300 aktívnych sopiek. Európa je telesom s ľadovým povrchom, pod ktorým je slaná voda v kvapalnom stave – oceán. Ganymedes je najväčším mesiacom v slnecnej sústave. Veľkosťou prevyšuje Pluto aj Merkúr. Ide o ľadové teleso. Aj Callisto je ľadový mesiac. Na jeho povrchu je veľký počet kráterov. Pretože hustota kráterov na telesách slnecnej sústavy umožňuje odhadnúť vek povrchu mesiaca a to, či bol povrch dodatočne pretváraný sopečnou či tektonickou činnosťou, alebo eróziou, je zrejmé, že povrch Callisto je veľmi starý.

Okrem mesiacov obiehajú okolo Jupitera aj oveľa menšie telesá. Obiehajú usporiadane v rovine rovníka planéty a vytvárajú pri pohľade z diaľky Jupiterove prstence. V oblasti prstencov obiehajú aj niektoré menšie mesiace, ktoré spôsobujú ostré ohraničenie prstencov a medzery v prstencoch. V mieste výskytu týchto pastierskych mesiacov sú najbližšie okraje prstencov rozvlhnené vďaka gravitačnému pôsobeniu pastierskych mesiacov.

Jupiter rotuje rýchlejšie ako Zem, aj keď je väčší. Jedna otočka okolo osi mu trvá necelých 10 hodín. Okolo Slnka obehne za 12 rokov.

Saturn Druhou najväčšou planétou v slnecnej sústave je Saturn. Je len o málo menší než Jupiter a obieha Slnko dvakrát ďalej ako Jupiter. Saturn je ako Jupiter tvorený prevažne vodíkom a héliom a nemá pevný povrch. Preto má aj Saturn v atmosfére pásy rovnobežné s rovníkom.

Saturn je známy svojimi prstencami. Tie sú tak nápadné, že sú viditeľné zo Zeme i menšími ďalekohľadmi. Pri bližšom pohľade sa v prstencoch objavia medzery a medzierky rozdeľujúce prstence na jednotlivé prstienky. Tieto medzery a medzierky sú spôsobené pohybom väčších telies v prstencoch. Najväčšie medzery spôsobujú až stokilometrové mesiace. Tieto mesiace zberajú telieska prstencov, ktoré sa vychýlila z dráhy. Tým udržiavajú hranice prstencov či jednotlivých prstienkov. Preto sa im hovorí **pastierske mesiace**. Najslabšie viazané časti pastierskych mesiacov sa naopak často od mesiacov oddeľujú a dopĺňajú prstence. Pretože zvnútra telesa v prstencoch pribúdajú z jednej strany a zvonku zo strany druhej, majú veľmi zaujímavý tvar zlepcov v tvare parafráfov.



Obrázok 6: Saturn

(zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c7/Saturn_during_Equinox.jpg/1280px-Saturn_during_Equinox.jpg)

Najväčším Saturnovým mesiacom je Titan. Titan objavil už v roku 1655 holandský fyzik a astronóm Christiaan Huygens. Titan má hustú atmosféru, a tak sme až donedávna nevedeli, aký je jeho povrch. Vďaka sonde Huygens vieme, že na povrchu sú svetlé vyvýšeniny z ľadu a tmavé údolia a riečištia. Pri teplotách okolo $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ nemôže v riečiisku tiecť voda. Ide o rieky a jazerá z metánu, ktorý môže na Titane existovať vo všetkých troch skupenstvách. Hovoríme potom o období kolobehu vody na Zemi – kolobehu metánu na Titane. Skúmanie Titanu v budúcnosti určite prinesie aj ďalšie zaujímavé prekvapenia z pohľadu vzniku života, pretože atmosféra je rovnako ako na Zemi z väčšiny tvorená dusíkom, len je oveľa hustejšia.

Saturn

Orbitálne charakteristiky

veľká polos trajektórie	1 514 500 000 km 10,123 8 au
numerická excentricita	0,056 5
obežná doba okolo Slnka	29,457 1 rokov 10 759,22 dní 24 491,07 slnečných dní Saturna
priemerná obežná rýchlosť	9,68 km/s
počet mesiacov	62

Fyzikálne charakteristiky

stredný priemer	116 464 km 9,779 priemeru Zeme
sploštenie	0,097 96
hmotnosť	5,683 4 · 1 026 kg 95,159 hmotnosti Zeme
priemerná hustota	687 kg/m ³
perióda rotácie	10,006 hodín (10 h 33 min 38 s)
povrchová teplota	134 K (na hladine 100 kPa)

Atmosféra

atmosférický tlak	140 kPa 1,4 atmosférického tlaku na Zemi
zloženie (objemový pomer)	96,3 % H ₂ 3,25 % He

Zoznam mesiacov

Aegaeon, Aegir, Albiorix, Anthe, Atlas, Bebhionn, Bergelmir, Bestla, Calypso, Daphnis, Dione, Enceladus, Epimetheus, Erriapus, Farbauti, Fenrir, Fornjot, Greip, Hati, Helene, Hyperion, Hyrrokkin, Iapetus, Ijiraq, Janus, Jarnsaxa, Kari, Kiviuq, Loge, Methone, Mimas, Mundilfari, Narvi, Paaliaq, Pallene, Pan, Pandora, Phoebe, Polydeuces, Prometheus, Rhea, Siarnaq, Skathi, Skoll, Surtur, Suttungr, Tarqeq, Tarvos, Telesto, Tethys, Thrymr, Titan, Ymir (9 doteraz nepomenovaných)

(zdroj: <https://en.wikipedia.org/wiki/Saturn>)

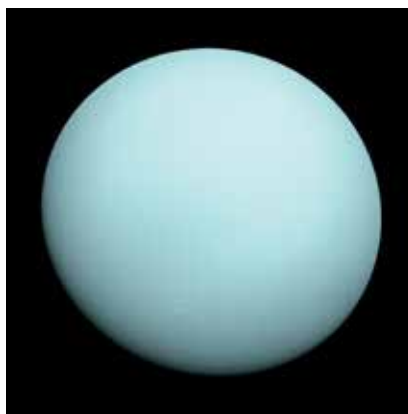
5. Slnčná sústava

Okrem Titanu a pastierskych mesiacov obiehajú okolo Saturna desiatky ďalších mesiacov. V roku 2019 ich poznáme 62. Na ich pomenovanie sa používajú mená severských božstiev. Väčšina mesiacov Saturna má podobne ako mesiace Jupitera povrch tvorený prevažne ľadom. Takým mesiacom je napríklad 500-kilometrový Enceladus. Na ňom objavila v prvom desaťročí 21. storočia sonda Cassini výtrysky plynu a ľadových častíc do výšky až 1 500 km. Zaujímavým mesiacom je napríklad aj Hyperion. Je to mesiac Saturna s rozmermi približne 200 km × 250 km × 350 km. Je tvorený prevažne ľadom, v ktorom sa vyskytujú početné póry. Tým je povrch intenzívne členitý a prakticky všade sú na ňom veľmi strmé zrázy. Saturn obieha Slnko 10-krát ďalej ako Zem. Polomer planéty je 60 300 km. Doba rotácie Saturna je približne rovnaká ako doba rotácie Jupitera. Sklon osi je podobný ako pri Zemi. Okolo Slnka Saturn obehne za 30 rokov.

Detailný pohľad na prstence Saturna zo sondy Cassini ukazuje ich rozčlenenie na tenké prstienky. Prstence sú tvorené množstvom telies (väčšinou ľadových) s rozmermi od 1 mm po stovky metrov, ako ukazuje kresba vo výreze. Prstence zaberajú priestor od povrchu Saturna až do vzdialenosti 500 000 km. Hrúbka prstencov je len niekoľko stoviek metrov. Taliansky a francúzsky fyzik a astronóm Giovanni Domenico Cassini, ktorý sa zaoberal najmä skúmaním planét, objavil v prstencoch Saturna medzeru, ktorá sa volá Cassiniho delenie. Sklon osi rotácie Saturna spôsobuje, že sa nám pri pohľade zo Zeme zdá, že sa prstence Saturna nakláňajú. Niekedy ich vidíme „zhora“, niekedy „zboku“, inokedy „zdola“.

Saturn je pomenovaný podľa rímskeho boha času. Jeho gréckym náprotivkom bol Kronos. Predtým sa často používali aj staročeské mená Hladolet a Kruhana.

Urán Treťou plynnou planétou je Urán. Má modrastú farbu, ktorá je dôsledkom nepatrného množstva metánu v atmosfére. Aj Urán je obklopený podobne ako ostatné plynné planéty prstencami. Tri najväčšie sú označené francúzskymi menami Égalité, Fraternité a Liberté.



Obrázok 7: Urán

(zdroj: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3d/Uranus2.jpg/800px-Uranus2.jpg>)

O mesiacoch Uránu toho vieme relatívne málo, pretože ich zatiaľ navštívila iba jediná sonda Voyager 2, ktorá bola vypustená v roku 1977. Po prelete okolo Jupitera (1979) a Saturna (1981) bola nasmerovaná aj k Uránu (1986) a potom k Neptúnu (1989). Pretože okolo planét len prelietala, nemohla urobiť snímky všetkých mesiacov. V roku 2019 pri Uráne zatiaľ poznáme 27 mesiacov. Sú pomenované podľa mien hrdinov hier Shakespeara

a Popeho. Urán sa otáča okolo svojej osi veľmi rýchlo ako Jupiter a Saturn; perióda rotácie Uránu je 18 hodín. Os Uránu má v porovnaní s ostatnými planétami výnimočnú polohu: leží približne v rovine, v ktorej Urán obieha okolo Slnka. Preto sú „ročné obdobia“ (a tiež magnetické polia v okolí Uránu) veľmi zložité. Urán obieha Slnko 19-krát ďalej ako Zem. Jeho polomer je 26 000 km.

Urán je pomenovaný podľa gréckeho boha vesmíru a neba. V tomto ohľade je medzi ostatnými planétami výnimkou, keďže drvivá väčšina planét nesie mená rímskych bohov. V 19. storočí dostal aj staročeská mená Nebešťanka a Lehana.

Urán

Orbitálne charakteristiky

veľká polos trajektórie	2 875 040 000 km 19,218 4 au
numerická excentricita	0,046 385
obežná doba okolo Slnka	84,020 5 rokov 30 688,5 dní 42 718 slnečných dní Uránu
priemerná obežná rýchlosť	6,80 km/s
počet mesiacov	27

Fyzikálne charakteristiky

stredný priemer	50 724 km 3,976 priemeru Zeme
sploštenie	0,022 9
hmotnosť	8,681 0 · 10 ²⁵ kg 14,536 hmotnosti Zeme
priemerná hustota	1 270 kg/m ³
perióda rotácie	-17,240 hodín (-17 h 14 min 24 s)
povrchová teplota	76 K (na hladine 100 kPa)

Atmosféra

atmosférický tlak	menej ako 130 kPa menej ako 1,3 atmosférického tlaku na Zemi
zloženie (objemový pomer)	83 % H ₂ 15 % He 2,3 % CH ₄

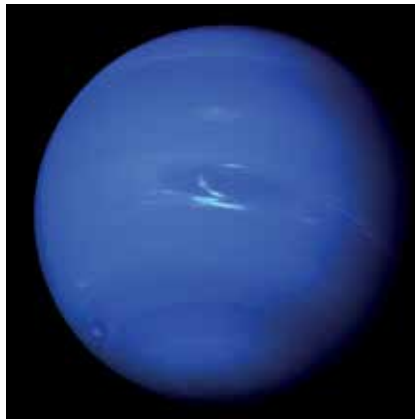
Zoznam mesiacov

Ariel, Belinda, Bianca, Caliban, Cordelia, Cressida, Cupid, Desdemona, Ferdinand, Francisco, Juliet, Mab, Margaret, Miranda, Oberon, Ophelia, Perdita, Portia, Prospero, Puck, Rosalind, Setebos, Stephano, Sycorax, Titania, Trinculo, Umbriel

(zdroj: <https://en.wikipedia.org/wiki/Uranus>)

5. Slnčná sústava

Neptún Poslednou plynnou planétou je **Neptún**. Rovnako ako Urán má aj Neptún modrastú farbu, spôsobenú nepatrným množstvom metánu v atmosfére.



Obrázok 8: Neptún

(zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/56/Neptune_Full.jpg/800px-Neptune_Full.jpg)

Aj Neptún má podobne ako ostatné plynné planéty prstence. O mesiacoch Neptúna, ktorých v roku 2019 poznáme 14, toho vieme rovnako ako o mesiacoch Uránu veľmi málo. Najviac informácií máme vďaka sonde Voyager 2, ktorá okolo Neptúna a niektorých jeho mesiacov preletela v roku 1989. Najpodrobnejšie skúmala mesiac Triton, na ktorom boli sondou na povrchu objavené aktívne sopky. Perióda rotácie Neptúna je 16 hodín, aj Neptún sa ako ostatné plynné planéty otáča okolo svojej osi veľmi rýchlo. Sklon osi Neptúna je približne rovnaký ako sklon osi Saturna či Zeme, preto sú ročné obdobia až na mnohonásobne väčšiu vzdialenosť od Slnka podobné tým, ktoré poznáme na Zemi. Neptún obieha Slnko 30-krát ďalej ako Zem. Jeho polomer je 25 000 km. **Neptún je pomenovaný podľa rímskeho vládcu mora.** Jeho gréckym náprotivkom bol Poseidón. V 19. storočí po svojom objave dostal české mená Vodan a Šeřana.

Neptún**Orbitálne charakteristiky**

veľká polos trajektórie	4 500 000 000 km
	30,11 au
numerická excentricita	0,009 456
obežná doba okolo Slnka	164,8 rokov
	60 182 dní
	89 666 slnečných dní Neptúna
priemerná obežná rýchlosť	5,43 km/s
počet mesiacov	14

Fyzikálne charakteristiky

stredný priemer	49 244 km
	3,861 priemeru Zeme
sploštenie	0,017 1
hmotnosť	1,024 13 · 1 026 kg
	17,147 hmotnosti Zeme
priemerná hustota	1 638 kg/m ³
perióda rotácie	16,11 hodín (16 h 6 min 36 s)
povrchová teplota	72 K (na hladine 100 kPa)

Atmosféra

atmosférický tlak	nepatrný
zloženie (objemový pomer)	80 % H ₂
	19 % He
	1,5 % CH ₄

Zoznam mesiacov

Despina, Galatea, Halimede , Hippocamp, Laomedeia , Larissa, Naiad, Nereid , Neso, Proteus, Psamathe , Sao , Thalassa, Triton

(zdroj: <https://en.wikipedia.org/wiki/Neptune>)

3. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽA

Úloha 1: Výroba modelov telies slnečnej sústavy

Pomôcky:

- 10 loptičiek na stolný tenis (na modely Slnka, 8 planét, Mesiaca), plastová fólia (stredne pevná), fixky, vrtáčka s vrtákom do dreva s priemerom 2,5 – 3 mm, cca 10 špajdlí (najlepšie s hrotom), tavná pištoľ, nôž, hmota na aranžovanie kvetín, uhlomer, ohybný tvarovateľný drôtik dlhý cca 20 cm, tabuľky charakteristík planét (na internete alebo v papierovej podobe)

Postup:

1. Najprv vyrobíme model Slnka. Do loptičky na stolný tenis vyvrtáme na opačných stranách dva otvory tak, aby sa nimi dala pretiahnuť špajdľa. Ešte pred prevlečením špajdle loptičku zafarbíme žltou či oranžovou farbou; na inšpiráciu môžeme využiť obrázkov z internetu alebo z encyklopédie. Môžeme využiť aj farebnú loptičku. Potom prevlečieme špajdľu oboma otvormi, aby časť špajdle bez hrotu nad „povrchom Slnka“ zostala asi 2 cm dlhá. Pomocou tavnej pištole zafixujeme špajdľu v loptičke. Potom odrežeme z hmoty na aranžovanie kvetín hranol s podstavcom asi 5 × 5 cm a do tohto podstavca zapichneme špajdľu hrotom.
2. Ďalej vytvoríme model Zeme. Postup je podobný ako v prípade modelu Slnka. Opäť najprv vyvrtáme do loptičky na stolný tenis na opačných stranách dva otvory tak, aby sa nimi dala pretiahnuť špajdľa. Pred prevlečením špajdle loptičku zafarbíme podľa obrázka z internetu alebo z encyklopédie, pritom dbáme na to, aby zafarbenie loptičky ako Zeme zodpovedalo tomu, že severný a južný pól Zeme sú v miestach vyvrtaných otvorov. Potom prevlečieme špajdľu oboma otvormi, aby časť špajdle bez hrotu nad „povrchom Zeme“ zostala asi 2 cm dlhá. Pomocou tavnej pištole zafixujeme špajdľu v loptičke. Potom odrežeme z hmoty na aranžovanie kvetín hranol s podstavcom asi 5 × 5 cm a do tohto podstavca zapichneme špajdľu hrotom tak, aby sklon špajdle (znázorňujúci zemskú os) bol voči vertikále 23,5 stupňa.
3. Ďalej vytvoríme modely Mesiaca, Merkúra, Venuše a Marsu. Postupujeme pritom rovnako ako v prípade modelu Zeme.
4. Ďalej si vytvoríme model Saturna. Začneme prípravou modelu prstencov Saturna. Z väčšej, pevnej plastovej doštičky vystrihneme kruh s priemerom 4,7 cm a v ňom vystrihneme centrálny kruhový otvor s polomerom 2 cm. Podľa obrázkov na internete či v encyklopédii, na vystrihnutý kruh nakreslíme podobu prstencov. Pritom nezabudneme na to, že prstence začínajú až v určitej vzdialenosti od povrchu Saturna (v danom modeli je to asi 0,25 cm od vnútorného okraja na doštičke). Potom, čo si pripravíme model prstencov, vytvoríme podobným spôsobom ako v minulých dieloch model samotnej planéty Saturn s rovníkovými pásmi. Než model Saturna pomocou špajdle umiestnime na podstavec z aranžovacej hmoty, navlečieme na

model Saturna prstence tak, aby sa nachádzali v rovníkovej oblasti. Ich polohu zafixujeme pomocou tavnej pištole. Potom umiestnime obvyklým spôsobom model Saturna na hmotu na aranžovanie kvetín.

5. Rovnako ako model Saturna vyrobíme ďalej modely ďalších obrích planét, teda Jupitera a Neptúna (Model Uránu bude zložitejší, preto bude popísaný v osobitnom bode). V prípade týchto planét budú prstence menej výrazné, ich charakteristiky vyhľadáme na internete či v tabuľkách.
6. Ako posledný vytvoríme model Uránu. Postup výroby je obdobný ako v prípade iných obrích planét, rozdielny je spôsob upevnenia planéty na podložku z hmoty na aranžovanie kvetín. Pretože sklon rotačnej osi Uránu voči kolmici k rovine ekliptiky je 98° , leží os rotácie prakticky v rovine ekliptiky. Na uloženie modelu Uránu na podstavec preto potrebujeme pripraviť z ohybného drôtu „lôžko“. Lôžko sa skladá z dvoch tyčiek, na ktorých je vo vhodnej výške utvorené očko, do ktorého sa vkladá špajdľa. Aby v podstavci drôt lepšie držal, je vhodné drôt namotať na špajdľu, ktorá bude v podstavci zapichnutá.
7. Pre prehľadnosť je vhodné na podstavce modelov telies slnečnej sústavy upevniť lístky s názvami týchto telies.

Úloha 2: Modeluj pohyb Zeme okolo Slnka

Pomôcky:

- modely Slnka a Zeme, prípadne aj model Mesiaca (pozri bod a), špendlík s farebnou guľatou hlavičkou, silný zdroj svetla, kalkulačka, tabuľky

Postup:

1. Na stôl umiestni modely Slnka a Zeme. Do modelu Zeme zapichni v mieste Slovenskej republiky špendlík s farebnou hlavičkou, ktorý bude označovať polohu pozorovateľa.
2. Pred model Slnka umiestni silný zdroj svetla tak, aby osvetľoval Zem. Otáčaním Zeme okolo osi (pozor na správny smer otáčania: krajina rotuje od západu k východu) demonštruj striedanie dňa a noci v mieste pozorovateľa. Pritom sleduj, ako sa mení deň a noc aj na ďalších miestach Zeme.

Pritom môžeš riešiť nasledujúce otázky a úlohy:

- Nájdi na Zemi miesto, kde sa v danej polohe Zeme nemení deň a noc.
- Porovnaj dĺžku noci v mieste pozorovateľa a na rovníku.

3. Demonštruj pohyb Zeme okolo Slnka po kruhovej trajektórii. Postav Slnko doprostred lavice a do vzdialenosti asi 15 cm od neho Zem. Predveď pohyb Zeme okolo Slnka po kruhovej trajektórii (rotáciu Zeme zanedбай). Dbaj pritom na správnu polohu osi Zeme počas obehu Zeme okolo Slnka (poloha osi Zeme vzhľadom na vzdialené hviezdy sa nemení).

Ďalej rieš nasledujúce úlohy:

- Postav Zem do takej polohy, aby na severnej pologuli bolo leto. Otáčaním Zeme okolo osi (a doplnením zdroja svetla do experimentu podľa Úlohy 2) ukáž, že je dĺžka noci v mieste našej republiky väčšia ako na rovníku a že v okolí severného pólu je polárny deň a v okolí južného pólu polárna noc. Aké ročné obdobie je v tejto polohe na južnej pologuli?
- Postav Zem do takej polohy, aby na severnej pologuli bola zima. Otáčaním Zeme okolo osi (a doplnením zdroja svetla do experimentu podľa Úlohy 2) ukáž, že je dĺžka noci v mieste našej republiky kratšia ako na rovníku a že v okolí severného pólu je polárna noc a v okolí južného pólu polárny deň. Aké ročné obdobie je v tejto polohe na južnej pologuli?
- Nájdi polohu, v ktorej je na severnej pologuli jar. Pri pohybe Zeme okolo Slnka dbaj na to, že pohyb Zeme sa deje v rovnakom zmysle (smere), v akom sa Zem otáča okolo svojej osi, teda od západu k východu.

4. Ukáž, ako sa situácia zmení, ak nezanedbáme eliptickosť trajektórie Zeme okolo Slnka. Postav znova Slnko doprostred lavice. Vypočítaj podľa tabuliek minimálnu a maximálnu vzdialenosť Zeme od Slnka a vyznač ju na lavici kriedou. Postav Zem do minimálnej vzdialenosti od Slnka. Dbaj pritom na správnu polohu osi Zeme (Zem je v minimálnej vzdialenosti od Slnka v zime, presnejšie na začiatku januára). Opäť predveď pohyb Zeme okolo Slnka.

Ďalej rieš nasledujúce úlohy:

- Vieš na základe experimentu vysvetliť, prečo je pre striedanie ročných období v našich zemepisných šírkach podstatnejší sklon zemskej osi ako eliptickosť trajektórie?
- Porovnaj zimu na severnej a južnej pologuli (resp. leto na severnej a južnej pologuli) vzhľadom na eliptickosť trajektórie (oceánske a vzdušné prúdenie neber do úvahy).
- Aké podmienky by museli byť splnené, aby sa na žiadnom mieste Zeme nestriedali ročné obdobia, teda aby boli jednotlivé dni rovnaké po celý rok?
- Premýšľaj, aký vplyv na zmeny teplôt na jednotlivých miestach na povrchu Zeme má atmosféra. Ako by sa líšili ročné obdobia od súčasných, keby bola atmosféra oveľa redšia, než je? A ako by sa líšili v prípade podstatne väčšej hustoty atmosféry?

5. Postav znova Slnko a Zem na lavicu. Pridaj ešte Mesiac. Predpokladaj, že sa Mesiac pohybuje presne v rovine, v ktorej okolo Slnka obieha Zem. Koľkokrát Mesiac obehne Zem počas jedného roka? Teraz predveď s pomocou spolužiaka pohyb Zeme okolo Slnka a súčasne v správnom pomere dôb obehov aj obeh Mesiaca okolo Zeme.

Ďalej môžeš riešiť nasledujúce úlohy:

- Postav Zem a Mesiac do takej polohy, aby pozorovateľ v Slovenskej republike videl spln. Aká časť dňa pritom u nás bude?
- Postav Zem a Mesiac do takej polohy, aby pozorovateľ v Slovenskej republike videl nov. Aká časť dňa pritom u nás bude?
- Postav Zem a Mesiac do takej polohy, aby pozorovateľ v Slovenskej republike videl prvú, resp. poslednú štvrt.

6. Vypočítaj veľkosť modelov Zeme a Slnka, aby boli v rovnakej mierke ako ich vzdialenosť. Počítaj so vzdialenosťou oboch telies od seba na lavici 15 cm.
- Aké guľové teleso by malo takto vypočítanú veľkosť a mohlo by byť veľkostne správnym modelom namiesto loptičky na stolný tenis? Aké teleso by znázorňovalo Zem?
 - Predpokladaj, že Slnko je znázornené loptičkou na stolný tenis s priemerom 4 cm. V akej vzdialenosti by mal byť umiestnený model Zeme? Ako veľké teleso by ho znázorňovalo v správnom pomere?
7. Pohybuj modelom Zeme okolo Slnka a zároveň demonštruj rotáciu Zeme okolo osi.
- Urči všetky zemepisné šírky, v ktorých je pozorované slnko na oblohe aspoň raz za rok smerom na juh, teda ako v našej zemepisnej šírke.



(zdroj: https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_329.html)

Úloha 3: Aké sú vzdialenosti planét od Slnka?

Pomôcky:

- modely Slnka a planét (pozri bod a), kalkulačka, tabuľky, krieda

Postup:

1. Úlohy z časti b), najmä úlohy 4, 5 a 6, možno použiť aj v tejto časti.
2. Odhadni vzájomné vzdialenosti Zeme, Marsu, Jupitera a Saturna. Na stôl umiestni modely Slnka a Zeme tak, aby sa ich podstavce dotýkali. Pokús sa rozmiestniť modely Marsu, Jupitera, Saturna tak, aby boli v rovnakom pomere vzdialeností ako model Zeme od Slnka. Potom sa presvedč pomocou tabuliek, či tvoje odhady polôh planét boli správne. Uprav vzdialenosti planét.
3. Postav model Slnka na jeden kraj stola a model Marsu na druhú stranu stola. Medzi Slnko a Mars umiestni Merkúr, Venušu, Zem tak, aby boli v rovnakom pomere vzdialeností ako model Marsu od Slnka. Potom sa presvedč pomocou tabuliek, či tvoje odhady polôh planét boli správne. Uprav vzdialenosti planét.

Úloha 4: Aké sú veľkosti planét?

Pomôcky:

- modely Slnka a planét (pozri bod a), kalkulačka, tabuľky, krieda

Postup:

1. Úlohu 6 z časti b) možno použiť aj v tejto časti.
2. Vezmi model Jupitera ako základ.
 - Vypočítaj, aké veľké by boli modely ostatných planét a Slnka.
 - Skús porovnať, aké guľové telesá by mali takto vypočítanú veľkosť a mohli by byť veľkostne správnymi modelmi miesto loptičiek na stolný tenis.
 - Ďalej vypočítaj, aké by boli vzdialenosti jednotlivých planét od Slnka v tomto modeli.



(zdroj: http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=10164)

Úloha 5: Prečo pri pozorovaní zo Zeme vidíme nakláňanie prstencov Saturna?

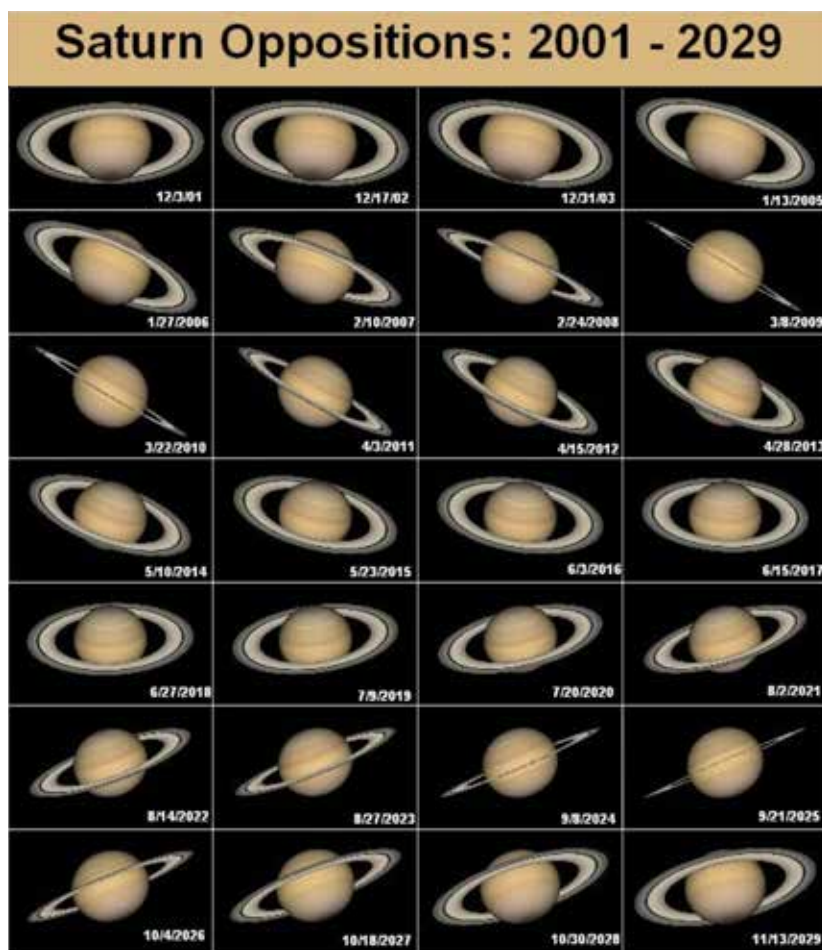
Pomôcky:

- modely Slnka a Saturna (pozri bod a)

Postup:

1. Umiestni model Slnka doprostred stola. Do vzdialenosti asi 20 cm umiestni model Saturna.
 - Urči približnú polohu Zeme v tomto modeli.
 - Predveď obeh Saturna okolo Slnka. Nezabudni pritom na zachovanie smeru osi Saturna v priestore podobne, ako to je v prípade Zeme.

- Z tabuliek určí, ako dlho trvá v skutočnosti obeh Saturna okolo Slnka.
 - Vysvetli, prečo zo Zeme pozorujeme nakláňanie prstencov Saturna (pozri obr.).
 - Určí periódu nakláňania prstencov Saturna.
2. Úvahou a experimentom podobným časti b), úlohy 3 dospej k záveru, či sa na Saturne striedajú ročné obdobia. V prípade, že áno, skús odhadnúť, v akých kronocentrických šírkach striedanie ročných období nastáva (kronocentrická šírka je obdoba zemepisnej šírky na povrchu Saturnu).
- Na základe experimentu s pohybom Saturna okolo Slnka a rotáciou Saturna okolo osi zisti, či na Saturne existujú polárne dni a noci podobne ako na Zemi.
 - Experimentom zisti, ako široký je pás okolo rovníka Saturnu, v ktorom svetlo zo Slnka pred dopadom na povrch prechádza rovinou prstencov.



(zdroj: CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=174680>)

Úloha 6: Modeluj pohyb Uránu okolo Slnka

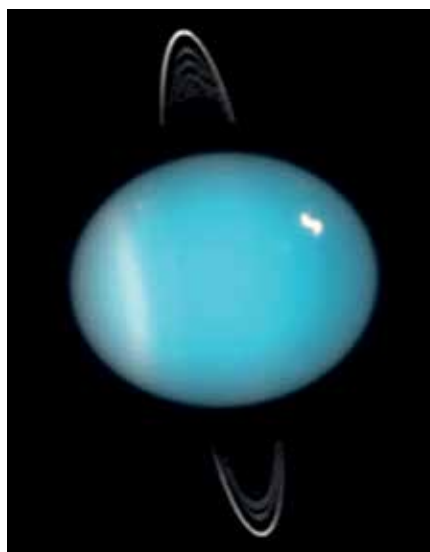
Modeluj pohyb Uránu okolo Slnka a popíš, ako sa striedajú ročné obdobia pre rôzne hypotetické polohy pozorovateľa na „povrchu“ Uránu.

Pomôcky:

- modely Slnka a Uránu (pozri bod a), špendlík s farebnou guľatou hlavičkou, silný zdroj svetla

Postup:

1. Umiestni model Slnka doprostred stola. Do vzdialenosti asi 20 cm umiestni model Uránu.
 - Nájdi v tabuľkách, ako dlho trvá obeh Uránu okolo Slnka.
 - Predveď obeh Uránu okolo Slnka. Nezabudni pritom na zachovanie smeru osi Uránu v priestore.
 - Zisti, ako sa menia „ročné obdobia“ na severnom, resp. južnom póle Uránu. Môžeš si pomôcť zdrojom svetla.
 - Urči periódu nakláňania prstencov Saturna.
 - Vyznač na povrchu Uránu zapichnutím špendlíka fiktívneho pozorovateľa na 45. stupni uranografickej šírky. Posúvaj Urán pomaly po obežnej trajektórii okolo Slnka a v každej polohe uskutočni rotáciu Uránu okolo osi. Z experimentu vyvod' závery o tom, ako vyzerá deň a noc v jednotlivých polohách. Zároveň zisti, ako sa striedajú „ročné obdobia“ pre takého pozorovateľa.
 - Špendlík znázorňujúci polohu fiktívneho pozorovateľa presuň na rovník modelu Uránu. Znova posúvaj Urán pomaly po obežnej trajektórii okolo Slnka a v každej polohe uskutočni rotáciu Uránu okolo osi. Z experimentu vyvod' závery o tom, ako vyzerá deň a noc v jednotlivých polohách. Zároveň zisti, ako sa striedajú „ročné obdobia“ pre pozorovateľa na rovníku.



(zdroj: <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2007/32/image/c/>)

4. PRACOVNÉ LISTY PRE ŽIAKOV

Názov úlohy	Predpokladaná doba trvania	Náročnosť úlohy	Vek detí, pre ktorý je úloha vhodná	Pomôcky a použitý materiál	Cieľ úlohy
1. Výroba modelov telies slnečnej sústavy	3 vyučovacie hodiny	časová náročnosť je veľká, náročnosť na manuálnu zručnosť a mentálna náročnosť stredná	druhý stupeň ZŠ	pozri návod a postup	príprava modelov významných telies slnečnej sústavy pre ďalšie úlohy; pochopenie významu základných charakteristík planét slnečnej sústavy; rozvíjanie manuálnej zručnosti
2. Modelujte pohyb Zeme okolo Slnka	20 minút (ak sú už vyrobené modely v rámci aktivity a)	malá až stredná (malá pri prvých úlohách, stredná pri záverečných úlohách)	prvý a druhý stupeň ZŠ	modely Slnka a Zeme, prípadne model Mesiaca	pochopenie podstaty striedania ročných období; pochopenie podstaty pohybu telies slnečnej sústavy; pochopenie striedania dňa a noci
3. Aké sú vzdialenosti planét od Slnka?	40 minút	stredná	druhý stupeň ZŠ	modely Slnka a planét	pochopenie zloženia slnečnej sústavy a systému rozloženia planét v slnečnej sústave; získanie kompetencie vnímania vzdialenostných pomerov v slnečnej sústave
4. Aké sú veľkosti planét?	30 minút	stredná	druhý stupeň ZŠ	modely Slnka a planét	porozumenie rozmerovej pestrosti planét slnečnej sústavy; získanie kompetencie vnímania veľkostných a vzdialenostných pomerov v slnečnej sústave
5. Prečo pri pozorovaní zo Zeme vidíme nakláňanie prstencov Saturna?	15 – 25 minút	stredná	druhý stupeň ZŠ	modely Slnka a Saturna	pochopenie javu nakláňania prstencov Saturna počas obehu Saturna okolo Slnka; upevnenie poznatkov o zachovaní smeru osi planét v slnečnej sústave; upevnenie poznatkov o príčinách a prejavoch striedania ročných období
6. Modeluj pohyb Uránu okolo Slnka a popíš, ako sa striedajú ročné obdobia pre rôzne hypotetické polohy pozorovateľa na „povrchu“ Uránu.	30 – 60 minút	veľká	druhý stupeň ZŠ, prípadne aj stredná škola	modely Slnka a Uránu	pochopenie obehu Uránu okolo Slnka; upevnenie poznatkov o zachovaní smeru osi planét v slnečnej sústave; upevnenie poznatkov o príčinách a prejavoch striedania ročných období

TRPASLIČIE PLANÉTY

1. ÚVOD

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

trpasličie planéty

Ceres, Pluto

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

Definícia Pojem trpasličia planéta je relatívne nový, vznikol v Prahe 24. augusta 2006 na XXVI. valnom zhromaždení Medzinárodnej astronomickej únie. Počas tohto astronomického kongresu bol novo definovaný pojem planéta, čím sa počet známych planét slnečnej sústavy znížil na 8. Diskusie okolo tejto zmeny sa niekedy označujú ako „boj o Pluto“. Do tej doby nebol pojem „planéty“ nijako definovaný a planéty slnečnej sústavy boli známe jednoduchým vymenovaním objektov.

História Do roku 1781 bolo známych 6 planét slnečnej sústavy (Merkúr, Venuša, Zem, Mars, Jupiter, Saturn). Tieto planéty nemajú svojho objaviteľa. V roku 1781 nemecký astronóm William Herschel objavil planétu Urán, tým sa počet známych planét zvýšil na 7. Medzi rokmi 1801 až 1845 bol počet planét rôzny, niektorí medzi ne radili aj novo nájdené objekty medzi Marsom a Jupiterom, tzn. planétky Vesta, Juno, Ceres a Pallas. V roku 1846 objavil nemecký astronóm Johann Gottfried Galle planétu Neptún. Od roku 1854 až do roku 1930 boli planétami Merkúr, Venuša, Zem, Mars, Jupiter, Saturn, Urán a Neptún. V roku 1930 objavil americký astronóm Clyde Tombaugh ďalší objekt, Pluto, ktorý vtedy zaradili medzi planéty slnečnej sústavy, čím počet známych planét stúpol na 9. **Zmena nastala 24. augusta 2006, kedy sa Pluto preradilo do novo vzniknutej kategórie „trpasličie planéty“.**



Obrázok 9: Trpasličia planéta Pluto vyhotovená sondou New Horizons v roku 2014 zo vzdialenosti 35 500 km

(zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Pluto_in_True_Color_-_High-Res.jpg)

Trpasličia planéta je objektom slnečnej sústavy. Ten sa podobá planéte a musí spĺňať nasledujúce kritériá:

1. obieha okolo Slnka;
2. má dostatočnú hmotnosť, aby ho jeho gravitačné sily sformovali do približne guľového tvaru (nachádza sa v hydrostatickej rovnováhe);
3. počas svojho vývoja neprečistil svoje okolie, aby sa stal v danej zóne dominantný;
4. nie je satelitom.

Trpasličie planéty nie sú podmnožinou planét, ide o samostatnú kategóriu. Naopak sa ukazuje, že trpasličie planéty sú veľmi často zároveň uvádzané v katalógu planétok.

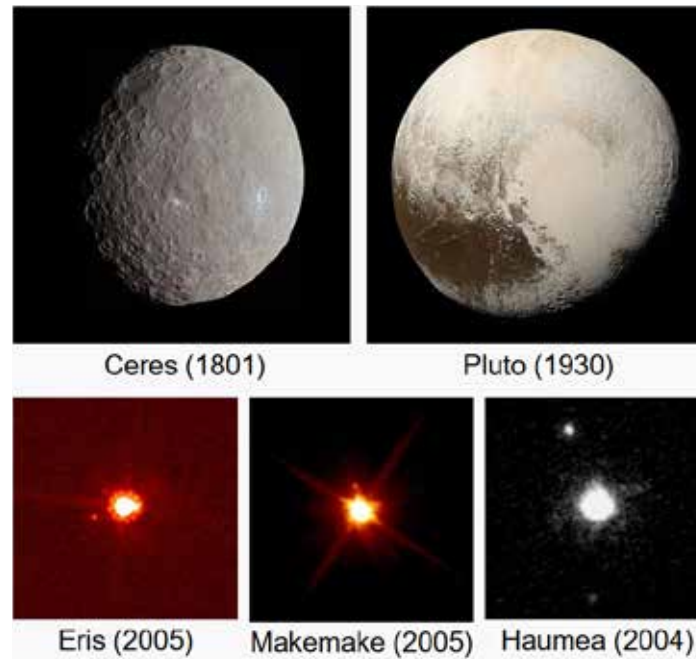
Medzinárodná astronomická únia v súčasnosti (marec 2019) uznáva päť trpasličích planét:

Kat. číslo	Názov	Miesto	Priemer D (km)	Hlavná polos a (au)	Sklon trajektórie i (°)	Výstrednosť trajektórie e (-)	Hmotnosť m (kg)	Rok objavu
1	Ceres	1)	946	2,77	11	0,0758	9 · 1 020	1801
134340	Pluto	2)	2 377	39,5	17	0,2488	1 · 1 022	1930
136108	Haumea	3)	1 632	43,2	28	0,191	4 · 1 021	2004
136472	Makemake	4)	1 430	45,7	29	0,156	4 · 1 021	2005
136199	Eris	5)	2 326	67,8	44	0,441	2 · 1 022	2005

(Vysvetlivky pre Miesto: ¹⁾ Hlavný pás planétok, ²⁾ Kuiperov pás (plutíno),

³⁾ Kuiperov pás (dráhová rezonancia 12:7 s Neptúnom), ⁴⁾ Kuiperov pás (Kubewana), ⁵⁾ Rozptýlený disk)

Je pravdepodobné, že kategória trpasličích planét sa v budúcnosti rozrastie o ďalšie objekty.



Obrázok 10: Trpasličie planéty
(zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Dwarf_planet)

3. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽA

Úloha 1: Trpasličia planéta

Úloha: Ako sa odlišuje trpasličia planéta od planéty?

Riešenie: Trpasličia planéta je objekt slnečnej sústavy, ktorý je podobný planéte a musí spĺňať nasledujúce kritériá:

- obieha okolo Slnka,
- má dostatočnú hmotnosť, aby ho jeho gravitačné sily sformovali do približne guľového tvaru (nachádza sa v hydrostatickej rovnováhe),
- počas svojho vývoja neprečistil svoje okolie, aby sa stal v danej zóne dominantný,
- nie je satelitom.

Okrem tretej zarážky je definícia zhodná s definíciou planéty.

Úloha: Vymenuj tri trpasličie planéty a zisti, v ktorej časti slnečnej sústavy sa nachádzajú.

Riešenie: Ceres (hlavný pás planétok, medzi Marsom a Jupiterom), Pluto (za trajektóriou Neptúna), Haumea (za trajektóriou Neptúna), Makemake (za trajektóriou Neptúna), Eris (za trajektóriou Neptúna)

Úloha 2: Trpasličie planéty a ich trajektórie

Úloha: Urči vzdialenosti trpasličích planét v príslní a odslní. Usporiadaj trpasličie planéty vzostupne podľa vzdialenosti od Slnka v príslní a odslní. Spočítaj pre každý objekt súčet vzdialeností v príslní a odslní. Porovnaj výslednú hodnotu s dvojnásobkom hlavnej polosi.

(Pomôcka: Vzdialenosť v príslní je $a(1 - e)$, v odslní $a(1 + e)$.)

Riešenie:

Názov	Hlavná polos a (au)	Výstrednosť trajektórie e (-)	Vzdialenosť v príslní r_P (au)	Vzdialenosť v odslní r_A (au)	$r_P + r_A$ (au)	$2a$ (au)
Ceres	2,77	0,0758	2,56	2,98	5,54	5,54
Pluto	39,5	0,2488	29,7	49,3	79	79
Haumea	43,2	0,191	34,9	51,5	86,4	86,4
Makemake	45,7	0,156	38,6	52,8	91,4	91,4
Eris	67,8	0,441	37,9	97,7	135,6	135,6

Vzdialenosť v príslní (pre Ceres) $r_P = a(1 - e) = 2,77(1 - 0,0758) \text{ au} = 2,56 \text{ au}$

Vzdialenosť v odslní (pre Ceres) $r_A = a(1 + e) = 2,77(1 + 0,0758) \text{ au} = 2,98 \text{ au}$

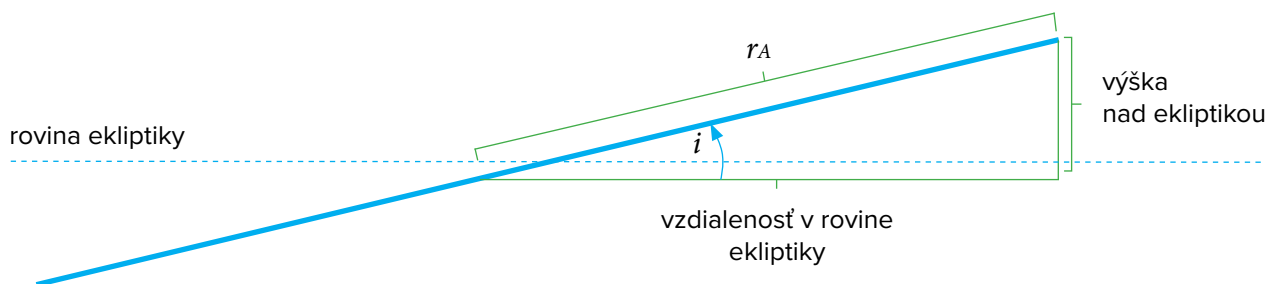
Poradie v príslní: Ceres, Pluto, Haumea, Eris, Makemake

Poradie v odslní: Ceres, Pluto, Haumea, Makemake, Eris

Z tohto poradia je zrejmé, že sa trpasličia planéta Eris približuje k Slnku bližšie ako trpasličia planéta Makemake, rozdiel 0,7 au zhruba zodpovedá vzdialenosti Venuše od Slnka.

Väčšina objektov slnečnej sústavy sa pohybuje mimo rovinu ekliptiky, v ktorej obieha Zem okolo Slnka. Obežná rovina objektu zvierá so základnou rovinou ekliptiky uhol, ktorý označujeme i , od slova inklinácia (sklon trajektórie). Skúsime započítať vplyv sklonu obežnej roviny objektu. Pre tento prípad budeme potrebovať goniometrické funkcie sínus a kosínus.

5. Slniečna sústava



Úloha: Urči vzdialenosti trpasličích planét v príslní a odslní, ak ich premietneme do roviny ekliptiky a zahrnieme sklon ich obežných trajektórií. Ako ďaleko od roviny ekliptiky sa trpasličie planéty dostanú, ak sa nachádzajú v príslní alebo odslní.

Riešenie:

Názov	Hlavná polos a (au)	Výstrednosť trajektórie e (-)	Sklon trajektórie i ($^{\circ}$)	Vzdialenosť v príslní v rovine ekliptiky (au)	Vzdialenosť v odslní v rovine ekliptiky (au)	Vzdialenosť od ekliptiky v príslní (au)	Vzdialenosť od ekliptiky v odslní (au)
Ceres	2,77	0,0758	11	2,51	2,93	0,49	0,57
Pluto	39,5	0,2488	17	28,4	47,1	8,7	14,4
Haumea	43,2	0,191	28	30,8	45,5	16,4	24,2
Makemake	45,7	0,156	29	33,8	46,2	18,7	25,6
Eris	67,8	0,441	44	27,3	70,3	26,3	67,9

Vzdialenosť v príslní v rovine ekliptiky (pre Ceres):
 $a(1 - e) \cos i = 2,77(1 - 0,0758) \cos 11^{\circ} \text{ au} = 2,51 \text{ au}$

Vzdialenosť v odslní v rovine ekliptiky (pre Ceres):
 $a(1 + e) \cos i = 2,77(1 + 0,0758) \cos 11^{\circ} \text{ au} = 2,93 \text{ au}$

Vzdialenosť od ekliptiky v príslní (pre Ceres):
 $a(1 - e) \sin i = 2,77(1 - 0,0758) \sin 11^{\circ} \text{ au} = 0,49 \text{ au}$

Vzdialenosť od ekliptiky v odslní (pre Ceres):
 $a(1 + e) \sin i = 2,77(1 + 0,0758) \sin 11^{\circ} \text{ au} = 0,57 \text{ au}$

Situácia je v skutočnosti zložitejšia (nezahrnuli sme napr. natočenie obežnej trajektórie v priestore, predpokladali sme, že príslnie a odslnie sa nachádzajú najďalej od ekliptiky), presnejšie výpočty však výrazne prevyšujú znalosti na úrovni základnej školy, preto sa uspokojíme aspoň s týmto približným výpočtom.

Úloha: Trpasličia planéta Ceres má polomer 457 km. V Bratislave jazdí autobus s dĺžkou 25 metrov. Koľko autobusov sa vojde do priemeru trpasličej planéty Ceres?

Riešenie: Priemer Ceres = 2 · polomer Ceres = 2 · 457 km = 914 km = 914 000 m. Dĺžka autobusu = 25 m. Počet autobusov $n = 914\,000/25 = 36\,560$ ks. Do priemeru Ceres sa vojde viac ako 36 500 autobusov.

Úloha: V tejto časti sa pokúsime odhadnúť obežnú rýchlosť trpasličej planéty, ktorá sa nachádza v hlavnom páske planétok. Pre jednoduchosť budeme uvažovať, že sa objekt pohybuje po kruhovej obežnej trajektórii.

- a) Ceres, skôr išlo o najväčšiu planétku v hlavnom páske planétok, teraz ide o trpasličiu planétu, obehne okolo Slnka raz za 4,6 roka. Vypočítaj, koľko sekúnd trvá trpasličej planéte Ceres, kým dokončí jeden obeh.

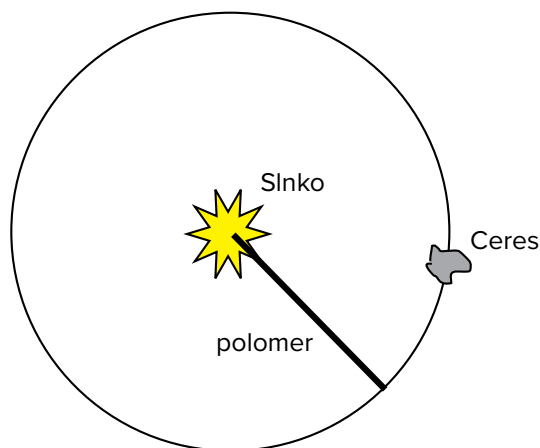
Riešenie: $1 \text{ rok} = 365 \text{ dní} \cdot 24 \text{ hodín} \cdot 60 \text{ minút} \cdot 60 \text{ sekúnd} = 31\,536\,000 \text{ s}$. Jeden obeh Ceres okolo Slnka trvá $4,6 \cdot 31\,536\,000 \text{ s} = 145 \text{ miliónov sekúnd}$. Bolo by možné použiť aj dĺžku tropického roka (čas medzi dvoma po sebe nasledujúcimi priechodmi pravého Slnka – stredu slnečného disku – jarným bodom), ktorý trvá $31\,556\,925 \text{ s}$, avšak výsledný počet sekúnd zaokrúhlený na milióny sekúnd sa nezmení.

- b) Ceres sa nachádza vo vzdialenosti 2,77 au od Slnka. 1 au je 150 miliónov km. Vypočítaj vzdialenosť trpasličej planéty Ceres od Slnka v km.

Riešenie: Ceres sa nachádza vo vzdialenosti $2,77 \cdot 150\,000\,000 \text{ km} = 416 \text{ miliónov km}$.

- c) Predpokladajme, že Ceres obieha okolo Slnka po kruhovej dráhe. Nakresli schematický obrázok, ktorý bude znázorňovať obežnú trajektóriu trpasličej planéty. Na obrázku znázorni a označ Slnko, Ceres a polomer kružnice (obežnej trajektórie).

Riešenie:



- d) Použi vzdialenosť z časti b) a vypočítaj, koľko km prejde Ceres pri jednom obehu. (Pomôcka: obvod kruhu sa vypočíta pomocou vzťahu $o = 2\pi r$, kde $\pi \doteq 3,14$)

Riešenie: Obvod obežnej trajektórie $o = 2\pi r = 2\pi \cdot 416 \cdot 10^6 \text{ km} = 2,6 \text{ miliardy km}$.

Pre porovnanie možno uviesť, že dĺžka obežnej trajektórie Zeme je necelá jedna miliarda kilometrov.

5. Slnčná sústava

- e) Použi vzťah pre výpočet priemernej rýchlosti $v = s / t$ a použitím odpovedí v častiach a) a b) vypočítaj, akou rýchlosťou sa Ceres pohybuje okolo Slnka.

Riešenie: Priemerná rýchlosť Ceres okolo Slnka je
 $v = s / t = 2,6 \cdot 10^9 / 145 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 17,9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Pre porovnanie, Zem sa na svojej obežnej trajektórii pohybuje priemernou rýchlosťou 30 km s^{-1} .

Úloha: obežná rýchlosť trpasličej planéty Pluto

- a) Pluto, skôr išlo o planétu, teraz ide o trpasličiu planétu, obehne okolo Slnka raz za 248 rokov. Vypočítaj, koľko sekúnd trvá trpasličej planéte Pluto, kým dokončí jeden obeh.

Riešenie: Jeden obeh trpasličej planéty Pluto okolo Slnka trvá $248 \cdot 31\,536\,000 \text{ s} = 7,8$ miliardy sekúnd. Bolo by možné použiť aj dĺžku tropického roka, avšak výsledný počet sekúnd zaokrúhlený na desatiny miliárd sekúnd sa nezmení.

- b) Vypočítaj, koľkokrát Pluto obehlo okolo Slnka od svojho objavu v roku 1930.

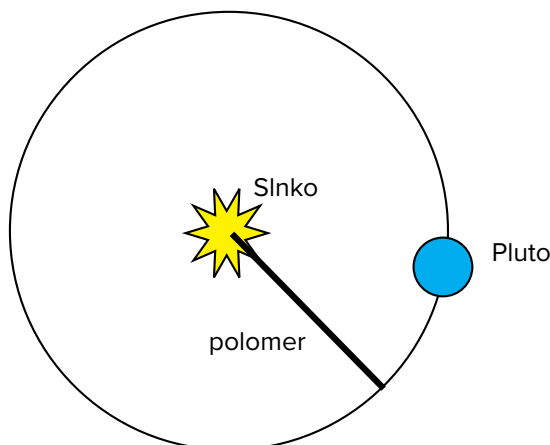
Riešenie: Pluto svoj obeh okolo Slnka od svojho objavenia dokončí až v roku 2178, takže zatiaľ od svojho objavu neobehlo okolo Slnka ani raz. Od svojho objavu Pluto (k roku 2019) prešlo 36 % celkovej obežnej trajektórie. $(2019 - 1930) / 248 = 0,36$.

- c) Pluto sa nachádza v priemernej vzdialenosti 39,5 au od Slnka. 1 au je 150 miliónov km. Vypočítaj vzdialenosť trpasličej planéty Pluto od Slnka v km.

Riešenie: Pluto sa nachádza vo vzdialenosti $39,5 \cdot 150\,000\,000 \text{ km} = 5,9$ miliónov km.

- d) Predpokladaj, že Pluto obieha okolo Slnka po kruhovej dráhe. Nakresli schematický obrázok, ktorý bude znázorňovať obežnú trajektóriu trpasličej planéty. Na obrázku znázorni a označ Slnko, Pluto a polomer kružnice (obežnej trajektórie).

Riešenie:



- e) Použi vzdialenosť z časti c) a vypočítaj, koľko km prejde Pluto pri jednom obehu. (Pomôcka: obvod kruhu sa vypočíta pomocou vzťahu $o = 2\pi r$, kde $\pi \doteq 3,14$)

Riešenie: Obvod obežnej trajektórie $o = 2\pi r = 2\pi \cdot 5,9 \cdot 10^9 \text{ km} = 37$ miliárd km.

Pre porovnanie možno uviesť, že Zem prejde na svojej obežnej trajektórii okolo Slnka necelú jednu miliardu kilometrov. Pluto sa v skutočnosti nepohybuje po kružnici, ale po elipse s výstrednosťou 0,25. Vzorec na výpočet obvodu elipsy presahuje náročnosť učivo základnej školy. Chyba určenia obvodu elipsy pri použití vzorca pre obvod kruhu je v ráde niekoľkých percent, na tento účel je teda náhrada obvodom kruhu dostatočná.

- f) Použi vzťah pre výpočet priemernej rýchlosti $v = s / t$ a použitím odpovedí v častiach a) a e), vypočítaj, akou rýchlosťou sa Pluto pohybuje okolo Slnka.

Riešenie: Priemerná rýchlosť Pluto okolo Slnka je

$$v = s / t = 37 \cdot 10^9 / 7,8 \cdot 10^9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 4,7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Pre porovnanie, Mesiac sa na svojej obežnej trajektórii okolo Zeme pohybuje priemernou rýchlosťou $1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Úloha: Kedy bude Ceres zapadať? V tejto úlohe budeme predpovedať, kedy zapadne trpasličia planéta Ceres, pokiaľ ju budeme pozorovať pomocou ďalekohľadu Faulkes Telescope North (FTN) na Havaji. Predpokladajme, že západ objektu je okamih, kedy bude vo výške 0° nad obzorom.

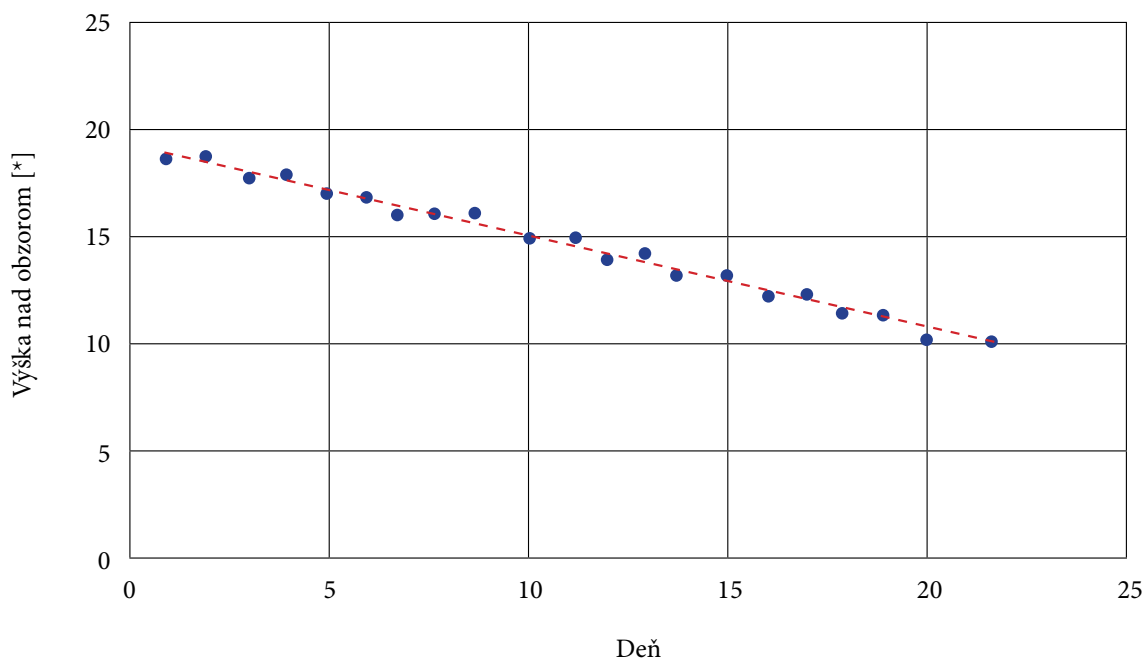
Nižšie uvedená tabuľka obsahuje výšku Ceres nad obzorom, ako bola vidieť z FTN, pre každý deň po dobu 21 dní od 27. 2. 2006. Na prvý pohľad je z dát zrejmé, že sa výška Ceres nad obzorom každým dňom postupne znižuje. Kedy dosiahne horizont?

Deň	Výška nad obzorom ($^\circ$)	Deň	Výška nad obzorom ($^\circ$)
1	19	12	14
2	19	13	14
3	18	14	13
4	18	15	13
5	17	16	12
6	17	17	12
7	16	18	11
8	16	19	11
9	16	20	10
10	15	21	10
11	15		

5. Slniečna sústava

- a) Nakresli graf závislosti výšky Ceres nad obzorom od dní, pričom použi dáta z vyššie uvedenej tabuľky. Nakreslenými bodmi prelož priamku.

Riešenie:



- b) Vypočítaj sklon priamky a jej priesečník s osou y. Za predpokladu, že najlepšie možno body preložiť priamkou, aká je rovnica pre tieto dáta?

Riešenie: Medzi 1. a 21. dňom (20 dní) je rozdiel výšky (klesne o) 9° , tzn. sklon priamky je $9^\circ / 20 = -0,45^\circ$. Priesečník s osou y je 19. Rovnica priamky je v tvare $y = -0,45x + 19$.

- c) Urči, za koľko dní bude Ceres pod obzorom. (Pomôcka: Objekt zapadne, ak je jeho výška nad obzorom 0° .)

Riešenie: Západ Ceres je okamih, kedy je výška nad obzorom 0° , tzn. $y = 0$. Riešime rovnicu a hľadáme x, pre ktoré platí, že y je rovné 0. Môžeme písať

$$0,45x = 19$$

$$x = 42$$

Ceres zapadne za 42 dní.

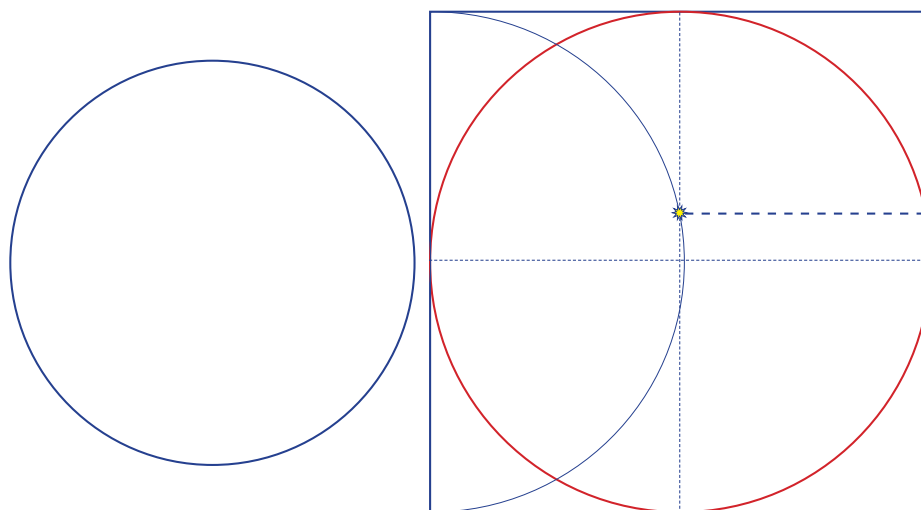
Úloha: Obežná trajektória trpasličej planéty Pluto je odlišná od obehových trajektórií planét – výstrednosť 0,25, sklon 17° . Výstrednosť trajektórií planét sa pohybuje od 0,007 (Venuša) až 0,206 (Merkúr), pričom väčšina planét má výstrednosť menšiu ako 0,1. Sklon obežnej trajektórie voči rovine ekliptiky je u planét v rozsahu 0° (Zem, z definície eklipti-

ky) až po 7° (Merkúr). Vďaka tomu sa Pluto dostáva v malom úseku (od 7. 2. 1979 až po 11. 2. 1999) svojej trajektórie k Slnku bližšie ako Neptún, keď si jeho obežnú trajektóriu premietneme do roviny ekliptiky.

- a) Predpokladaj, že sa Pluto pohybuje po kruhovej obežnej trajektórii. Vypočítaj, koľko percent času sa Pluto nachádza k Slnku bližšie ako planéta Neptún? Koľko je to dní?

Riešenie: Obežná doba Pluta je 248 rokov. Pluto je bližšie medzi rokmi 1979 až 1999, čo je 20 rokov. S ohľadom na presnosť výpočtu postačí počítanie na úrovni rokov, takže $20 : 248 = 8 \%$. Medzi 7. 2. 1979 až 11. 2. 1999 uplynie $7 \cdot 365 \text{ dní} + 5 \text{ dní}$ za prestupné roky (1980, 1984, 1988, 1992 a 1996) + 4 dni (od 7. dňa v mesiaci do 11. dňa v mesiaci).

- b) Na modeli trajektórií Neptúna a Pluta sa presvedč, že sa Neptún s Plutom nemôžu zraziť. Vytvor si jednoduchý model trajektórií planéty Neptún a trpasličej planéty Pluto. Na list papiera formátu A4 narysuj kružnicu s polomerom 7,5 cm, ktorá bude predstavovať obežnú trajektóriu Neptúna. Vytvorený kruh vystrihni a na jednom mieste prestrihni až do stredu kružnice. Na ďalší list papiera si vytvoríš trajektóriu Pluta, bude lepšie, ak si na počítači v nejakom programe (napr. možné aj v textovom editore) nakreslíš obdĺžnik so stranami 19,8 cm a 19,2 cm. Do neho nakreslíš elipsu, aby sa dotýkala všetkých strán obdĺžnika. Vyznač bodkočiarkovane obe osi elipsy. Polohu Slnka získaš tak, že nakreslíš polkružnicu okolo stredu dlhšej strany obdĺžnika s priemerom 19,8 cm a nájdeš priesečník s dlhšou osou elipsy. Nakoniec zostroj kolmicu k dlhšej osi elipsy tak, aby prechádzala Slnkom. Obrázok vytlač v správnej mierke na formát A4, trajektóriu vystrihni vrátane vyznačenej kolmice. Obidva modely trajektórií do seba zasun tak, aby zvierali uhol 17° .



Úloha: Koľko vážiš, závisí od gravitačnej sily v mieste, kde sa nachádzaš. Nižšie uvedená tabuľka ukazuje, aká by bola gravitačná sila na rôznych miestach v slnečnej sústave v porovnaní s hodnotou (1,00) na zemskom povrchu. Pokiaľ na Zemi niekto váži 100 kg, na Mesiaci by vážil 17 kg. K tejto hodnote sa dospeje nasledujúcim spôsobom: 100 kg („váha“ na Zemi) vynásobených 0,17 (gravitačný faktor pre Mesiac) = 17 kg. Je potrebné si uve-

5. Slnčná sústava

domiť, že hmotnosť sa na rôznych miestach nemení, zostáva stále rovnaká. Iba sa mení ťarcha, ktorá súvisí s gravitačnou silou.

Tvoja hmotnosť na Zemi: _ _ _ _ **100** _ _ _ _ kg

Miesto	Gravitačný faktor na povrchu (Zeme = 1,00)	Moja „váha“ na tomto mieste
Slnko	28	2 800
Merkúr	0,38	38
Venuša	0,9	90
Zem	1,0	100
Mesiac	0,17	17
Mars	0,38	38
Ceres	0,029	2,9
Jupiter	2,53	253
Saturn	1,1	110
Urán	0,9	90
Neptún	1,14	114
Pluto	0,06	6

Je potrebné si uvedomiť, že na plynných planétach a Slnku nemožno v skutočnosti pristáť, pretože nemajú pevný povrch. Zoraď zoznam miest podľa toho, kde je tvoja „váha“ najväčšia po najmenšiu. Od akého parametra závisí zmena tvojej „váhy“?

Riešenie: Slnko, Jupiter, Neptún, Saturn, Zem, Venuša, Urán, Merkúr, Mars, Mesiac, Pluto, Ceres. Zmena závisí od gravitačného faktora, ktorý je ovplyvnený hmotnosťou objektu, jeho rozmerom (gravitačná sila) a dobou rotácie okolo osi, rozmermi objektu (odstredivá sila).

Úloha: V tejto úlohe si vyskúšame, ako hmotnosť planéty ovplyvňuje skok do výšky.

Postup:

1. Žiaci vytvoria skupiny po troch.
2. Jeden žiak zo skupiny drží metrové pravítko zvislo k podlahe, pričom začiatok stupnice pravítka sa dotýka podlahy.
3. Druhý žiak zo skupiny pozoruje stupnicu pravítka a zaznamená výšku výskoku tretieho žiaka zo skupiny.
4. Tretí žiak zo skupiny vyskočí do výšky vedľa pravítka. Výška výskoku je zaznamenaná a opakovaná celkom trikrát. Z troch výšok sa vypočíta priemerná výška výskoku, ktorá sa zaznamená do formulára a bude považovaná za výšku výskoku na Zemi.
5. Žiaci si medzi sebou vymenia roly, to znamená, že každý bude skokanom a zaznamenaná sa u neho priemerná výška výskoku na Zemi.

Tabuľka 1: Výpočet priemernej výšky výskoku na Zemi

Výšok	Pokus #1	Pokus #2	Pokus #3	Priemerný výšok
Výška (cm)	53	50	47	50

- Pomocou Tabuľky 2 vypočítaj priemernú výšku výskoku na iných miestach v slnečnej sústave.
- Doplň Tabuľku 3 tým, že vypíšeš planéty, Slnko a trpasličiu planétu Pluto a výšku tvojho výskoku podľa hmotnosti objektu od najmenej hmotného objektu až po najhmotnejší objekt.
- Vytvor stĺpcový graf výšky výskoku, pričom poradie objektov je vzostupne podľa hmotnosti objektu.

Tabuľka 2: Ako výšku výskoku ovplyvňuje hmotnosť objektu slnečnej sústavy

Objekt	Hmotnosť objektu slnečnej sústavy ($\times 10^{23}$ kg)	Priemerná výška výskoku na Zemi (cm)	Prepočítavací koeficient pre výšku výskoku	Výška výskoku na objekte (cm)
Slnko	19 900 000	50	$\times 0,036$	1,8
Merkúr	3,3	50	$\times 2,63$	132
Venuša	48,7	50	$\times 1,11$	55,5
Zem	59,7	50	$\times 1$	50
Mesiac	0,73	50	$\times 5,88$	294
Mars	6,42	50	$\times 2,63$	132
Ceres	0,0094	50	$\times 34,5$	1 730
Jupiter	19 000	50	$\times 0,40$	20
Saturn	5 680	50	$\times 0,91$	46
Urán	868	50	$\times 1,11$	55,5
Neptún	1 020	50	$\times 0,88$	44
Pluto	0,13	50	$\times 16,7$	835

Použi vyššie uvedené hmotnosti na zoradenie objektov slnečnej sústavy od najmenej hmotného po najhmotnejší a zapíš do nižšie uvedenej tabuľky. Zapíš do tabuľky aj výšku výskoku u každého vypísaného objektu slnečnej sústavy.

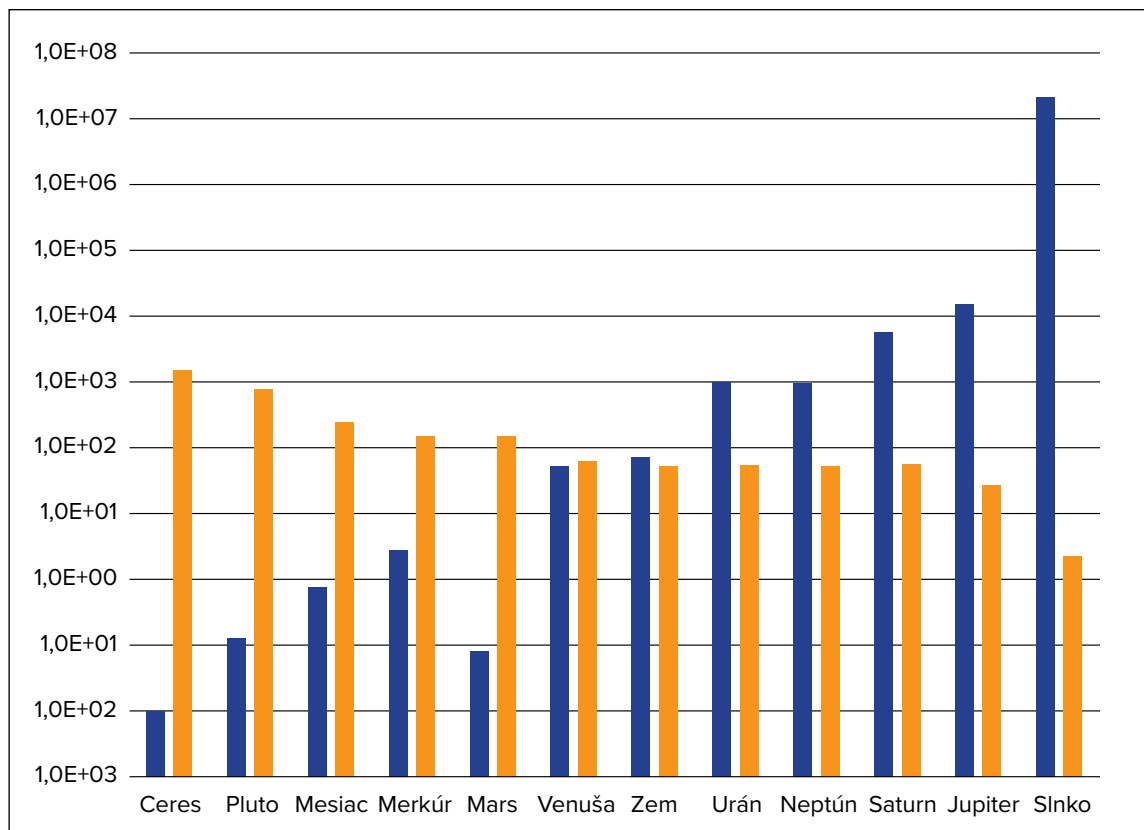
5. Slnčná sústava

Tabuľka 3: Poradie objektov slnečnej sústavy podľa hmotnosti

Objekt slnečnej sústavy	Výška výskoku na danom objekte
Ceres	1 730
Pluto	835
Mesiac	294
Merkúr	132
Mars	132
Venuša	55,5
Zem	50
Urán	55,5
Neptún	44
Saturn	46
Jupiter	20
Slnko	1,8

Použi dáta z tabuliek vyššie a vytvor stĺpcový alebo čiarový graf, ktorý porovná hmotnosti objektov slnečnej sústavy a výšku tvojho výskoku. Na vodorovnej osi zorad' objekty od najmenej hmotného po najhmotnejší.

Riešenie:



Hodnoty v astronómii, v tomto prípade hmotnosti objektov, sa pohybujú napr. od $9,4 \cdot 10^{20}$ kg až po $2,0 \cdot 10^{30}$ kg. Zobraziť tieto hodnoty v lineárnom grafe by nebolo príliš vhodné, preto sa používa **tzv. logaritmické zobrazenie**, kedy sú vzdialenosti medzi desiatkami rovnaké, pozri zvislú os grafu.

Úloha: Na ktorom objekte slnečnej sústavy možno vyskočiť najviac, na ktorom je možné vyskočiť najmenej?

Riešenie: Najvyššie je možné vyskočiť na trpasličej planéte Ceres, najmenej na Slnku, avšak tento objekt nemá pevný povrch, ako v poradí ďalšie plynné planéty. Takže by za správnu odpoveď mohla byť považovaná Zem.

Úloha: Prečo je možné vyskočiť vyššie na Merkúre než na Neptúne?

Riešenie: Na Merkúre na nás pôsobí menšia gravitačná (resp. tiažová) sila, preto tu môžeme vyskočiť vyššie. Je vhodné upozorniť, že Neptún je plynná planéta a nemá pevný povrch.

Úloha: Ak by si chcel/a prekonať svetový rekord v skoku do výšky, aký objekt slnečnej sústavy by si vybral/a? Prečo? Na akých objektoch slnečnej sústavy by si už prekonal/a existujúci svetový rekord v skoku do výšky?

Riešenie: Vybral/a by som trpasličiu planétu Ceres alebo Pluto, vzhľadom na ich vzdialenosti od Zeme by som radšej preferoval Mesiac, ktorý je od Zeme približne 384 tisíc km. Rekord by sa dal prekonať na ostatných kamenných planétach, tzn. na Merkúre, na Venuši aj na Marse.

4. PRACOVNÉ LISTY PRE ŽIAKOV

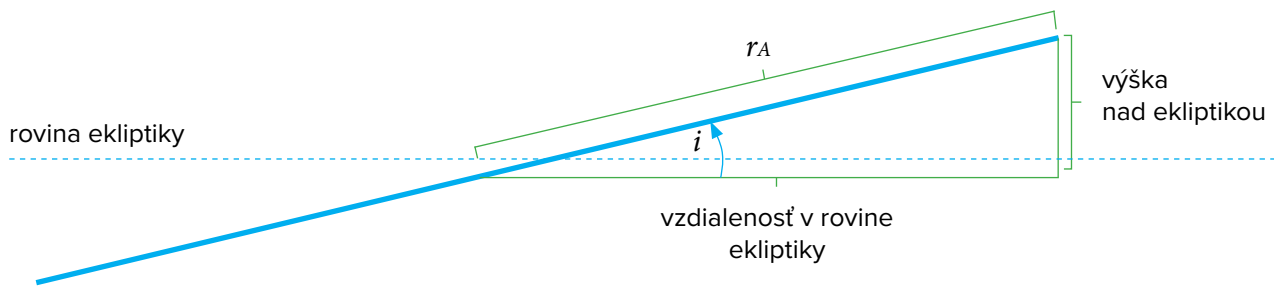
Názov úlohy	Predpokladaná časová náročnosť	Náročnosť úlohy	Vek detí, pre ktorý je úloha vhodná	Pomôcky a použitý materiál	Cieľ úlohy
1. Trajektória trpasličích planét	20 – 30 minút	stredne náročná	14 – 15	encyklopédia, atlas alebo internet, kalkulačka, tabuľkový procesor	pripomenutie vzdialeností a rozmerov trpasličích planét, výpočty rôznych vzdialeností
2. Západ trpasličej planéty	20 – 30 minút	stredne náročná	14 – 15	encyklopédia, atlas alebo internet, kalkulačka, tabuľkový procesor	práca s grafom, výpočet rovnice
3. Model trajektórie	20 – 30 minút	stredne náročná	14 – 15	papier, počítač, kalkulačka	vytvorenie modelu trajektórií, práca s modelom
4. Koľko vážiš	20 – 30 minút	stredne náročná	14 – 15	metrové pravítko, kalkulačka, tabuľkový procesor, milimetrový papier	priemerná hodnota, koeficient, výška výskoku, radenie objektov

Úloha 1: Trajektória trpasličích planét

Trpasličie planéty a ich trajektórie

Úloha: Urči vzdialenosti trpasličích planét v príslní a odslní. Usporiadaj trpasličie planéty vzostupne podľa vzdialenosti od Slnka v príslní a odslní. Spočítaj pre každý objekt súčet vzdialeností v príslní a odslní. Porovnaj výslednú hodnotu s dvojnásobkom hlavnej polosi. (Pomôcka: Vzdialenosť v príslní je $a(1 - e)$, v odslní $a(1 - e)$, v odslní $a(1 + e)$.)

Úloha: Väčšina objektov slnečnej sústavy sa pohybuje mimo rovinu ekliptiky, v ktorej obieha Zem okolo Slnka. Obežná rovina objektu zvierá so základnou rovinou ekliptiky uhol, ktorý označujeme i , od slova inklinácia (sklon trajektórie). Skúsime započítať vplyv sklonu obežnej roviny objektu. Pre tento prípad budeme potrebovať goniometrické funkcie sínus a kosínus.



Úloha: Urči vzdialenosti trpasličích planét v príslní a odslní, ak ich premietneme do roviny ekliptiky a zahrnieme sklon ich obežných trajektórií. Ako ďaleko od roviny ekliptiky sa trpasličie planéty dostanú, ak sa nachádzajú v príslní alebo odslní?

Úloha: Trpasličia planéta Ceres má polomer 457 km. V Bratislave jazdí autobus s dĺžkou 25 metrov. Koľko autobusov sa vojde do priemeru trpasličej planéty Ceres?

Úloha: V tejto časti sa pokúsime odhadnúť obežnú rýchlosť trpasličej planéty, ktorá sa nachádza v hlavnom páse planétok. Pre jednoduchosť budeme uvažovať, že sa objekt pohybuje po kruhovej obežnej trajektórii.

- a) Ceres, skôr išlo o najväčšiu planétku v hlavnom páse planétok, teraz ide o trpasličiu planétu, obehne okolo Slnka raz za 4,6 roka. Vypočítaj, koľko sekúnd trvá trpasličej planéte Ceres, kým dokončí jeden obch.

- b) Ceres sa nachádza vo vzdialenosti 2,77 au od Slnka. 1 au je 150 miliónov km. Vypočítaj vzdialenosť trpasličej planéty Ceres od Slnka v km.

5. Slnčná sústava

- c) Predpokladajme, že Ceres obieha okolo Slnka po kruhovej dráhe. Nakresli schematický obrázok, ktorý bude znázorňovať obežnú trajektóriu trpasličej planéty. Na obrázku znázorni a označ Slnko, Ceres a polomer kružnice (obežnej trajektórie).
- d) Použi vzdialenosť z časti b) a vypočítaj, koľko km prejde Ceres pri jednom obehu. (Pomôcka: obvod kruhu sa vypočíta pomocou vzťahu $o = 2\pi r$, kde $\pi \doteq 3,14$)
- e) Použi vzťah na výpočet priemernej rýchlosti $v = s / t$ a použitím odpovedí v častiach a) a b), vypočítaj, akou rýchlosťou sa Ceres pohybuje okolo Slnka.

Úloha: Obežná rýchlosť trpasličej planéty Pluto

- a) Pluto, skôr išlo o planétu, teraz ide o trpasličiu planétu, obehne okolo Slnka raz za 248 rokov. Vypočítaj, koľko sekúnd trvá trpasličej planéte Pluto, kým dokončí jeden obeh.
- b) Vypočítaj, koľkokrát Pluto obehlo okolo Slnka od svojho objavu v roku 1930.
- c) Pluto sa nachádza v priemernej vzdialenosti 39,5 au od Slnka. 1 au je 150 miliónov km. Vypočítaj vzdialenosť trpasličej planéty Pluto od Slnka v km.

- d) Predpokladaj, že Pluto obieha okolo Slnka po kruhovej dráhe. Nakresli schematický obrázok, ktorý bude znázorňovať obežnú trajektóriu trpasličej planéty. Na obrázku znázorni a označ Slnko, Pluto a polomer kružnice (obežnej trajektórie).
- e) Použi vzdialenosť z časti c) a vypočítaj, koľko km prejde Pluto pri jednom obehu. (Pomôcka: obvod kruhu sa vypočíta pomocou vzťahu $o = 2\pi r$, kde $\pi \doteq 3,14$)
- f) Použi vzťah na výpočet priemernej rýchlosti $v = s / t$ a použitím odpovedí v častiach a) a e), vypočítaj, akou rýchlosťou sa Pluto pohybuje okolo Slnka.

Úloha 2: Západ trpasličej planéty

Kedy bude Ceres zapadať?

Úloha: V tejto úlohe budeme predpovedať, kedy zapadne trpasličia planéta Ceres, pokiaľ ju budeme pozorovať pomocou ďalekohľadu Faulkes Telescope North (FTN) na Havaji. Predpokladajme, že západ objektu je okamih, kedy bude vo výške 0° nad obzorom.

Nižšie uvedená tabuľka obsahuje výšku Ceres nad obzorom, ako bola vidieť z FTN, pre každý deň po dobu 21 dní od 27. 2. 2006. Na prvý pohľad je z dát zrejmé, že sa výška Ceres nad obzorom každým dňom postupne znižuje. Kedy dosiahne horizont?

Deň	Výška nad obzorom ($^\circ$)	Deň	Výška nad obzorom ($^\circ$)
1	19	12	14
2	19	13	14
3	18	14	13
4	18	15	13
5	17	16	12
6	17	17	12
7	16	18	11
8	16	19	11
9	16	20	10
10	15	21	10
11	15		

5. Slnčná sústava

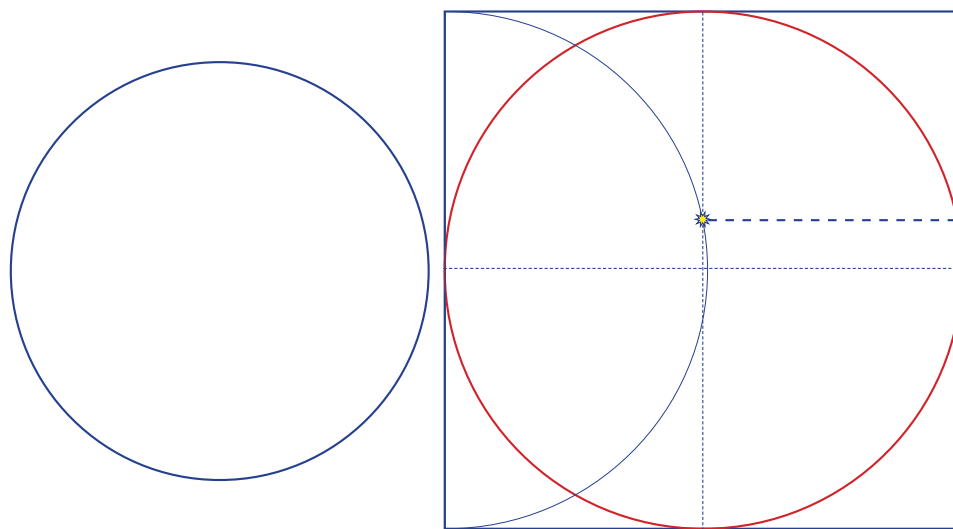
- a) Nakresli graf závislosti výšky Ceres nad obzorom od dní, pričom použi dáta z vyššie uvedenej tabuľky. Nakreslenými bodmi prelož priamku.
- b) Vypočítaj sklon priamky a jej priesečník s osou y . Za predpokladu, že najlepšie možno body preložiť priamkou, aká je rovnica pre tieto dáta?
- c) Urči, za koľko dní bude Ceres pod obzorom. (Pomôcka: Objekt zapadne, ak je jeho výška nad obzorom 0° .)

Úloha 3: Model trajektórie

Úloha: Obežná trajektória trpasličej planéty Pluto je odlišná od obehových trajektórií planét – výstrednosť 0,25, sklon 17° . Výstrednosť trajektórií planét sa pohybuje od 0,007 (Venuša) až 0,206 (Merkúr), pričom väčšina planét má výstrednosť menšiu ako 0,1. Sklon obežnej trajektórie voči rovine ekliptiky je u planét v rozsahu 0° (Zem, z definície ekliptiky) až po 7° (Merkúr). Vďaka tomu sa Pluto dostáva v malom úseku (od 7. 2. 1979 až po 11. 2. 1999) svojej trajektórie k Slnku bližšie ako Neptún, keď si jeho obežnú trajektóriu premietneme do roviny ekliptiky.

- a) Predpokladaj, že sa Pluto pohybuje po kruhovej obežnej trajektórii. Vypočítaj, koľko percent času sa Pluto nachádza k Slnku bližšie ako planéta Neptún. Koľko je to dní?
- b) Na modeli trajektórií Neptúna a Pluta sa presvedč, že sa Neptún s Plutom nemôžu zraziť. Vyrobní si jednoduchý model trajektórií planéty Neptún a trpasličej planéty Pluto. Na list papiera formátu A4 narýsuj kružnicu s polomerom 7,5 cm, ktorá bude predstavovať obežnú trajektóriu Neptúna. Vytvorený kruh vystrihni a na jednom mieste prestrihni až do stredu kružnice. Na ďalší list papiera si vytvoríš trajektóriu Pluta, bude lepšie, ak si na počítači v nejakom programe (napr. možné aj v textovom editore) nakreslíš obdĺž-

nik so stranami 19,8 cm a 19,2 cm. Do neho nakreslíš elipsu, aby sa dotýkala všetkých strán obdĺžnika. Vyznač bodkočiarkovane obe osi elipsy. Polohu Slnka získaš tak, že nakreslíš polkružnicu okolo stredu dlhšej strany obdĺžnika s priemerom 19,8 cm a nájdeš priesečník s dlhšou osou elipsy. Nakoniec zostroj kolmicu k dlhšej osi elipsy tak, aby prechádzala Slnkom. Obrázok vytlač v správnej mierke na formát A4, trajektóriu vystrihni vrátane vyznačenej kolmice. Obidva modely trajektórií do seba zasun tak, aby zvierali uhol 17° .



Úloha 4: Koľko vážiš

Úloha: V tejto úlohe si vyskúšame, ako hmotnosť planéty ovplyvňuje skok do výšky.

Postup:

1. Žiaci vytvoria skupiny po troch.
2. Jeden žiak zo skupiny drží metrové pravítko zvislo k podlahe, pričom začiatok stupnice pravítka sa dotýka podlahy.
3. Druhý žiak zo skupiny pozoruje stupnicu pravítka a zaznamená výšku výskoku tretieho žiaka zo skupiny.
4. Tretí žiak zo skupiny vyskočí do výšky vedľa pravítka. Výška výskoku je zaznamenaná a opakovaná celkom trikrát. Z troch výšok sa vypočíta priemerná výška výskoku, ktorá sa zaznamená do formulára a bude považovaná za výšku výskoku na Zemi.
5. Žiaci si medzi sebou vymenia roly, to znamená, že každý bude skokanom a zaznamená sa u neho priemerná výška výskoku na Zemi.

5. Slnčná sústava
Tabuľka 1: Výpočet priemernej výšky výskoku na Zemi

Výškok	Pokus #1	Pokus #2	Pokus #3	Priemerný výškok
Výška (cm)				

- Pomocou Tabuľky 2 vypočítaj priemernú výšku výskoku na iných miestach v slnečnej sústave.
- Doplň Tabuľku 3 tým, že vypíšeš planéty, Slnko a trpasličiu planétu Pluto a výšku tvojho výskoku podľa hmotnosti objektu od najmenej hmotného objektu až po najhmotnejší objekt.
- Vytvor stĺpcový graf výšky výskoku, pričom poradie objektov je vzostupne podľa hmotnosti objektu.

Tabuľka 2: Ako výška výskoku ovplyvňuje hmotnosť objektu slnečnej sústavy

Objekt	Hmotnosť objektu slnečnej sústavy ($\times 10^{23}$ kg)	Priemerná výška výskoku na Zemi (cm)	Prevodný koeficient pre výšku výskoku	Výška výskoku na objekte (cm)
Slnko	19 900 000		$\times 0,036$	
Merkúr	3,3		$\times 2,63$	
Venuša	48,7		$\times 1,11$	
Zem	59,7		$\times 1$	
Mesiac	0,73		$\times 5,88$	
Mars	6,42		$\times 2,63$	
Ceres	0,0094		$\times 34,5$	
Jupiter	19 000		$\times 0,40$	
Saturn	5 680		$\times 0,91$	
Urán	868		$\times 1,11$	
Neptún	1 020		$\times 0,88$	
Pluto	0,13		$\times 16,7$	

Použi vyššie uvedené hmotnosti na zoradenie objektov slnečnej sústavy od najmenej hmotného po najhmotnejší a zapíš do nižšie uvedenej tabuľky. Zapíš do tabuľky aj výšku výskoku u každého vypísaného objektu slnečnej sústavy.

Tabuľka 3: Poradie objektov slnečnej sústavy podľa hmotnosti

Objekt slnečnej sústavy	Výška výskoku na danom objekte

Použi dáta z tabuliek vyššie a vytvor stĺpcový alebo čiarový graf, ktorý porovná hmotnosti objektov slnečnej sústavy a výšku tvojho výskoku. Na vodorovnej osi zorad' objekty od najmenej hmotného po najhmotnejší.

Na ktorom objekte slnečnej sústavy možno vyskočiť najviac, na ktorom je možné vyskočiť najmenej?

Prečo je možné vyskočiť vyššie na Merkúre než na Neptúne?

Ak by si chcel/a prekonať svetový rekord v skoku do výšky, aký objekt slnečnej sústavy by si vybral/a? Prečo? Na akých objektoch slnečnej sústavy by si už prekonal/a existujúci svetový rekord v skoku do výšky?

MALÉ TELESÁ SLNEČNEJ SÚSTAVY

1. ÚVOD

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

kométa

planétka

meteorit

meteoroid

meteor

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

Malé teleso slnečnej sústavy je malý objekt na obežnej trajektórii okolo Slnka, ktorý nespĺňa kritériá na zaradenie medzi planéty, trpasličie planéty alebo mesiace (prirodzené satelity). Tento termín bol prvýkrát definovaný v Prahe 24. augusta 2006 na XXVI. valnom zhromaždení Medzinárodnej astronomickej únie, kde sa riešila otázka zaradenia trpasličej planéty Pluto a definícia pojmu planéta. Medzi malé telesá slnečnej sústavy preto zaraďujeme: **všetky kométy a planétky, ktoré zároveň nie sú trpasličími planétami**. Tento údaj sa môže v čase meniť, záleží, ako bude Medzinárodná astronomická únia pridávať nové objekty do kategórie trpasličích planét z radov planétok, preto je vždy nutné si zistiť aktuálne informácie, napr. na webe Astronómia – astronomia.zcu.cz – Planéty – Malé telesá.

Definícia

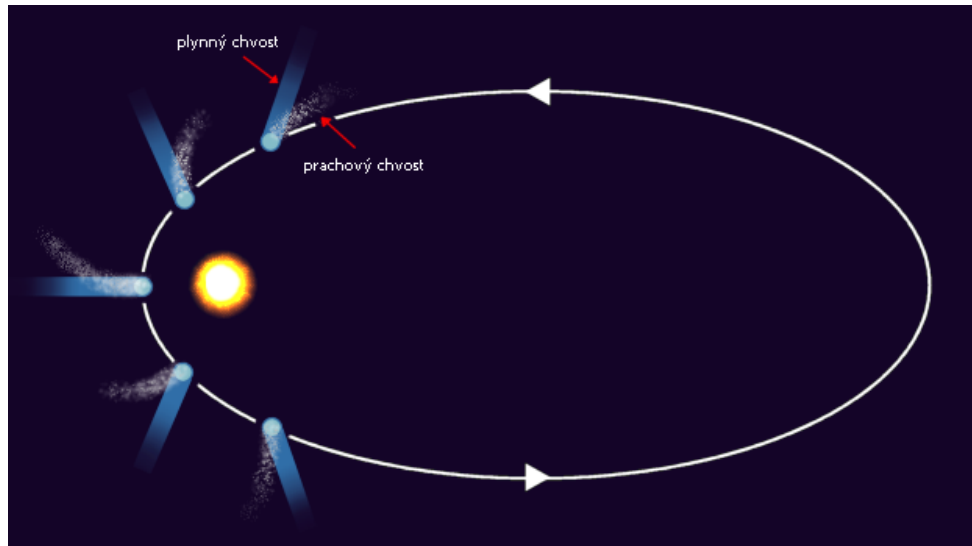
Kométa je malé teleso slnečnej sústavy zložené predovšetkým z ľadu a prachu. Okolo Slnka obieha väčšinou po veľmi pretiahnutej trajektórii. Kométy majú pri svojom priblížení k Slnku nápadný chvost. Látky, ktoré sublimáciou vytvárajú komu a chvost kométy, sú suchý ľad (CO_2) a ľad (H_2O). Aby k sublimácii došlo, musí sa kométa dostať bližšie k Slnku než na vzdialenosť Jupitera. Kométy, ktoré sú v tejto oblasti trvalo, už všetok ľad a suchý ľad stratili. Chvost sa preto môže vytvoriť len u komét, ktoré sa do blízkosti Slnka dostávajú z veľkých vzdialeností. Kométa pri prelete okolo Slnka stratí veľa ton materiálu. Na jej povrchu zostane len sivý a čierny povlak prachových častíc a kúskov hornín. Sublimácia potom pri ďalšom prelete prebieha len z hlbokých prieduchov. Preto kométy astronómovia prirovnávajú k veľmi špinavým snehovým guliam. Chvost komét môže mať aj nepredstaviteľné rozmery porovnateľné so vzdialenosťou Zeme od Slnka, tzn. 1 au ~ 150 miliónov km.

Kométy



Obrázok 11: Kométa Hale-Bopp s bielym prachovým a modrým plynným chvostom
(zdroj: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Halebopp031197.jpg>)

5. Slnecná sústava



Obrázok 12: Pretiahnutá trajektória kométy s vyznačením smeru prachového a plynného chvosta, nie je v správnej mierke veľkostí a vzdialeností (zdroj: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cometorbit.sk.png>)

Kométy klasifikujeme podľa ich obežných dôb (periód) na **krátkoperiodické a dlhoperiodické kométy**. Krátkoperiodické kométy majú obežnú dobu kratšiu ako 200 rokov, zatiaľ čo dlhoperiodické kométy majú obežné doby dlhšie, ale stále zostávajú gravitačne závislé od Slnka. Za miesto vzniku krátkoperiodických komét sa všeobecne považuje Kuiperov pás. Dlhoperiodické kométy pravdepodobne vznikajú v Oortovom oblaku.



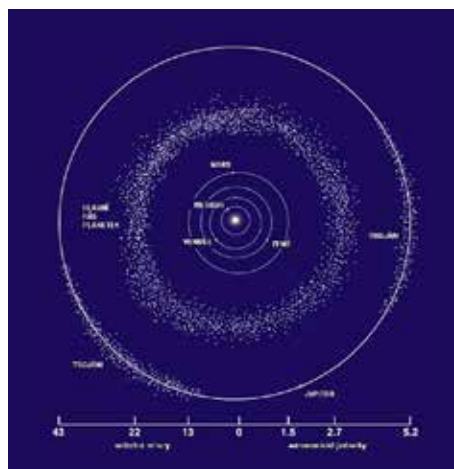
Obrázok 13: Povrch kométy 67P/Churyumov – Gerasimenko z výšky 10 km nasnímaný pristávacím modulom Philae, ktorý bol súčasťou kozmickej sondy Rosetta (zdroj: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NAVCAM_top_10_at_10_km_%E2%80%93_8_\(15765234852\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NAVCAM_top_10_at_10_km_%E2%80%93_8_(15765234852).jpg))

Planétka je malé teleso obiehajúce okolo Slnka, vzhľadom na malú hmotnosť väčšinou nepravidelného tvaru. Za planétky sa považujú obvykle telesá väčšie ako 100 m. Menšie sa nazývajú meteoroidy. Planétky sa niekedy označujú tiež slovom asteroid. Toto označenie je staršie a nie je správne, pretože vychádza z gréckeho slova aster, hviezda. Prípona *-oid* znamená podobný.



Obrázok 14: Planétka (951) Gaspra na fotografii vyhotovenej sondou Galileo v roku 1991 zo vzdialenosti 5 300 km
(zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo_Gaspra_Mosaic.jpg)

Prvá planétka bola objavená 1. januára 1801 na palermskej hviezdárni Giuseppem Piazzim a dostala meno Ceres. Teraz je tento objekt zaradený do kategórie trpasličích planét. Kedysi boli planétky považované za planéty. Časom sa však zistilo, že ide o telesá veľmi malé (v porovnaní s rozmermi známych planét), začali byť nazývané v britskej angličtine „minor planets“, slovensky „malé planéty“, z čoho vzniklo ich dnešné slovenské označenie planétky. Slovo planétka vyjadruje podstatu týchto objektov a nie to, ako sa javia pri pohľade do ďalekohľadu. Slovo asteroid sa stále používa, predovšetkým v americkej terminológii, a prostredníctvom prekladov sa udržuje aj v ďalších jazykoch.



Obrázok 15: Schematické znázornenie hlavného pásu planétok medzi obežnými trajektóriami Marsu a Jupitera. Zobrazené sú planétky skupiny Jupiterových Trójanov, ktoré predchádzajú a nasledujú Jupiter na jeho obežnej trajektórii.

(zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Asteroid_Belt-cs.jpg)

5. Slnecná sústava

Najväčšia koncentrácia (rádovo stovky tisíc) známych planétok v slnečnej sústave sa nachádza v hlavnom páse planétok medzi trajektóriami Marsu a Jupitera. Veľké množstvo planétok sa nachádza aj v Kuiperovom páse za trajektóriou Neptúna, týmto planétkam hovoríme transneptúnske objekty (TNO), katalogizovaných ich je však len niekoľko tisíc, pretože býva komplikované tieto objekty objavovať z dôvodu ich malých rozmerov a obrovskej vzdialenosti od Zeme. Existujú samozrejme aj výnimky, v okolí veľkých plynných planét (najmä Jupiter) sa nachádza nezanedbateľné (rádovo tisíce) množstvo planétok, ktorým hovoríme Trójania. Tieto planétky majú zhodnú obežnú dobu s ovplyvňujúcou planétou a sú sústredené na obežnej trajektórii planéty okolo bodov, ktoré o 60° predchádzajú alebo nasledujú danú planétu.

Jedna z najväčších planétok a zároveň najjasnejšia na oblohe sa volá (4) Vesta. Objavená bola v roku 1807 ako 4. planétka v poradí a má priemer 525 km. Najmenšie planétky majú veľkosť niekoľko metrov a išlo o objekty, ktoré sa priblížili na vzdialenosť menšiu, než je trajektória Mesiaca. Objekty vyskytujúce sa pravidelne v blízkosti Zeme sa súhrnne nazývajú blízkozemské objekty (NEO – Near Earth Object). Špecifickou záležitosťou je spôsob hľadania planétok. Je nemožné ich nájsť na jednej samostatnej snímke. Možno sa o tom presvedčiť na obrázku, je prakticky nemožné označiť na tejto snímke objekty, ktoré sú planétkami.



Obrázok 16: Snímka hviezdnej oblohy

Aby sme mohli identifikovať na snímke planétku, je potrebné zachytiť jej pohyb. Sú dve možnosti, ako to docieľiť. Buď nejakú časť oblohy exponovať dostatočne dlhú dobu (podľa vzdialenosti planétky od Zeme ide o desiatky minút až hodín), aby sa prejavil vlastný pohyb planétky oproti nemennému hviezdному pozadiu, ktorý sa na snímke prejaví ako čiara, alebo zaobstaráť aspoň dva samostatné obrázky s krátkou expozičnou dobou s dostatočným odstupom času. Druhá metóda je preferovanejšia a používanjšia, pretože umožňuje presnejšie meranie parametrov.

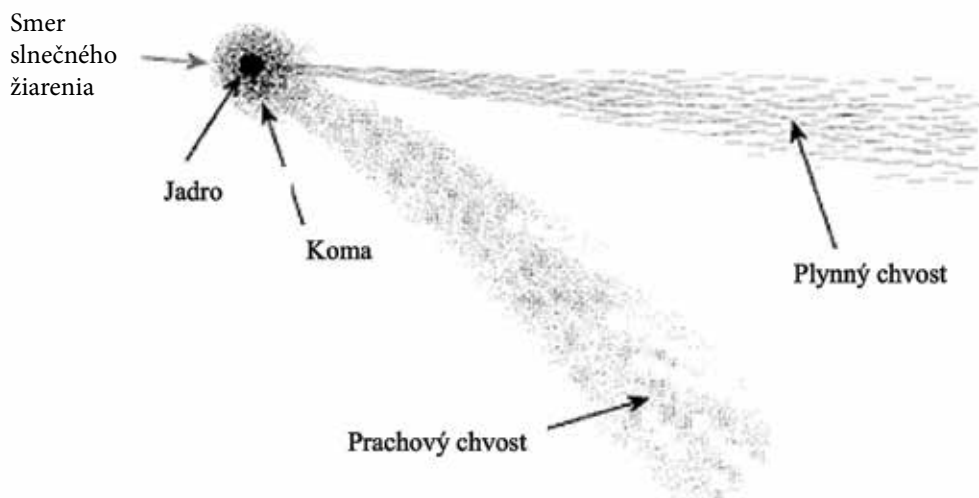
Asteroidy V poslednej dobe je veľký záujem identifikovať planétky, ktoré pretínajú obežnú trajektóriu Zeme a pri ktorých teda existuje riziko zrážky so Zemou. **Týmto objektom sa hovorí potenciálne nebezpečné planétky (PHA – Potentially Hazardous Asteroid).** Planétku zaradíme medzi potenciálne nebezpečné, ak je najkratšia vzdialenosť jej obežnej trajektó-

rie od obežnej trajektórie Zeme menšia ako 0,05 au (približne 7,5 milióna km) a jej priemer je väčší ako 150 m. Objekt tejto veľkosti už nebude zachytený zemskou atmosférou a môže spôsobiť úplné spustošenie rozsiahlych území (po dopade na súš), prípadne ničivé tsunami (po dopade do oceánu). Planétka tejto veľkosti sa so Zemou zrazí v priemere raz za 10 000 rokov. Na kategorizáciu nebezpečnosti potenciálne nebezpečných planétok sa používa Turínska či Palermská stupnica. Ukazuje sa, že vymieranie na konci kriedy pred 66 miliónmi rokov pravdepodobne zapríčinil dopad planétky Chicxulub do oblasti súčasného Mexického zálivu. Zrazila sa so Zemou pri rýchlosti okolo 20 km/s.

3. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽA

Úloha 1: Kométa

Úloha: Nakresli kométu a popíš jej hlavné časti.



Úloha: Má kométa vždy chvost? Svoju odpoveď zdôvodni.

Riešenie: Kométa nemusí mať vždy chvost – ten sa vytvorí v okamihu, keď sa kométa priblíži k Slnku a z jeho povrchu sa vyparujú plyny a prach.

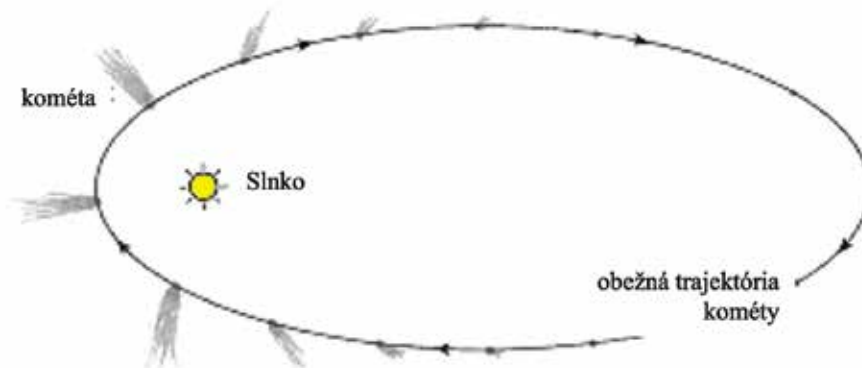
Úloha: Smeruje chvost kométy k Slnku? Svoju odpoveď zdôvodni.

Riešenie: Nie. Chvost kométy nemôže nikdy smerovať k Slnku, pretože je spôsobený slnečným vetrom a tlakom slnečného žiarenia. To znamená, že ak sa kométa pohybuje od Slnka, chvost bude smerovať pred kométu, nie viať za kométou.

5. Slnčná sústava

Úloha: Načrtni obežnú dráhu kométy okolo Slnka a zakresli smer jej chvosta.

Riešenie:



Úloha: Aké sú hlavné rozdiely medzi kométami a planétkami?

Riešenie:

Kométy	Planétky
Nájdené za obežnou dráhou Pluta	Nájdené medzi Marsom a Jupiterom
Tvorené z ľadu a prachu – „špinavé“ snehové gule	Tvorené horninami
Majú chvost	Nemajú chvost
Majú spravidla eliptickú obežnú dráhu (dlhoperiodické – perióda obehu nad 200 rokov – majú výstrednosť dráhy vyššiu ako 0,85; krátkoperiodické majú priemernú výstrednosť dráhy 0,5)	Majú menej výstrednú obežnú dráhu (98 % očíslovaných planétok má výstrednosť dráhy menšiu ako 0,3; 80 % menšiu ako 0,2 a 30 % menej ako 0,1)

Úloha 2: Rýchlosti planétok

Úloha: Planétka s označením (5000) IAU sa nachádza vo vzdialenosti 2,54 au od Slnka. Predpokladaj kruhovú obežnú trajektóriu. Aká je jej obežná doba v sekundách?

Riešenie: Za predpokladu kruhovej obežnej trajektórie platí, že hlavná polos sa rovná $a = 2,54$ au. Vyjdeme z tretieho Keplerovho zákona (zákona dôb), kde pre objekty obiehajúce okolo Slnka platí:

$$a_{au}^3 = T_{rok}^2$$

Dosadením zistíme $T = 4,05$ roka $= 1,28 \cdot 10^8$ s.

Výslednú dobu obehu získame tak, že hodnotu hlavnej polosi v astronomických jednotkách umocníme na tretiu ($a^3 = a \cdot a \cdot a$) a nájdeme druhú odmocninu výsledku ($\sqrt{\quad}$).

Úloha: Odhadni rýchlosť planétky na obežnej trajektórii okolo Slnka za predpokladu, že trajektória planétky okolo Slnka je kruhová.

Riešenie: Priemerná rýchlosť planétky sa vypočíta $v = s / T$. Predpokladaj, že $1 \text{ au} = 150\,000\,000 \text{ km}$. Potrebujeme vypočítať dráhu obežnej trajektórie pomocou vzorca $o = 2\pi r = 2\pi a = 2\pi \cdot 2,54 \cdot 150\,000\,000 \text{ km} = 2,39$ miliardy km.

$$v = s / T = 2,39 \cdot 10^9 : 1,28 \cdot 10^8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 18,7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

Úloha: Ako by sa zmenila obežná rýchlosť planétky, ak by sa nachádzala vo vzdialenosti planéty Jupiter?

Riešenie: Stredná vzdialenosť Jupitera je $5,20 \text{ au}$. Doba obehu podľa tretieho Keplerovho zákona je $11,9$ rokov $= 3,75 \cdot 10^8$ s. Priemerná rýchlosť planétky sa vypočíta $v = s / T$. Predpokladajme, že $1 \text{ au} = 150\,000\,000 \text{ km}$. Potrebujeme vypočítať dráhu obežnej trajektórie pomocou vzorca $o = 2\pi r = 2\pi a = 2\pi \cdot 5,20 \cdot 150\,000\,000 \text{ km} = 4,90$ miliardy km.

$$v = s / T = 4,90 \cdot 10^9 : 3,75 \cdot 10^8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 13,1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

Úloha 3: Energia (polohová a pohybová)

Úloha: Desiatkilogramové závažie sa nachádza v klude vo výške 10 km nad povrchom Zeme. Spočítaj polohovú energiu podľa vzťahu $E_p = mhg$, kde $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$, $h = 5 \text{ km}$. Ako veľká energia sa premení z polohovej energie na pohybovú energiu, ak sa teleso premiestni z 10 km do 5 km ? Odhadni, akú maximálnu rýchlosť môže závažie dosiahnuť, ak nebudeme brať do úvahy odpor vzduchu?

Riešenie: Polohová energia $E_p = mhg = 10 \cdot 5\,000 \cdot 10 \text{ J} = 500\,000 \text{ J}$. Na pohybovú energiu sa premení všetka (platí zákon zachovania mechanickej energie) skôr vypočítaná polohová energia. Pre pohybovú energiu platí vzťah $E_k = \frac{1}{2} mv^2$. Z tohto vzorca si vyjadríme rýchlosť

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 500\,000}{10}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 316 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 1140 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

5. Slnčná sústava

Dopad na Zem

Úloha: Pozrime sa na energiu, ktorá sa uvoľní, ak sa pohybujúci objekt zrazu zastaví – napr. kométa či planétka narazí do Zeme. Obvyklé rýchlosti planétok dopadajúcich na Zem sa pohybujú v intervale od $20 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ do $70 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

Predstavme si kilogramový objekt, ktorý narazí do Zeme rýchlosťou $20 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Spočítaj, koľko energie sa pri tejto zrážke uvoľní.

Riešenie: Pre pohybovú energiu platí vzťah $E_k = \frac{1}{2} mv^2$. Dosádzame v základných jednotkách, takže rýchlosť je nutné previesť na $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Výpočtom zistíme, že $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (20\,000)^2 \text{ J} = 2 \cdot 10^8 \text{ J}$. Pre predstavu, táto energia by stačila na ohriatie 500 litrov vody z $0 \text{ }^\circ\text{C}$ na $95 \text{ }^\circ\text{C}$.

Úloha: Teraz si predstavme rovnaký objekt, iba narazí do Zeme rýchlosťou $70 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Vypočítaj, koľko energie sa uvoľní pri tejto zrážke. Porovnaj s predchádzajúcou hodnotou.

Riešenie: Výpočtom zistíme, že $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (70\,000)^2 \text{ J} = 2,5 \cdot 10^9 \text{ J}$. Aj keď sa rýchlosť zvýšila 3,5-krát, energia vzrástla $2,5 \cdot 10^9 : 2 \cdot 10^8 = 12,5$ -krát.

Úloha: Pozrieme sa, aký vplyv má na uvoľnenú energiu veľkosť dopadajúceho objektu. Spočítaj uvoľnenú energiu dvojkilogramového objektu, ktorý sa zrazí so Zemou rýchlosťou $20 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Porovnaj s odpoveďou v prvom prípade.

Riešenie: Výpočtom zistíme, že $E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (20\,000)^2 \text{ J} = 4 \cdot 10^8 \text{ J}$. Keď sa hmotnosť objektu zdvojnásobí, uvoľnená energia sa tiež zdvojnásobí.

Úloha 4: Gravitačná sila

Úloha: Vypočítaj veľkosť gravitačnej sily medzi dvoma zrnkami, ktoré sú dokonalé gule s polomerom $0,1 \text{ m}$ a hustotou $1\,300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, nachádzajúce sa vo vzdialenosti 1 m od seba.

Riešenie: Gravitačná sila sa vypočíta pomocou vzťahu $F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$,

kde $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$. Najskôr musíme vypočítať hmotnosť zrníek. Ide o guľu, ktorej objem sa vypočíta podľa vzťahu $F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$.

Po dosadení vyjde $V = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Hmotnosť sa vypočíta $m = \rho V$. Hmotnosť zrnka je $5,5 \text{ kg}$.

Gravitačná sila potom vyjde $F_g = 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ N}$.

Úloha: Teraz si predstavme, že jedno zrnko má veľkosť 10 metrov a zrnká sú od seba $1\,000 \text{ metrov}$. Vypočítaj veľkosť gravitačnej sily medzi zrnkami.

Riešenie: $V = 4,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$, $m = 5,5 \cdot 10^6 \text{ kg}$, $F_g = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.

Úloha: Aká by bola veľkosť gravitačnej sily, ak by jedno zrnko malo priemer 10 km, druhé 0,1 metra a boli by od seba 15 km?

Riešenie: $V_1 = 4,2 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$, $m^1 = 5,5 \cdot 10^{15} \text{ kg}$, $V_2 = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, $m_2 = 5,5 \text{ kg}$,

$F_g = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.

Úloha 5: Veľkosť impaktných kráterov na Zemi

Táto aktivita je zameraná na meranie rozmerov skutočných impaktných kráterov na povrchu Zeme pomocou Mapy.cz alebo Google Maps. Krátery majú rôznu veľkosť, od malých (stovky metrov) až po veľmi rozľahlé (vyše 100 km). Zrážky, ktoré vytvorili tieto krátery, spôsobili rôzne klimatické zmeny; malé zrážky ovplyvnili iba miestnu oblasť, zatiaľ čo tie väčšie zrážky mohli mať zmeny globálneho charakteru.

Úloha: Pri každom kráteri nájdí jeho miesto na mape, zmeraj rozmery a plochu impaktného krátera a určí štát, na území ktorého sa impaktný kráter nachádza. Poloha krátera je zadaná zemepisnou šírkou (S = severná, J = južná) a zemepisnou dĺžkou (Z = západ, V = východ).

Názov impaktného krátera	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka	Veľkosť (km)	Plocha (km ²)	Štát
Barringerov kráter Tento kráter vznikol pred 50 tisícmi rokmi dopadom železného meteoritu.	35° 02' S	111° 01' Z	1,2	1	Arizona, USA
Manicouagan Jeden z najväčších zachovaných impaktných kráterov, vznikol pred viac ako 200 miliónmi rokov.	51° 23' S	68° 42' Z	69,3	3 200	Kanada
Clearwater Lakes Tieto dva impaktné krátery boli vytvorené dopadom dvojice planétok na povrch Zeme.	56° 13' S	74° 30' Z	32,4 a 22,1	730 a 360	Kanada
Chicxulubský kráter Tento impaktný kráter je zložitý nájst. Vznikol pred 66 miliónmi rokov dopadom meteoritu veľkosti 10 km. Dopadom sa uvoľnilo veľké množstvo energie, došlo ku klimatickým zmenám a vyhynutiu mnohých živočíšnych druhov.	21° 24' S	89° 31' Z	viac ako 100 km	–	Mexiko
Upheaval Dome Tento kráter má všetky rysy typického impaktného krátera – centrálny vrcholok, vnútorný kráter a vonkajšie sústredné rázové krúžky.	38° 26' S	109° 54' Z	3,5	8	Utah, USA
Gosses Bluff Tento impaktný kráter vznikol pred viac ako 140 miliónmi rokov dopadom planétky s veľkosťou 1 km. Centrálny kruh nie je okraj krátera, ten leží oveľa ďalej.	23° 50' J	132° 19' V	5,4	20	Austrália

5. Slnecná sústava

Názov impaktného krátera	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka	Veľkosť (km)	Plocha (km ²)	Štát
Tenoumer V okolí krátera sa nachádzajú ďalšie dva, ktoré je ľahké nájsť, prvý je 166 km v azimute 27°, druhý 376 km v azimute 219°. Kráter vznikol pred 20 tisíckami rokov.	22° 55' S	10° 24' Z	1,9	3	Mauretánia
Vredefort Kráter zložený z niekoľkých prstencov. Vek 2 mld rokov. Meteorit s veľkosťou 10 km.	27° 00' J	27° 30' V	60 (vnútorný prstenec)	2 000	Juhoafrická republika

Úloha: Výpočet pohybovej energie dopadu

Chicxulubský kráter [čítaj: čikšulubský] bol vytvorený dopadom skalnatého telesa (hustota = 2 700 kg · m⁻³) s priemerom 17,5 km. Vypočítaj objem telesa. Predpokladaj, že je teleso guľaté.

Riešenie:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(8750)^3 \text{ m}^3 = 2,8 \cdot 10^{12} \text{ m}^3, \text{ kde } V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(8750)^3 \text{ m}^3 = 2,8 \cdot 10^{12} \text{ m}^3, \text{ kde } r = \frac{d}{2} = \frac{17\,500}{2} \text{ m} = 8750 \text{ m}$$

Úloha: Vypočítaj hmotnosť telesa, ktoré vytvorilo Chicxulubský kráter.

Riešenie:

$$m = \rho V = 2700 \cdot 2,8 \cdot 10^{12} \text{ kg} = 7,6 \cdot 10^{15} \text{ kg}$$

Úloha: Vypočítaj, koľko pohybovej energie sa uvoľnilo pri dopade, ak sa teleso pohybovalo rýchlosťou 20 km · s⁻¹.

Riešenie:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 7,6 \cdot 10^{15} \cdot (20000)^2 \text{ J} = 1,5 \cdot 10^{24} \text{ J}.$$

Pre predstavu, ide o energiu, ktorú Slnko vyžiari celým svojím povrchom za 4 tisíciný sekundy. Dva bloky jadrovej elektrárne Temelín môžu pri nepretržitej ročnej prevádzke vyprodukovať len $2 \cdot 10^{17}$ J tepelnej energie.

Úloha: Aký je význam pojmov: kométa, planétka, meteorit, meteoroid, meteor?

Riešenie: **Kométa** – malé teleso slnečnej sústavy zložené predovšetkým z ľadu a prachu a obiehajúce väčšinou po veľmi výstrednej eliptickej trajektórii okolo Slnka; **planétka** – malé teleso (väčšie ako 100 m), ktoré obieha okolo Slnka, väčšinou nepravidelného tvaru a malej hmotnosti, nachádzajú sa hlavne medzi Marsom a Jupiterom (hlavný pás) a za trajektóriou Neptúna; **meteorit** – menšie kozmické teleso (pôvodne meteoroid), ktoré dopadlo na povrch Zeme; **meteoroid** – teleso slnečnej sústavy veľkosti milimetrov až niekoľko desiatok metrov; **meteor** – svetelný jav pri prelete drobného telesa (meteoroidu) zemskou atmosférou. Ľudovo sa nazýva padajúca hviezda. Veľmi jasný meteor sa nazýva bolid.

4. PRACOVNÉ LISTY PRE ŽIAKOV

Názov úlohy	Predpokladaná časová náročnosť	Náročnosť úlohy	Vek detí, pre ktorý je úloha vhodná	Pomôcky a použitý materiál	Cieľ úlohy
1. Kométa	20 – 30 minút	stredne náročná	14 – 15	encyklopédia, atlas alebo internet, kalkulačka, tabuľkový procesor	pojem kométa, chvost, pohyb okolo Slnka
2. Rýchlosti planétok	30 – 40 minút	veľmi náročná	14 – 15	encyklopédia, atlas alebo internet, kalkulačka, tabuľkový procesor	3. Keplerov zákon, prevody jednotiek
3. Energia	20 – 30 minút	stredne náročná	14 – 15	papier, počítač, kalkulačka	zákon zachovania mechanickej energie, pohybová a polohová energia
4. Impaktné krátery	20 – 30 minút	stredne náročná	14 – 15	metrové pravítko, kalkulačka, tabuľkový procesor, milimetrový papier	práca s mapou, pohybová energia, objem, hmotnosť, hustota
5. Gravitačná sila	20 – 30 minút	stredne náročná	14 – 15	kalkulačka, tabuľkový procesor, milimetrový papier	gravitačná sila, objem gule, prevody jednotiek

Úloha 1: Kométa

Úloha: Nakresli kométu a popíš jej hlavné časti.

Úloha: Má kométa vždy chvost? Svoju odpoveď zdôvodni.

Úloha: Smeruje chvost kométy k Slnku? Svoju odpoveď zdôvodni.

Úloha: Načrtni obežnú dráhu kométy okolo Slnka a zakresli smer jej chvosta.

Úloha: Aké sú hlavné rozdiely medzi kométami a planétkami?

Úloha 2: Rýchlosti planétok

Úloha: Planétka X sa nachádza vo vzdialenosti 2,5 au od Slnka. Predpokladaj kruhovú obežnú trajektóriu. Aká je jej obežná doba v sekundách?

Úloha: Odhadni rýchlosť planétky na obežnej trajektórii okolo Slnka za predpokladu, že trajektória planétky okolo Slnka je kruhová.

Úloha: Ako by sa zmenila obežná rýchlosť planétky, ak by sa nachádzala vo vzdialenosti planéty Jupiter?

Úloha 3: Energia

Úloha: Desiatkilogramové závažie sa nachádza v pokoji vo výške 10 km nad povrchom Zeme. Vypočítaj polohovú energiu podľa vzťahu $E_p = mhg$, kde $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$, $h = 10 \text{ km}$. Ako veľká energia sa premení z polohovej energie na pohybovú energiu, ak sa teleso premiestni z 10 km do 5 km? Odhadni, akú maximálnu rýchlosť môže závažie dosiahnuť, ak nebudeme brať do úvahy odpor vzduchu.

Úloha: Pozrime sa na energiu, ktorá sa uvoľní, ak sa pohybujúci objekt zrazu zastaví – napr. kométa či planétka narazí do Zeme. Zvyčajné rýchlosti planétok dopadajúcich na Zem sa pohybujú v intervale od $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ do $70 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Predstavme si kilogramový objekt, ktorý narazí do Zeme rýchlosťou $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Spočítaj, koľko energie sa pri tejto zrážke uvoľní.

Úloha: Teraz si predstavme rovnaký objekt, iba narazí do Zeme rýchlosťou $70 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Vypočítaj, koľko energie sa uvoľní pri tejto zrážke. Porovnaj s predchádzajúcou hodnotou.

5. Slnecná sústava

Úloha: Pozrieme sa, aký vplyv má na uvoľnenú energiu veľkosť dopadajúceho objektu. Vypočítaj uvoľnenú energiu dvoj kilogramového objektu, ktorý sa zrazí so Zemou rýchlosťou $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Porovnaj s odpoveďou v prvom prípade.

Úloha 4: Impaktné krátery

Úloha: Táto aktivita je zameraná na meranie rozmerov skutočných impaktných kráterov na povrchu Zeme pomocou Mapy.cz alebo Google Maps. Krátery majú rôznu veľkosť, od malých (stovky metrov) až po veľmi rozľahlé (vyše 100 km). Zrážky, ktoré vytvorili tieto krátery, spôsobili rôzne klimatické zmeny; malé zrážky ovplyvnili iba miestnu oblasť, zatiaľ čo tie väčšie zrážky mohli mať zmeny globálneho charakteru.

Pri každom kráteri nájdí jeho miesto na mape, zmeraj rozmery a plochu impaktného krátera a určí, na území akého štátu sa nachádza. Poloha krátera je zadaná zemepisnou šírkou a zemepisnou dĺžkou.

Názov impaktného krátera	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka	Veľkosť (km)	Plocha (km ²)	Štát
Barringerov kráter Tento kráter vznikol pred 50 tisícimi rokmi dopadom železného meteoritu.	35° 02' S	111° 01' Z			
Manicouagan Jeden z najväčších zachovaných impaktných kráterov, vznikol pred viac ako 200 miliónmi rokov.	51° 23' S	68° 42' Z			
Clearwater Lakes Tieto dva impaktné krátery boli vytvorené dopadom dvojice planétok na povrch Zeme.	56° 13' S	74° 30' Z			
Chicxulubský kráter Tento impaktný kráter je zložitý najš. Vznikol pred 66 miliónmi rokov dopadom meteoritu veľkosti 10 km. Dopadom sa uvoľnilo veľké množstvo energie, došlo ku klimatickým zmenám a vyhynutiu mnohých živočíšnych druhov.	21° 24' S	89° 31' Z			
Upheaval Dome Tento kráter má všetky rysy typického impaktného krátera – centrálny vrcholok, vnútorný kráter a vonkajšie sústredné rázové krúžky.	38° 26' S	109° 54' Z			

Názov impaktného krátera	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka	Veľkosť (km)	Plocha (km ²)	Štát
Gosses Bluff Tento impaktný kráter vznikol pred viac ako 140 miliónmi rokov dopadom planétky s veľkosťou 1 km. Centrálny kruh nie je okraj krátera, ten leží oveľa ďalej.	23° 50' J	132° 19' V			
Tenoumer V okolí krátera sa nachádzajú ďalšie dva, ktoré je ľahké nájsť, prvý je 166 km v azimute 27°, druhý 376 km v azimute 219°. Kráter vznikol pred 20 tisícami rokov.	22° 55' S	10° 24' Z			
Vredefort Kráter zložený z niekoľkých prstencov. Vek 2 mld rokov. Meteorit s veľkosťou 10 km.	27° 00' J	27° 30' V			

Úloha: Výpočet pohybovej energie dopadu

Chicxulubský kráter [čítaj: čikšulubský] bol vytvorený dopadom skalnatého telesa (hustota = 2 700 kg · m⁻³) s priemerom 17,5 km.

Vypočítaj objem telesa. Predpokladaj, že je teleso guľaté.

5. Slnčná sústava

Úloha: Vypočítaj hmotnosť telesa, ktoré vytvorilo Chicxulubský kráter.

Úloha: Vypočítaj, koľko pohybovej energie sa uvoľnilo pri dopade, ak sa teleso pohybovalo rýchlosťou $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Úloha 5: Gravitačná sila

Úloha: Vypočítaj veľkosť gravitačnej sily medzi dvoma zrnkami, ktoré sú dokonalé gule s polomerom 0,1 m a hustotou $1\,300\text{ kg m}^{-3}$, nachádzajúce sa vo vzdialenosti 1 m od seba.

Úloha: Teraz si predstavme, že jedno zrnko má veľkosť 10 metrov a zrnká sú od seba 1000 metrov. Vypočítaj veľkosť gravitačnej sily medzi zrnkami.

Úloha: Aká by bola veľkosť gravitačnej sily, ak by jedno zrnko malo priemer 10 km, druhé 0,1 metra a boli by od seba 15 km?

ZATMENIE MESIACA

1. ÚVOD

Zatmenie Mesiaca je astronomický úkaz, pri ktorom sa Slnko, Zem a Mesiac dostanú pri svojom pohybe do jednej priamky a tieň Zeme vrhnutý do priestoru dopadne na povrch Mesiaca. Zatmenie Mesiaca je pozorovateľné vždy z celej zemskej pologule. **Podľa toho, či sa do tieňa vrhnutého Zemou dostane celý Mesiac alebo len jeho časť, rozoznávame úplné, čiastočné a polotieňové zatmenie Mesiaca.** Pri úplnom zatmení Mesiaca je možné väčšinou pozorovať červené alebo červenohnedé sfarbenie stmavnutého splnu. Správy o zatmení Mesiaca sú známe už z dávnej minulosti. Rovnako tak sú zatmenia predpovedané na mnoho storočí dopredu.

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

zatmenie Mesiaca

úplné zatmenie

čiasťočné zatmenie

polotieňové zatmenie

pozorovanie zatmenia

predpoveď zatmenia

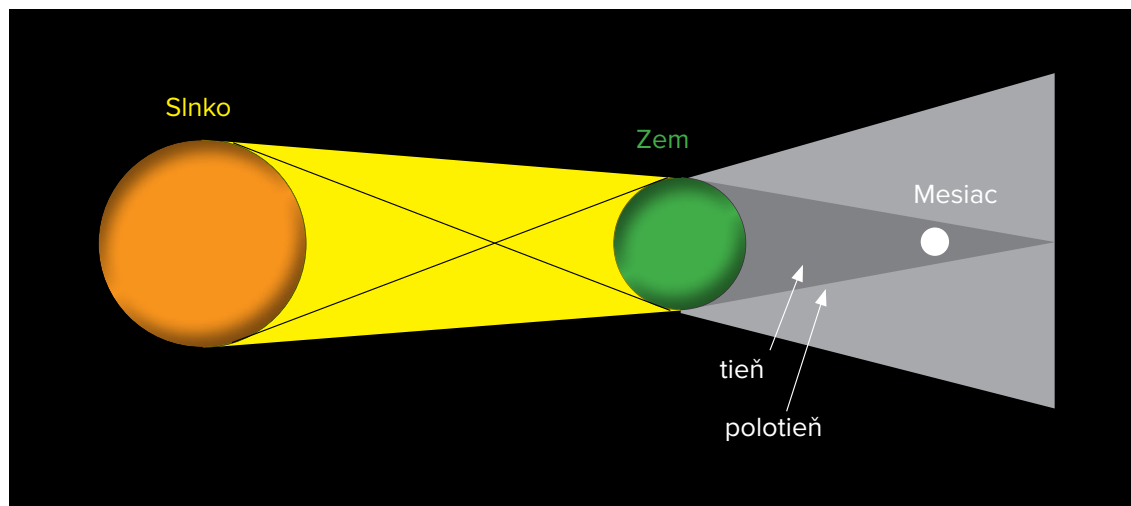
2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

Zatmenie Mesiaca je astronomický úkaz, pri ktorom sa Slnko, Zem a Mesiac dostanú pri svojom pohybe do jednej priamky. Pritom tieň Zeme vrhnutý do priestoru dopadne na povrch Mesiaca. Oproti zatmeniu Slnka, ktoré je pozorovateľné iba z úzkeho pásu, na ktorý dopadá tieň vrhnutý Mesiacom, je zatmenie Mesiaca pozorovateľné vždy z celej zemskej pologule, na ktorej je práve tma.

Základné informácie

Ak by Mesiac okolo Zeme obiehal v úplne rovnakej rovine, ako je rovina ekliptiky alebo rovina obehu Zeme okolo Slnka dochádzalo by k zatmeniu Mesiaca pri každom splne, kedy sa Zem nachádza medzi Slnkom a Mesiacom. V skutočnosti je ale rovina obehu Mesiaca okolo Zeme sklonená oproti rovine ekliptiky približne o 5° , a preto sa všetky tri telesá dostanú do jednej priamky len výnimočne. Preto je aj zatmenie Mesiaca nie príliš častým nebeským úkazom. Napriek tomu je pre dané miesto na povrchu Zeme omnoho častejšie ako zatmenie Slnka. Zatmenie Mesiaca môže byť na konkrétnom mieste pozorovateľné aj niekoľkokrát do roka (zatmenie Slnka priemerne raz za 400 rokov). Je to práve preto, ako už bolo povedané, že zatmenie Mesiaca je pozorovateľné vždy naraz z celej privrátenej zemskej pologule, pričom zatmenie Slnka iba z pásu 100 až 270 kilometrov širokého a niekoľko málo tisíc kilometrov dlhého.

Na nasledujúcom obrázku je vyznačená vzájomná poloha Slnka, Mesiaca a Zeme pri zatmení Mesiaca. Vzdialenosti a veľkosti telies nezodpovedajú skutočnosti, Slnko je oveľa väčšie a oveľa ďalej od Zeme, Mesiac je v skutočnosti tiež vzdialenejší od Zeme.



Obrázok 17: Vznik zatmenia Mesiaca

Podľa toho, aká časť povrchu Mesiaca sa dostane do plného tieňa vrhnutého Zemou (na obrázku tmavosivá oblasť) a aká časť povrchu Mesiaca zostane len v polotieni, rozlišujeme úplné, čiastočné a polotieňové zatmenie Mesiaca.

Tieň vrhaný Zemou do priestoru je vždy dostatočne rozsiahly, aby zakryl celý mesačný povrch. Všetky tri telesá Slnko, Zem a Mesiac nemusia však pri každom zatmení Mesiaca ležať úplne presne v jednej priamke a do plného tieňa vrhnutého Zemou sa môže dostať väčšia alebo menšia časť mesačného kotúča.

Druhy zatmenia Mesiaca

5. Slnčná sústava

Úplné zatmenie Mesiaca Úplné zatmenie Mesiaca nastane, ak sa celý Mesiac dostane do plného tieňa vrhnutého Zemou. Fáze úplného zatmenia Mesiaca samozrejme predchádza fáza polotieňového a čiastočného zatmenia, v priebehu ktorých sa mesačný kotúč pomaly posúva do oblasti polotieňa a plného tieňa a je postupne Zemou zatienený. Rovnako tak je úplné zatmenie nasledované opäť fázou čiastočného a polotieňového zatmenia, kedy mesačný kotúč z tieňa vychádza. Počas fázy úplného zatmenia je Mesiac ožarovaný iba zvyškovým svetlom, ktoré sa smerom k stredu tieňa láme v zemskej atmosfére. Rôzne farby svetla sa v atmosfére lámu rôzne, a preto farba mesačného splnu vo fáze úplného zatmenia závisí od vzdialenosti Mesiaca od stredu tieňa (od spojnice stredov Slnka a Zeme), a tiež od čistoty zemskej atmosféry v okamihu zatmenia. Pri úplnom zatmení Mesiaca je mesačný spln najčastejšie pozorovateľný v temne oranžovej, červenkastej alebo červenohnedej farbe, môže byť ale tiež temne hnedý, sivý alebo aj s modrastým nádychom pri okraji. Asi najväčší vplyv na farebný odtieň stmavnutého Mesiaca má sopečný prach uvoľnený do atmosféry v obrovských množstvách pri sopečných erupciách.

Čiastočné zatmenie Mesiaca Ak sa Mesiac nachádza ďalej od spojnice Slnka a Zeme, nemusí sa do oblasti plného tieňa dostať celý, ale iba svojou časťou. V tomto prípade je mesačný kotúč po celú dobu trvania zatmenia pozorovateľný ako kosáčik, ktorého časť viac či menej zakrýva tieň vrhnutý Zemou.

Polotieňové zatmenie Mesiaca Pri niektorých zatmeniach sa žiadna časť Mesiaca nedostane do oblasti plného tieňa. V takejto situácii nie je tieň na mesačnom kotúči alebo mesačný kosáčik vôbec pozorovateľný. Po celú dobu je vidieť kruhový spln, iba jeho jas mierne poklesne. Tento efekt nemusí byť okom vôbec postrehnuteľný. Len vtedy, ak sa Mesiac dostane blízko k oblasti plného tieňa, je možné zaznamenať, že je úplne z jednej strany ľahko stmavnutý.

Predpovedanie zatmenia Mesiaca Zatmenie Mesiaca síce nie je tak výrazným a efektným úkazom akým je úplné zatmenie Slnka, ale aj tak sa v minulosti stretávalo so značnou pozornosťou ľudí. U starovekých civilizácií totiž zohrával Mesiac oveľa významnejšiu úlohu ako dnes. Poskytoval v noci dostatok svetla pre pohyb v krajine a hlavne striedanie jeho fáz slúžilo na meranie času a bolo základom mnohých kalendárov. Preto náhle zmiznutie alebo začervenanie mesačného splnu budilo pozornosť a naháňalo hrôzu. Červený Mesiac sa objavuje aj v Novom zákone, kde predznamenáva Apokalypsu a koniec sveta. Obdobne sčervenanie Mesiaca pomohlo Krištofovi Kolumbovi, ktorý jeho presnou predpoveďou ohromil pri svojej štvrtej výprave do Ameriky miestnych Indiánov a prinútil ich k spolupráci. (Európania v tej dobe už zatmenia a ich cykly dobre poznali.)

Rovnako ako zatmenie Slnka, aj zatmenia Mesiaca sa vyskytuje periodicky v rôznych cykloch. Napríklad v priebehu periódy zatmení Saros trvajúcej približne 18 rokov nastane okrem 43 zatmení Slnka aj 29 rôznych zatmení Mesiaca.

Tabuľka najbližších zatmení Mesiaca (do roku 2025)

21. 1. 2019	úplné	centrálny Tichý oceán, Amerika, Európa, Afrika
16. 7. 2019	čiastočné	Južná Amerika, Európa, Afrika, Ázia, Austrália
10. 1. 2020	polotieňové	Európa, Afrika, Ázia, Austrália
5. 6. 2020	polotieňové	Európa, Afrika, Ázia, Austrália
5. 7. 2020	polotieňové	Amerika, juhozápadná Európa, Afrika
30. 11. 2020	polotieňové	Ázia, Austrália, Tichý oceán, Amerika
26. 5. 2021	úplné	východná Ázia, Austrália, Tichý oceán, Amerika
19. 11. 2021	čiastočné	Amerika, severná Európa, východná Ázia, Austrália, Tichý oceán
16. 5. 2022	úplné	Amerika, Európa, Afrika
8. 11. 2022	úplné	Ázia, Austrália, Tichý oceán, Amerika
5. 5. 2023	polotieňové	Afrika, Ázia, Austrália
28. 10. 2023	čiastočné	východná Amerika, Európa, Afrika, Ázia, Austrália
25. 3. 2024	polotieňové	Amerika
18. 9. 2024	čiastočné	Amerika, Európa, Afrika
14. 3. 2025	úplné	Tichý oceán, Amerika, západná Európa, západná Afrika
7. 9. 2025	úplné	Európa, Afrika, Ázia, Austrália

Údaje sú čerpané z webových stránok NASA: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>.

3. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽA

Zatmenie Mesiaca – úlohy

Názov úlohy	Doba trvania	Náročnosť úlohy	Odporúčaný vek detí	Pomôcky a materiál	Cieľ úlohy
1. Demonštrácia zatmenia Mesiaca	30 min	malá	4. až 8. ročník ZŠ	slabší smerový plošný zdroj svetla, 2 gule – volejbalová + tenisová lopta alebo loptička na stolný tenis + gymnastická lopta 15 cm	Žiaci pochopia princíp vzniku úplného a čiastočného zatmenia Mesiaca. Zapamätajú si vzájomnú polohu telies pri zatmení Mesiaca.
2. Model zatmenia Mesiaca v teréne	1 – 2 hod	stredná	4. až 8. ročník ZŠ (menší žiaci bez výpočtov)	gymnastická lopta 70 cm, guľôčky necelých 7 mm a necelé 2 mm	Žiaci si uvedomia obrovskú rozľahlosť medziplanetárneho priestoru a predstavia si vzájomnú vzdialenosť telies vo vzťahu k ich rozmerom.
3. Typy zatmení Mesiaca – rozdiely oproti zatmeniu Slnka	20 – 40 min podľa zaradenia výpočtov	stredná až vyššia podľa zaradenia výpočtov	6. až 8. ročník ZŠ	---	Žiaci pochopia zásadný rozdiel medzi zatmením Slnka a Mesiaca. Ďalej si ujasnia vplyv sklonu roviny obehu Mesiaca okolo Zeme voči rovine ekliptiky na typ zatmenia Mesiaca.
4. Najbližšie zatmenia Mesiaca	20 min	malá až stredná	4. až 8. ročník ZŠ	webové stránky s údajmi o zatmení Mesiaca	Žiaci sa naučia vyhľadávať samostatne informácie na internete a vytvoria si predstavu o frekvencii zatmení Mesiaca a o území, ktoré zatmenie Mesiaca zasiahne.

Úloha 1: Demonštrácia zatmenia Mesiaca

V zatemnenej miestnosti demonštrujte vznik zatmenia Mesiaca. Ako model Slnka použite slabší smerový plošný zdroj svetla. Ako modely Zeme a Mesiaca použite rôzne veľké gule (lopty), dodržte vzájomný pomer veľkostí – Mesiac má približne 3 až 4-krát menší priemer ako Zem. Osviette svetlom model Mesiaca, umiestnite „Zem“ do vhodnej vzdialenosti medzi „Slnko“ a „Mesiac“. Pohybujte „Mesiacom“ a pozorujte vznik úplného a čiastočného zatmenia Mesiaca.

Cieľ úlohy

Cieľom tejto aktivity je, aby žiaci pochopili princíp vzniku úplného a čiastočného zatmenia Mesiaca. Zapamätajú si vzájomnú polohu telies pri zatmení Mesiaca (Slnko – Zem – Mesiac) v tomto konkrétnom poradí.

Metodické poznámky pre učiteľa

- Najväčším problémom je zabezpečenie vhodného zdroja svetla. Zdroj musí byť plošný, ideálne kruhový s priemerom minimálne 20 cm, lepšie 30 a viac cm. Zároveň musí byť zdroj smerový, aby neožaroval okolie miestnosti, ale svietil iba na „Mesiac“ a „Zem“. Je vhodné, aby bol zdroj pomerne slabý (žiarovka 20 – 40 W pri vzdialenosti 2 – 3 metre), aby miestnosť nebola ožiarená ani svetlom odrazeným od modelov. Ideálny je reflektor s úzkym kužeľom s priemerom 30 – 40 cm. Možno použiť aj rozmernejšie stropné svietidlo na závese (luster) obalené zo strán a zhora kužeľom nepriehľadnej látky (napr. cez luster zhora prehodená a zapnutá hrubšia bunda, mikina či sveter). Potom je samozrejme optická os experimentu orientovaná zvisle a „Mesiac“ leží na podlahe pod lustrom.
- Pretože pri pozorovaní zatmenia Mesiaca nerozlišujeme oblasti tieňa a polotieňa, nie je potrebné podmienky kladené na zdroj svetla splniť tak exaktne ako pri simulácii zatmenia Slnka. Každý zdroj svetla na demonštráciu zatmenia Slnka vyhovuje aj na demonštráciu zatmenia Mesiaca, naopak to však neplatí.
- Na realizáciu by bolo ideálne mať k dispozícii miestnosť s čiernymi stenami pohlcujúcimi rozptýlené a odrazené svetlo. Potom by obmedzenia kladené na svetelný zdroj nemuseli byť tak striktné. (Slnko je tiež všesmerový zdroj.) Taká miestnosť však spravidla nie je k dispozícii.
- Vhodné modely sú napríklad volejbalová lopta – Zem a tenisová loptička – Mesiac; prípadne molitanová alebo gymnastická lopta 15 cm – Zem a loptička na stolný tenis – Mesiac.
- Dôležitá je príprava vhodného zdroja svetla a zatemnenie miestnosti. Odporúčame toto pripraviť a vyskúšať vopred, nenechávať na samostatné činnosti žiakov.

Vzorové riešenie:

Ide o aktivitu kvalitatívnu, nie je možné ani vhodné uvádzať vzorové riešenie. Konkrétne prevedenie závisí od dostupných možností realizátora, pozri poznámky vyššie.

Pokyny na prispôsobenie pre žiakov so ŠVVP**Žiaci s poruchami**

Aktivita je úplne bezproblémová, ak je pripravený vhodný zdroj svetla. Pre žiakov s poruchami učenia ešte dôraznejšie než pre ostatných odporúčame pripraviť prostredie a zdroj svetla vopred.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci si naopak môžu vyskúšať prípravu zdroja svetla sami a výskumnou metódou dospieť k jeho nutným vlastnostiam – plošnosť, smerovosť, menšia intenzita. Ďalej sa môžu sami pokúsiť vhodný zdroj svetla zostrojiť.

Úloha 1: Demonštrácia zatmenia Mesiaca (pracovný list pre žiakov)

V zatemnenej miestnosti demonštrujte vznik zatmenia Mesiaca. Ako model Slnka použite slabší smerový plošný zdroj svetla. Ako modely Zeme a Mesiaca použite rôzne veľké gule (lopty), dodržte vzájomný pomer veľkostí – Mesiac má približne 3 až 4-krát menší priemer ako Zem. Osviette svetlom model Mesiaca, umiestnite „Zem“ do vhodnej vzdialenosti medzi „Slnko“ a „Mesiac“. Pohybujte „Mesiacom“ a pozorujte vznik úplného a čiastočného zatmenia Mesiaca.

Riešenie:

Skontrolujte zatemnenie miestnosti a pripravte si vhodný svetelný zdroj podľa pokynov vyučujúceho. Vyberte vhodné modely pre Zem a Mesiac, nezabudnite, že Zem má cca 3 až 4-krát väčší priemer.

model Zeme: model Mesiaca:

Do svetelného kužela umiestnite model Mesiaca, aby naň svetlo dopadalo rovnomerne.

Medzi „Slnko“ a „Mesiac“ umiestnite „Zem“. Pohybujte „Mesiacom“ do strán a pozorujte vznik úplného a čiastočného zatmenia Mesiaca. „Zem“ umiestnite blízko k „Mesiacu“, do menej ako $\frac{1}{4}$ celkovej vzdialenosti „Slnko“ – „Mesiac“.

Nakreslite konkrétne prevedenie experimentu a pozorovaný tvar a veľkosť tieňa pri úplnom a čiastočnom zatmení Mesiaca:

Úloha 2: Model zatmenia Mesiaca v teréne

Vytvorte model zatmenia Mesiaca. Ako Slnko použite gymnastickú loptu s priemerom približne 70 cm. Najprv vypočítajte potrebné veľkosti telies a ich vzdialenosti, potom nájdite vhodné veľké guľôčky pre Zem a Mesiac a umiestnite ich do správnych vzdialeností. Nezabudnite na správne poradie telies.

priemer Slnka	1 400 000 km
priemer Zeme	13 000 km
priemer Mesiaca	3 500 km
vzdialenosť Zeme od Slnka	150 000 000 km
vzdialenosť Mesiaca od Zeme	400 000 km

Cieľ úlohy

Cieľom tejto aktivity je, aby si žiaci uvedomili obrovskú rozľahlosť medziplanetárneho priestoru a dokázali si predstaviť vzájomnú vzdialenosť telies vo vzťahu k ich rozmerom. Na všetkých ilustráciách a modeloch Slnčnej sústavy či zatmenia Mesiaca sú telesá prehnane veľké a veľmi blízko seba, model v reálnej mierke nie je viac-menej možné nakresliť. Vychádzka je vhodnou situáciou pre nápravu nevhodnej predstavy „tesnej“ Slnčnej sústavy.

Metodické poznámky pre učiteľa

- Prípravu na uvedenú aktivitu je možné vykonať s predstihom v škole na vyučovacej hodine alebo doma v priebehu prípravy na fyziku. V časti riešenia ďalej uvádzame vypočítané hodnoty pre priemer lopty 70 cm, ale je možné použiť inú loptu. Ak je rozdiel vo veľkosti do cca 10 cm, nie je nutné pomer a veľkosti prepočítavať. Na názornosti situácie sa nič nezmení. Vlastnú realizáciu je potom vhodné vykonať pri vychádzke na ihrisko, v parku alebo na lúke.
- Pozor na jednotky dĺžky. Nie je nutné prevádzať reálne dĺžky na metre, ale je nutné si uvedomiť, že všetky rozmery v modeli musia byť v rovnakých jednotkách a všetky dĺžky v reálnej situácii tiež. Vo vzorovom riešení pracujeme v reálnej situácii s kilometrami (pozri zadanie) a v modeli s metrami. Nič však nebráni previesť všetko na metre alebo naopak na kilometre a precvičiť navyše prevody dĺžkových jednotiek.
- Demonštráciu je nutné vykonať na rovnej a voľnej ploche, aby boli všetky telesá navzájom viditeľné (neboli skryté medzi stromami a pod.). Je vhodné, aby malé telesá (Zem, Mesiac) vybraní žiaci držali v ruke. Pri položení na zem sa stratia a nebudú vôbec vidieť.
- Vzdialenosť Zeme a Slnka stačí stanoviť približne krokováním, na tvorbe predstavy to nič nezmení.
- Pozor na správne poradie telies, Zem sa pri zatmení Mesiaca nachádza medzi Slnkom a Mesiacom.
- Nestačí vykonať samotné výpočty, samotné čísla žiakom veľa nepovedia. Demonštráciu je nutné vykonať v skutočnosti. Iba tak vznikne u žiakov správna predstava.

5. Slnčná sústava

Vzorové riešenie

Mierka modelu je 0,7 metra ku 1 400 000 kilometrom, t. j. 0,000 000 5 m/km.

<i>priemer Slnka</i>	<i>1 400 000 km</i>	<i>0,7 m</i>
<i>priemer Zeme</i>	<i>13 000 km</i>	<i>0,006 5 m = 6,5 mm</i>
<i>priemer Mesiaca</i>	<i>3 500 km</i>	<i>0,001 75 m = 1,75 mm</i>
<i>vzdialenosť Zeme od Slnka</i>	<i>150 000 000 km</i>	<i>75 m</i>
<i>vzdialenosť Mesiaca od Zeme</i>	<i>400 000 km</i>	<i>0,2 m</i>

Pokyny na prispôsobenie pre žiakov so ŠVVP

Žiaci s poruchami

Pre žiakov s poruchami učenia môže byť ťažké vypočítať veľkosti a vzdialenosti v modeli pri pomere v rozsahu 6 až 7 rádov. Potom je možné postupovať po krokoch takto: $14 : 7 = 2$, t. j. zmenšiť veľkosť dvakrát, a potom ešte miliónkrát. Pre niektorých žiakov môže tiež byť problematická predstava, že počítame naraz s metrami a kilometrami, potom môže byť vhodné všetko previesť na metre, aj keď sa tým pomer zvýši o ďalšie 3 rády.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci môžu model prepočítať v iných pomeroch. Reálne situácie môžu zostať, inokedy je nutné sa uspokojiť s myšlienkovým modelom. Niektoré možné varianty:

- Navrhni opísanú situáciu tak, aby sa zmestila na dosku stola.
- Urči, aké budú veľkosti a vzdialenosti telies, ak bude Zem veľká ako futbalová lopta.
- Vypočítaj, aké by boli veľkosti a vzdialenosti telies, ak bude Slnko ako pomaranč.

Ďalšou možnosťou je rozšíriť úlohu na výpočet veľkostí a vzdialeností ostatných planét v Slnčnej sústave.

Úloha 2: Model zatmenia Mesiaca v teréne (pracovný list pre žiakov)

Vytvorte model zatmenia Mesiaca. Ako Slnko použite gymnastickú loptu s priemerom približne 70 cm. Najprv vypočítajte potrebné veľkosti telies a ich vzdialenosti, potom nájdite vhodné veľké guľôčky pre Zem a Mesiac a umiestnite ich do správnych vzdialeností. Nezabudnite na správne poradie telies.

Riešenie:

Vypočítajte pomer veľkostí skutočných telies a telies v modeli.

$$1\,400\,000 / 0,7 =$$

Doplňte tabuľku veľkostí a vzdialeností telies (veľkosti skutočných telies sú v kilometroch, veľkosti v modeli v metroch):

<i>priemer Slnka</i>	<i>1 400 000 km</i>	<i>0,7 m</i>
<i>priemer Zeme</i>	<i>13 000 km</i>	
<i>priemer Mesiaca</i>	<i>3 500 km</i>	
<i>vzdialenosť Zeme od Slnka</i>	<i>150 000 000 km</i>	
<i>vzdialenosť Mesiaca od Zeme</i>	<i>400 000 km</i>	

Nájdite vhodné telesá na model Zeme a Mesiaca.

model Zeme: model Mesiaca:

Nakreslite ručne plánik, ktorý znázorňuje celú situáciu pri pohľade zhora:

Úloha 3: Typy zatmení Mesiaca – rozdiely oproti zatmeniu Slnka

Pri pozorovaní zo Zeme má kotúč Slnka približne rovnakú veľkosť ako kotúč Mesiaca. Preto môže dochádzať k úplnému, prstencovému a hybridnému zatmeniu Slnka. Pri zatmení Mesiaca je situácia úplne odlišná. Tieň vrhnutý Zemou do priestoru je tak veľký, že sa do neho Mesiaca vždy zmestí celý. Zatmenie Mesiaca je vždy pozorovateľné z celej zemskej pologule, na ktorej je práve noc.

Mesiaca tiež neobieha okolo Zeme v rovnakej rovine ako Zem okolo Slnka (= v rovine ekliptiky). Preto nastane zatmenie Mesiaca len vtedy, ak sa všetky tri telesá výnimočne dostanú do rovnakej roviny. Keby obiehali v rovnakej rovine neustále, dochádzalo by k zatmeniu Mesiaca pri každom splne.

- Za akých podmienok by mohlo nastávať prstencové zatmenie Mesiaca? Ak je to možné, pokúste sa tieto podmienky spresniť výpočtom.
- Prečo niekedy nastáva úplné a inokedy len čiastočné zatmenie Mesiaca?

Cieľ úlohy

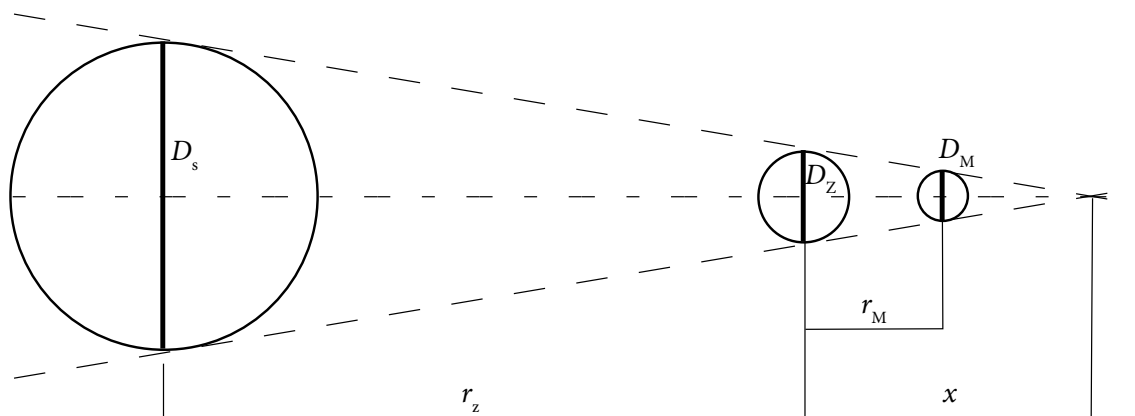
Cieľom tejto aktivity je vysvetliť žiakom zásadný rozdiel medzi zatmením Slnka a zatmením Mesiaca. Pri zatmení Slnka môže nastať úplné, prstencové či hybridné zatmenie, pretože uhlová veľkosť Slnka a Mesiaca na oblohe je porovnateľná. Pri zatmení Mesiaca nastáva vždy úplné zatmenie, pretože do kužela tieňa vrhnutého Zemou sa Mesiaca vždy zmestí. Žiaci si tiež ujasnia vplyv sklonu roviny obehu Mesiaca okolo Zeme voči rovine ekliptiky na typ zatmenia Mesiaca.

Metodické poznámky pre učiteľa

- Na prvý pohľad je zrejmé, že pre možný výskyt prstencového zatmenia Mesiaca by zmena vzdialeností či veľkosti zúčastnených telies musela byť obrovská a pozorovanie prstencového zatmenia Mesiaca je teda nereálne. Napriek tomu je užitočné najmä s nadanými žiakmi vypočítať parametre takejto situácie. Ponúka sa zväčšenie Mesiaca alebo jeho priblíženie k Zemi. Oba výsledky sú viac-menej z oblasti „fyzikálneho či astronomického humoru“.

Vzorové riešenie:

- Prstencové zatmenie Mesiaca by mohlo nastať len vtedy, ak by tieň vrhnutý Zemou bol v mieste jeho priesečníka s trajektóriou Mesiaca menší ako veľkosť Mesiaca. V takom prípade by musel byť Mesiaca omnoho väčší. Druhou možnosťou je, že by bol niekoľkokrát ďalej ako teraz. Ani jedna z týchto možností nie je príliš reálna. Napriek tomu je možné vykonať konkrétne výpočty, pozri obrázok.



Zem vrhá do priestoru kužeľovité tieň s vrcholovým uhlom $\alpha = \frac{D_S}{r_Z+x}$.

Najskôr vypočítame vzdialenosť vrcholu kužeľa od Zeme x z rovnice

$$\frac{D_S}{r_Z+x} = \frac{D_Z}{x} \Rightarrow x = \frac{D_Z \cdot r_Z}{D_S - D_Z} \doteq 1,4 \cdot 10^6 \text{ km.}$$

Najprv hľadáme, aký medzný priemer by musel mať Mesiac v súčasnej vzdialenosti, aby mohlo nastať prstencové zatmenie Mesiaca. Muselo by platiť

$$\frac{D_Z}{x} = \frac{D_M}{x-r_M} \Rightarrow D_M = \frac{D_Z(x-r_M)}{x} \doteq 9\,500 \text{ km,}$$

t. j. Mesiac by musel byť takmer 3-krát väčší ako v skutočnosti.

Teraz hľadáme, v akej medznej vzdialenosti by musel byť Mesiac v súčasnej veľkosti, aby mohlo nastať prstencové zatmenie Mesiaca.

Opäť musí platiť $\frac{D_Z}{x} = \frac{D_M}{x-r_M}$,

teraz vyjadríme $\frac{D_Z}{x} = \frac{D_M}{x-r_M}$, teraz vyjadríme $r_M = x - \frac{D_M \cdot x}{D_Z} \doteq 10^6 \text{ km,}$

t. j. Mesiac by musel byť vo viac ako 2,6-násobnej vzdialenosti než v skutočnosti.

b) Ak sa Mesiac v okamihu zatmenia Mesiaca nachádza blízko roviny ekliptiky, vojde sa celý do kužeľa tieňa vrhnutého Zemou. Pokiaľ je ďalej od roviny ekliptiky, môže nastať situácia, kedy sa do tieňa Zeme dostane iba časť Mesiaca. Toto však neznamená, že by tieň vrhnutý Zemou bol menší. Len sa do neho Mesiac „netrafí úplne presne“.

Pokyny na prispôbenie pre žiakov so ŠVVP

Žiaci s poruchami

Pre žiakov s poruchami učenia neodporúčame vykonávať výpočty súvisiace s veľkosťou či vzdialenosťou Mesiaca pre možnosť prstencového zatmenia Mesiaca. Je vhodné sa uspokojiť s náčrtkom demonštrujúcim vzniknutú situáciu a načrtnúť tiež nutnú vzdialenosť či veľkosť Mesiaca pri hypotetickom prstencovom zatmení. Nie je vhodné uvažovať o situácii, kedy by sa súčasne menila vzdialenosť aj veľkosť Mesiaca.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci môžu samostatne alebo pod metodickým vedením vyučujúceho vykonať výpočet potrebnej vzdialenosti a/alebo veľkosti, pri ktorej by mohlo nastať prstencové zatmenie Mesiaca. Je možné s nimi diskutovať aj o súčasnej zmene veľkosti a vzdialenosti Mesiaca. Bolo by ďalej možné situáciu otočiť a meniť veľkosť Zeme. Variovať možno ľubovoľné parametre myšleného experimentu. Ďalej je napríklad možné vypočítať, pri akej odchýlke roviny obehu Mesiaca okolo Zeme od roviny ekliptiky by dochádzalo k zatmeniu Mesiaca pri každom splne.

Úloha 3: Typy zatmenia Mesiaca – rozdiely oproti zatmeniu Slnka (pracovný list pre žiakov)

Pri pozorovaní zo Zeme má kotúč Slnka približne rovnakú veľkosť ako kotúč Mesiaca. Preto môže dochádzať k úplnému, prstencovému a hybridnému zatmeniu Slnka. Pri zatmení Mesiaca je situácia úplne odlišná. Tieň vrhnutý Zemou do priestoru je tak veľký, že sa do neho Mesiac vždy zmestí celý. Zatmenie Mesiaca je vždy pozorovateľné z celej zemskej pologule, na ktorej je práve noc.

Mesiac tiež neobícha okolo Zeme v rovnakej rovine ako Zem okolo Slnka (= v rovine ekliptiky). Preto nastane zatmenie Mesiaca len vtedy, ak sa všetky tri telesá výnimočne dostanú do rovnakej roviny. Keby obiehali v rovnakej rovine neustále, dochádzalo by k zatmeniu Mesiaca pri každom splne.

Pokúsme sa spresniť, aké zatmenie Mesiaca by mohlo nastávať a za akých podmienok.

Riešenie:

Odpovedzte na nasledujúce otázky, odpoveď môžete zdôvodniť vysvetľujúcim náčrtom alebo výpočtom.

- a) Za akých podmienok by mohlo nastávať prstencové zatmenie Mesiaca? Ak je to možné, pokúste sa tieto podmienky spresniť výpočtom.

b) Prečo niekedy nastáva úplné a inokedy len čiastočné zatmenie Mesiaca?

Úloha 4: Najbližšie zatmenia Mesiaca

Na základe informácií nájdených na internete zostavte zoznam nadchádzajúcich zatmení Mesiaca do roku 2025. Pri každom zatmení uveďte, kedy nastane, o aký typ zatmenia pôjde a z ktorého územia bude pozorovateľné. Odporúčame využiť webové stránky NASA: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>. Ďalej určte, kedy nastane najbližšie úplné zatmenie Mesiaca pozorovateľné z územia Európy, Slovenskej republiky a Bratislavy.

Cieľ úlohy

Cieľom tejto aktivity je, aby sa žiaci naučili vyhľadávať samostatne informácie na internete a aby si vytvorili predstavu o frekvencii javu zatmenia Mesiaca a o území, ktoré zatmenie Mesiaca zasiahne.

Metodické poznámky pre učiteľa

- Všetky potrebné informácie na splnenie úlohy je možné zistiť na uvedených webových stránkach NASA <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>.
- Uvedený web je samozrejme v anglickom jazyku. Domnievame sa však, že použitá slovná zásoba je tak obmedzená, že by to nemal byť problém.

5. Slnecná sústava

Vzorové riešenie:

21. 1. 2019	úplné	centrálny Tichý oceán, Amerika, Európa, Afrika
16. 7. 2019	čiastočné	Južná Amerika, Európa, Afrika, Ázia, Austrália
10. 1. 2020	polotieňové	Európa, Afrika, Ázia, Austrália
5. 6. 2020	polotieňové	Európa, Afrika, Ázia, Austrália
5. 7. 2020	polotieňové	Amerika, juhozápadná Európa, Afrika
30. 11. 2020	polotieňové	Ázia, Austrália, Tichý oceán, Amerika
26. 5. 2021	úplné	východná Ázia, Austrália, Tichý oceán, Amerika
19. 11. 2021	čiastočné	Amerika, severná Európa, východná Ázia, Austrália, Tichý oceán
16. 5. 2022	úplné	Amerika, Európa, Afrika
8. 11. 2022	úplné	Ázia, Austrália, Tichý oceán, Amerika
5. 5. 2023	polotieňové	Afrika, Ázia, Austrália
28. 10. 2023	čiastočné	východná Amerika, Európa, Afrika, Ázia, Austrália
25. 3. 2024	polotieňové	Amerika
18. 9. 2024	čiastočné	Amerika, Európa, Afrika
14. 3. 2025	úplné	Tichý oceán, Amerika, západná Európa, západná Afrika

Všetky zatmenia Mesiaca viditeľné z Európy sú viditeľné aj z územia Slovenskej republiky a Bratislavy.

Pokyny na prispôsobenie pre žiakov so ŠVVP

Žiaci s poruchami

Aj žiaci s poruchami učenia by mali zvládnuť bez problémov celú túto úlohu, t. j. dohľadanie zatmenia pre najbližšie obdobie do roku 2025.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci môžu na stránkach NASA dohľadať aj ďalšie súvisiace údaje o jednotlivých zatmeniach, napr. dĺžku trvania úplného zatmenia, čas začiatku a konca zatmenia a ďalšie.

Úloha 4: Najbližšie zatmenia Mesiaca (pracovný list pre žiakov)

Na základe informácií nájdených na internete zostavte zoznam nadchádzajúcich zatmení Mesiaca do roku 2025. Pri každom zatmení uveďte, kedy nastane, o aký typ zatmenia pôjde a z ktorého územia bude pozorovateľné. Odporúčame využiť webové stránky NASA: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>. Ďalej určte, kedy nastane najbližšie úplné zatmenie Mesiaca pozorovateľné z územia Európy, Slovenskej republiky a Bratislavy.

Riešenie:

Dátum	Typ zatmenia	Oblasť/štáty

Najbližšie úplné zatmenie Mesiaca pozorovateľné na území Európy:

dátum:

Najbližšie úplné (prstencové) zatmenie na území Slovenskej republiky:

dátum:

Najbližšie úplné (prstencové) zatmenie na území Bratislavy:

dátum:

ZATMENIE SLNKA

1. ÚVOD

Zatmenie Slnka je astronomický úkaz, pri ktorom sa Slnko, Mesiac a Zem dostanú pri svojom pohybe do jednej priamky a tieň Mesiaca dopadne na povrch Zeme. Podľa toho, či mesačný kotúč zakryje alebo nezakryje celé Slnko, **rozlišujeme úplné, prstencové, hybridné a čiastočné zatmenie Slnka**. Pri úplnom zatmení Slnka je možné pozorovať veľmi zaujímavé úkazy – slnečnú korónu, efekty Baileyho perál, diamantového prsteňa a pod. Správy o zatmení Slnka sú známe už z dávnej minulosti, rovnako tak sú zatmenia predpovedané na mnoho storočí dopredu. Počas akéhokoľvek pozorovania Slnka je potrebné dbať na bezpečnosť, aby nedošlo k poškodeniu zraku.

1.1 Kľúčové slová

zatmenie Slnka

úplné zatmenie, prstencové zatmenie, hybridné zatmenie, čiastočné zatmenie

pozorovanie zatmenia

predpoveď zatmenia

poškodenie zraku, bezpečnosť pozorovania

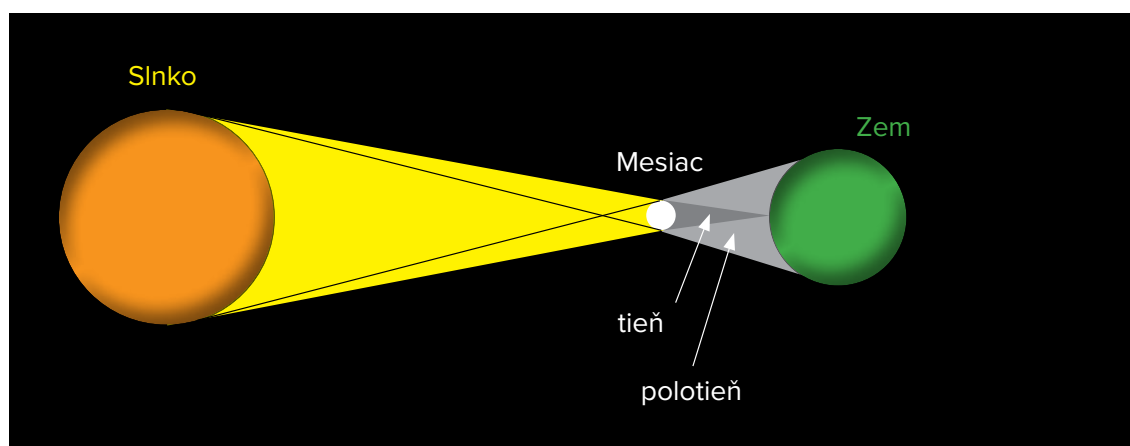
2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

Zatmenie Slnka je astronomický úkaz, pri ktorom sa Slnko, Mesiac a Zem dostanú pri svojom pohybe do jednej priamky. Pritom tieň Mesiaca vrhnutý do priestoru dopadne na povrch Zeme. K zatmeniu Slnka môže dôjsť len vďaka tomu, že pri pozorovaní z povrchu Zeme majú Slnko aj Mesiac približne rovnakú uhlovú veľkosť $0,5^\circ$. Mesiac má síce 400-krát menší priemer ako Slnko, ale je 400-krát bližšie k Zemi. Preto je zdanlivá veľkosť slnečného a mesačného kotúča na oblohe rovnaká a mesačný kotúč môže presne zakryť celé Slnko. Pretože nebeské telesá sa nepohybujú po kružniciach ale po elipsách, vzájomná vzdialenosť Slnka od Zeme a tiež Zeme od Mesiaca sa periodicky zväčšuje a znižuje. Preto je mesačný kotúč niekedy väčší a zakryje celé Slnko, inokedy je naopak menší. Podľa toho vznikajú úplné či prstencové zatmenia Slnka.

Základné informácie

Ak by Mesiac okolo Zeme obiehal v úplne rovnej rovine, ako je rovina ekliptiky (rovina obehu Zeme okolo Slnka) dochádzalo by k zatmeniu Slnka pri každom nove, kedy sa Mesiac nachádza medzi Slnkom a Zemou. V skutočnosti je ale rovina obehu Mesiaca okolo Zeme sklonená oproti rovine ekliptiky približne o 5° , a preto sa všetky tri telesá dostanú do jednej priamky len výnimočne. Preto je zatmenie Slnka pomerne vzácny nebeský úkaz. K vzácnosti zatmenia Slnka prispieva aj to, že každé z nich je pozorovateľné len z veľmi malej oblasti. Mesačný tieň na povrchu Zeme je pri optimálnej vzájomnej polohe všetkých troch telies široký maximálne iba 270 kilometrov, často omnoho menej, okolo 100 kilometrov. Dĺžka pásu, v ktorom sa tieň po povrchu pohybuje, je niekoľko málo tisíc kilometrov. Z historických záznamov a z predpovedí budúcich zatmení vyplýva, že na jednom mieste je úplné zatmenie Slnka pozorovateľné priemerne raz za 400 rokov.

Na nasledujúcom obrázku je vyznačená vzájomná poloha Slnka, Mesiaca a Zeme pri zatmení Slnka. Vzdialenosti a veľkosti telies nezodpovedajú skutočnosti, Slnko je oveľa väčšie a oveľa ďalej od Zeme, Mesiac je v skutočnosti tiež vzdialenejší od Zeme.



Obrázok 18: Vznik zatmenia Slnka

Úplné zatmenie je pozorovateľné len v malej oblasti, kam dopadá plný tieň Mesiaca vyznačený tmavosivou farbou. Oproti tomu svetlosivou farbou je vyznačená výrazne väčšia oblasť polotieňa. Do tejto oblasti dopadá svetlo len z časti slnečného kotúča, z inej časti sem svetlo nedopadá. Na povrchu Zeme tu pozorujeme slnečný kotúč len sčasti zakrytý Mesiacom, ide o čiastočné zatmenie Slnka.

5. Slnčná sústava

Druhy zatmenia Slnka Drobné rozdiely v uhlovej veľkosti Slnka a Mesiaca, ktoré sú spôsobené zmenami vo vzájomnej vzdialenosti Slnka a Zeme, resp. Zeme a Mesiaca, majú vplyv na to, že môžeme pozorovať rôzne typy zatmenia Slnka.

Úplné zatmenie Slnka **Úplné zatmenie Slnka nastane, ak je uhlová veľkosť mesačného kotúča väčšia ako uhlová veľkosť slnečného kotúča.** Potom dosiahne oblasť úplného tieňa až na povrch Zeme a mesačný disk tu zakryje na oblohe celé Slnko. Fáze úplného zatmenia Slnka samozrejme predchádza fáza čiastočného zatmenia, v priebehu ktorej sa mesačný kotúč pomaly nasúva pred Slnko a postupne ho zatieňuje. Rovnako tak je úplné zatmenie nasledované opäť fázou čiastočného zatmenia, kedy tieň ustupuje. Pri úplnom zatmení Slnka je celý slnečný disk zatienený a **sú pozorovateľné tie najzaujímavejšie astronomické detaily, ako napríklad slnečná koróna alebo Baileyho perly.** Krátka chvíľa úplného zatmenia je tiež jedinou a jedinečnou príležitosťou, kedy je možné pozorovať okolie zakrytého Slnka nechráneným okom. Pri úplnom zatmení sa v krajine prakticky úplne zotmie, ako pri súmraku. **Oblasť, v ktorej je pozorovateľné úplné zatmenie Slnka, nazývame pás totality.**

Prstencové zatmenie Slnka Ak je uhlová veľkosť mesačného kotúča menšia ako uhlová veľkosť slnečného kotúča, potom nedosiahne oblasť plného tieňa až na povrch Zeme a na žiadnom mieste nedôjde k pozorovaniu úplného zatmenia Slnka. Pozorovateľ, ktorý sa nachádza na zemskom povrchu v mieste na spojnici Slnka a Mesiaca, vidí na slnečnom disku kruhový tieň Mesiaca. Pritom má Slnko podobu žiarivého prsteňa. Pri výraznejšom prstencovom zatmení, kedy sa veľkosť mesačného tieňa blíži veľkosti slnečného disku, je v krajine pozorovateľné znateľné šero. **Oblasť, v ktorej je pozorovateľné prstencové zatmenie Slnka, nazývame pás annularity.**

Hybridné zatmenie Slnka **Ako hybridné zatmenie Slnka sa označuje situácia, keď je uhlový priemer Slnka a Mesiaca na oblohe zhodný.** Takéto zatmenie je pozorovateľné len vo veľmi úzkom páse niekoľkých desiatok kilometrov. Zatmenie začína ako prstencové a v malej oblasti niekoľkých málo kilometrov vnútri pásu prejde na krátku chvíľu do zatmenia úplného. Opäť je pozorovateľná slnečná koróna a jav Baileyho perál je možno pozorovať po celom obvode Slnka.

Čiastočné zatmenie Slnka Oproti úplnému, prstencovému či hybridnému zatmeniu Slnka je možné čiastočné zatmenie pozorovať na rozsiahlom území povrchu Zeme. Pri čiastočnom zatmení nezakryje mesačný kotúč celé Slnko, ktoré je pozorovateľné ako väčší či menší slnečný kosáčik. Každé úplné, prstencové či hybridné zatmenie začína a končí fázou čiastočného zatmenia, pri ktorých sa mesačný kotúč nasúva pred Slnko, resp. zase ustupuje. **Všetky tieto zatmenia sú potom po celý čas pozorovateľné ako čiastočné, mimo pás totality, resp. annularity.** Môžu nastať aj zatmenia, ktoré sú z akéhokoľvek miesta na povrchu Zeme pozorovateľné len ako čiastočné. Čiastočné zatmenia nemusia byť pri normálnych činnostiach vôbec zaznamenané. Iba pri zakrytí veľkej časti slnečného disku (nad 95 %) je možné vnímať zošerenie okolia.

Javy pozorovateľné pri úplnom zatmení Slnka Iba pri úplnom zatmení Slnka je možné ich pozorovať nechráneným okom. Pretože je tienená žiara vlastného slnečného disku, sú viditeľné javy, ktoré sú bežne prežiarené slnečným svetlom. **Najvýraznejším pozorovateľným javom je slnečná koróna.** Tá je tvorená žiariacimi žeravými plynmi unikajúcimi z povrchu Slnka a plynule prechádza do medziplanetárneho priestoru. Tvar a veľkosť koróny závisí od aktuálnej aktivity Slnka. V koróne môžu byť pozorovateľné **výtrysky plazmy z povrchu Slnka nazývané pro-**

tuberancie. Na začiatku a na konci úplného zatmenia Slnka je možné pozorovať po obvodě Slnka tzv. Baileyho perly. Tento úkaz podobný reťazcu žiarivých perál vzniká priechodom slnečných lúčov cez rôzne nerovnosti na okraji Mesiaca. Efekt pozorovateľný v okamihu tesne pred začiatkom úplného zatmenia, resp. po jeho skončení, kedy je ešte vidieť poslednú žiariacu časť slnečného povrchu a pritom je už viditeľný prstenec slnečnej koróny sa nazýva **diamantový prsteň**. V priebehu úplného zatmenia Slnka sú na oblohe viditeľné najjasnejšie hviezdy a planéty, obloha je tmavomodrá ako po súmraku. Slnčná koróna žiari porovnateľne ako mesačný spln.

Zatmenie Slnka, ako jeden z najpôsobivejších javov na oblohe, neunikalo pozornosti ľudí už v dávnej histórii a povzbudzovalo ich fantáziu. Podľa niektorých civilizácií išlo o hnev bohov, inde sa domnievali, že slnko požiera drak alebo že nastáva koniec sveta. Jeden z prvých údajných záznamov o zatmení Slnka je z Číny, kedy nechal okolo roku 2136 pred našim letopočtom cisár popraviť svojich dvoch astronómov za to, že zatmenie riadne nepredpovedali. Potvrdená správa o zatmení Slnka pochádza napríklad z roku 762 pred n. l. z Mezopotámie alebo existuje záznam o 36 zatmeniach medzi rokmi 721 až 420 pred n. l. z Číny.

Predpovedanie zatmenia Slnka

Vzhľadom na to, že zatmenia sa vyskytujú periodicky v rôznych cykloch, naučili sa ich starí astronómovia pomerne dobre predpovedať. V 7. storočí pred n. l. objavili v Babylonii periódu Saros, čo je doba medzi rovnakými zatmeniami, ktorá trvá približne 18 rokov. Počas tejto periódy dôjde k 43 rôznym zatmeniam Slnka. Okrem najznámejšej periódy Saros existujú aj ďalšie periódy zatmení (Tritos a Inex), ktoré boli objavené neskôr.

Tabuľka najbližších zatmení Slnka (do roku 2025)

6. 1. 2019	čiasočné	severovýchodná Ázia, severný Tichý oceán
2. 7. 2019	úplné	južný Tichý oceán, Chile, Argentína
26. 12. 2019	prstencové	Saudská Arábia, India, Sumatra, Borneo
21. 6. 2020	prstencové	stredná Afrika, juhovýchodná Ázia, Tichý oceán
14. 12. 2020	úplné	južný Tichý oceán, Chile, Argentína, južný Atlantický oceán
10. 6. 2021	prstencové	severná Kanada, Grónsko, Rusko
4. 12. 2021	úplné	Antarktída
30. 4. 2022	čiasočné	juhovýchodný Tichý oceán, juh Južnej Ameriky
25. 10. 2022	čiasočné	Európa, severovýchodná Afrika, Stredný Východ, západná Ázia
20. 4. 2023	hybridné	Indonézia, Austrália, Papua Nová Guinea
14. 10. 2023	prstencové	západ USA, Stredná Amerika, Kolumbia, Brazília
8. 4. 2024	úplné	Mexiko, stred USA, východná Kanada
2. 10. 2024	prstencové	južné Chile, južná Argentína
29. 3. 2025	čiasočné	severozápadná Afrika, Európa, severné Rusko
21. 9. 2025	čiasočné	južný Tichý oceán, Nový Zéland, Antarktída

Údaje sú čerpané z webových stránok NASA: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>. Tam možno tiež nájsť, že budúce úplné zatmenie Slnka viditeľné z územia Českej republiky nastane 7. októbra 2135 a na území Prahy bude úplné zatmenie pozorovateľné až 20. apríla 2433.

5. Slnčná sústava

Pozorovanie zatmenia Slnka a bezpečnosť

Pri akomkoľvek pozorovaní Slnka je nutné dodržiavať pravidlá bezpečnosti! Pri priamom pohľade do Slnka nechráneným okom hrozí vážne, niekedy aj trvalé poškodenie zraku. Toto nebezpečenstvo je o to väčšie pri pozorovaní ďalekohľadom, ktorý slnečné svetlo ešte viac koncentruje. Poškodenie zraku hrozí tiež pri čiastočnom zatmení Slnka, a to aj v situácii, keď je značná časť slnečného kotúča zakrytá mesačným diskom.

Na pozorovanie je ideálne použiť špeciálnu fóliu (výrobca napr. firma Baader Planetarium) určenú priamo na pozorovanie Slnka alebo špeciálne okuliare osadené touto fóliou. Tiež je možné spoľahlivo použiť zväračské filtre vyšších stupňov alebo z nich vyrobené okuliare či tienidlá. Na príležitostné a krátkodobé pozorovanie je možné použiť vyvolaný exponovaný čiernobiely negatívny film alebo exponovanú (čiernu) časť röntgenového snímku, a tiež magnetický kotúč z predtým používaného záznamového média diskety. Je potrebné si uvedomiť, že slnečné žiarenie neobsahuje len viditeľné svetlo, ale aj ultrafialovú a infračervenú zložku. Ani jednu z nich okom nevidíme, ale obe môžu pri dostatočnej intenzite oko poškodiť. Vhodný filter musí dostatočne odfiltrovať aj toto neviditeľné žiarenie.

Rozhodne nie je vhodné používať sklička zašpinené sadzami, slnečné okuliare a bežné farebné fólie. Aj keď tieto fólie môžu odtieniť dostatočnú časť viditeľného svetla a javia sa dostatočne tmavé, nemožno pri nich jednoducho zistiť, či neprepúšťajú nebezpečný podiel neviditeľného žiarenia. Z rovnakého dôvodu je vhodné byť nedôverčivý k rôznym pouličným predajcom s ochrannými filtermi či okuliarmi.

3. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽA

Zatmenie Slnka – úlohy

Názov úlohy	Doba trvania	Náročnosť úlohy	Odporúčaný vek detí	Pomôcky a materiál	Cieľ úlohy
1. Demonštrácia zatmenia Slnka	30 min	malá	4. až 8. ročník ZŠ	slabší smerový plošný zdroj svetla, 2 gule – volejbalová + tenisová lopta alebo loptička na stolný tenis + gymnastická lopta 15 cm	Žiaci pochopia princíp vzniku zatmenia Slnka a oblastí plného tieňa a polotieňa. Zapamätajú si vzájomnú polohu telies pri zatmení Slnka.
2. Model zatmenia Slnka v teréne	1 – 2 hod	stredná	4. až 8. ročník ZŠ (menší žiaci bez výpočtov)	gymnastická lopta 70 cm, guľôčky necelých 7 mm a necelé 2 mm	Žiaci si uvedomia obrovskú rozľahlosť medziplanetárneho priestoru a predstavia si vzájomnú vzdialenosť telies vo vzťahu k ich rozmerom.
3. Zdanlivá veľkosť Slnka a Mesiaca na oblohe – typy zatmenia Slnka	20 – 40 min	stredná až vyššia podľa kladených otázok	6. až 8. ročník ZŠ	---	Žiaci pochopia rozdiely medzi jednotlivými typmi zatmenia Slnka. Ďalej si upevnia predstavu vzájomnej polohy telies v priebehu zatmenia a ujasnia si vplyv sklonu roviny obehu Mesiaca okolo Zeme voči rovine ekliptiky.
4. Pozorovanie úplného zatmenia Slnka z iných planét	20 – 40 min podľa počtu zvažovaných planét	stredná až vysoká podľa voľby planét	6. až 8. ročník ZŠ	webové stránky s charakteristikami planét a ich mesiacov	Žiaci si prehĺbia predstavu mechanizmu vzniku zatmenia Slnka a zdôraznia si nutnú podmienku pre vznik úplného zatmenia. Ďalej si pripomenú informácie o planétach a ich mesiacoch.
5. Najbližšie zatmenia Slnka	20 – 40 min podľa zaradenia doplňujúcich otázok	stredná až vyššia podľa kladených otázok	4. až 8. ročník ZŠ (menší žiaci iba základná tabuľka)	webové stránky s údajmi o zatmení Slnka	Žiaci sa naučia vyhľadávať samostatne informácie na internete a vytvoria si predstavu o frekvencii zatmení Slnka a o území, ktoré zatmenie Slnka zasiahne.

Úloha 1: Demonštrácia zatmenia Slnka

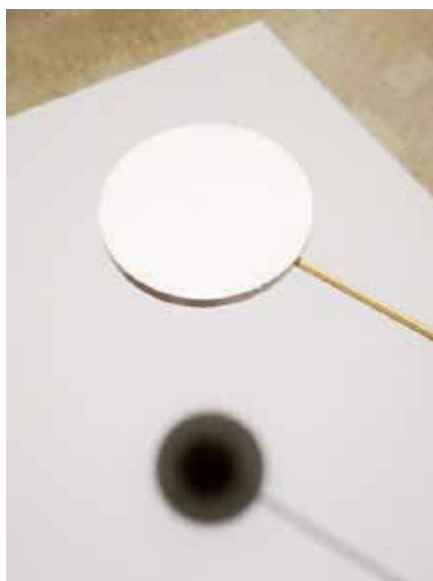
V zatemnenej miestnosti demonštrujte vznik zatmenia Slnka. Ako model Slnka použite slabší smerový plošný zdroj svetla. Ako modely Zeme a Mesiaca použite rôzne veľké gule (lopty), dodržte vzájomný pomer veľkostí – Mesiac má približne 3 až 4-krát menší priemer ako Zem. Osviette svetlom model Zeme, umiestnite „Mesiac“ do vhodnej vzdialenosti medzi „Slnko“ a „Zem“ a pozorujte vznik plného tieňa a polotieňa na „zemskom“ povrchu.

Cieľ úlohy

Cieľom tejto aktivity je, aby žiaci pochopili princíp vzniku zatmenia Slnka a oblastí plného tieňa a polotieňa. Zapamätajú si vzájomnú polohu telies pri zatmení Slnka (Slnko – Mesiac – Zem) v tomto konkrétnom poradí.

Metodické poznámky pre učiteľa

- Najväčším problémom je zabezpečenie vhodného zdroja svetla. Zdroj musí byť plošný, ideálne kruhový, s priemerom minimálne 20 cm, lepšie 30 a viac cm. Zároveň musí byť zdroj smerový, aby neožaroval okolie miestnosti, ale svietil iba na „Zem“ a „Mesiac“. Je vhodné, aby bol zdroj pomerne slabý (žiarovka 20 – 40 W pri vzdialenosti 2 – 3 metre), aby miestnosť nebola ožiarená ani svetlom odrazeným od modelov. Ideálny je reflektor s úzkym kužeľom s priemerom 30 – 40 cm. Možno použiť aj rozmernejšie stropné svietidlo na závесе (luster) obalené zo strán a zhora kužeľom nepriehľadnej látky (napr. cez luster zhora prehodená a zapnutá hrubšia bunda, mikina či sveter). Potom je samozrejme optická os experimentu orientovaná zvisle a „Zem“ leží na podlahe pod lustrom.



- Na realizáciu by bolo ideálne mať k dispozícii miestnosť s čiernymi stenami pohlcujúcimi rozptýlené a odrazené svetlo. Potom by obmedzenia kladené na svetelný zdroj nemuseli byť tak striktné. (Slnko je tiež všesmerový zdroj.) Taká miestnosť však spravidla nie je k dispozícii.
- Je vhodné model Mesiaca nedržať v ruke, ale umiestniť na tyčku (špajdľu), aby v premietanom tieni a polotieni nerušil tieň prstov ruky.
- Vhodné modely sú napríklad volejbalová lopta – Zem a tenisová loptička – Mesiac; prípadne molitanová alebo gymnastická lopta 15 cm – Zem a loptička na stolný tenis – Mesiac.
- Ak nie sú k dispozícii vhodné guľové modely telies, je možné tieň a polotieň premietiť pomocou kruhového tienidla na plochý podklad, pozri obrázok vedľa. Oblasti tieňa a polotieňa sú aj tak dobre viditeľné, ale model už čiastočne stráca dojem reálnosti.
- Najdôležitejšia je príprava vhodného zdroja svetla a dobré zatemnenie miestnosti. Odporúčame toto pripraviť a vyskúšať vopred, nenechávať na činnosti žiakov.

Vzorové riešenie:

Ide o aktivitu kvalitatívnu, nie je možné ani vhodné uvádzať vzorové riešenie. Konkrétne prevedenie závisí od dostupných možností realizátora, pozri poznámky vyššie.

Pokyny na prispôsobenie pre žiakov so ŠVVP**Žiaci s poruchami**

Aktivita je úplne bezproblémová, ak je pripravený vhodný zdroj svetla. Pre žiakov s poruchami učenia, ešte dôraznejšie než pre ostatných, odporúčame pripraviť prostredie a zdroj svetla vyučujúcim vopred.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci si naopak môžu vyskúšať prípravu zdroja svetla sami a výskumnou metódou dospieť k jeho nutným vlastnostiam – plošnosť, smerovosť, menšia intenzita. Ďalej sa môžu sami pokúsiť vhodný zdroj svetla zostrojiť.

Úloha 1: Demonštrácia zatmenia Slnka (pracovný list pre žiakov)

V zatemnenej miestnosti demonštrujte vznik zatmenia Slnka. Ako model Slnka použite slabší smerový plošný zdroj svetla. Ako modely Zeme a Mesiaca použite rôzne veľké gule (lopty), dodržte vzájomný pomer veľkostí – Mesiac má približne 3 až 4-krát menší priemer ako Zem. Osviette svetlom model Zeme, umiestnite „Mesiac“ do vhodnej vzdialenosti medzi „Slnko“ a „Zem“ a pozorujte vznik plného tieňa a polotieňa na „zemskom“ povrchu.

Riešenie:

Skontrolujte zatemnenie miestnosti a pripravte si vhodný svetelný zdroj podľa pokynov vyučujúceho.

Vyberte vhodné modely pre Zem a Mesiac, nezabudnite, že Zem má cca 3 až 4-krát väčší priemer.

model Zeme: *model Mesiaca:*

Do svetelného kužela umiestnite model Zeme, aby naň svetlo dopadalo rovnomerne.

Medzi „Slnko“ a „Zem“ umiestnite „Mesiac“ a pozorujte vznik plného tieňa a polotieňa na povrchu „Zeme“. „Mesiac“ umiestnite blízko k „Zemi“, do menej ako $\frac{1}{4}$ celkovej vzdialenosti „Slnko“ – „Zem“. Model Mesiaca upevnite na tyčku, aby pozorovanie nerušil tieň prstov alebo ruky experimentátora.

Nakreslite konkrétne prevedenie experimentu a pozorovaný tvar a veľkosť plného tieňa a polotieňa:

Úloha 2: Model zatmenia Slnka v teréne

Vytvorte model zatmenia Slnka. Ako Slnko použite gymnastickú loptu s priemerom približne 70 cm. Najprv spočítajte potrebné veľkosti telies a ich vzdialenosti, potom nájdite vhodné veľké guľôčky pre Zem a Mesiac a umiestnite ich do správnych vzdialeností. Nezabudnite na správne poradie telies.

<i>priemer Slnka</i>	<i>1 400 000 km</i>
<i>priemer Zeme</i>	<i>13 000 km</i>
<i>priemer Mesiaca</i>	<i>3 500 km</i>
<i>vzdialenosť Zeme od Slnka</i>	<i>150 000 000 km</i>
<i>vzdialenosť Mesiaca od Zeme</i>	<i>400 000 km</i>

Cieľ úlohy

Cieľom tejto aktivity je, aby si žiaci uvedomili obrovskú rozľahlosť medziplanetárneho priestoru a dokázali si predstaviť vzájomnú vzdialenosť telies vo vzťahu k ich rozmerom. Na všetkých ilustráciách a modeloch Slnčnej sústavy či zatmenia Slnka sú telesá prehnané veľké a veľmi blízko seba, model v reálnej mierke nie je viac-menej možné nakresliť. Vychádzka je vhodnou situáciou pre nápravu nevhodnej predstavy „tesnej“ Slnčnej sústavy.

Metodické poznámky pre učiteľa

- Prípravu na uvedenú aktivitu je možné vykonať s predstihom v škole na vyučovacej hodine alebo doma v priebehu prípravy na fyziku. V časti riešenia ďalej uvádzame vypočítané hodnoty pre priemer lopty 70 cm, ale je možné použiť inú loptu. Ak je rozdiel vo veľkosti do cca 10 cm, nie je nutné pomer a veľkosti prepočítavať. Na názornosti situácie sa nič nezmení. Vlastnú realizáciu je potom vhodné vykonať pri vychádzke na ihrisko, v parku alebo na lúke.
- Pozor na jednotky dĺžky. Nie je nutné prevádzať reálne dĺžky na metre, ale je nutné si uvedomiť, že všetky rozmery v modeli musia byť v rovnakých jednotkách a všetky dĺžky v reálnej situácii tiež. Vo vzorovom riešení pracujeme v reálnej situácii s kilometrami (pozri zadanie) a v modeli s metrami. Nič však nebráni previesť všetko na metre alebo naopak na kilometre a precvičiť navyše prevody dĺžkových jednotiek.
- Demonštráciu je nutné vykonať na rovnej a voľnej ploche, aby boli všetky telesá navzájom viditeľné (neboli skryté medzi stromami a pod.). Je vhodné, aby malé telesá (Zem, Mesiac) vybraní žiaci držali v ruke. Pri položení na zem sa stratia a nebudú vôbec vidieť.
- Vzdialenosť Zeme a Slnka stačí stanoviť približne krokováním, na tvorbe predstavy to nič nezmení.
- Pozor na správne poradie telies, Mesiac sa pri zatmení Slnka nachádza medzi Slnkom a Zemou.
- Nestačí vykonať samotné výpočty, samotné čísla žiakom veľa nepovedia. Demonštráciu je nutné vykonať v skutočnosti. Iba tak vznikne u žiakov správna predstava.

5. Slnčná sústava

Vzorové riešenie:

Mierka modelu je 0,7 metra ku 1 400 000 kilometrom, t. j. 0,000 000 5 m/km.

<i>priemer Slnka</i>	<i>1 400 000 km</i>	<i>0,7 m</i>
<i>priemer Zeme</i>	<i>13 000 km</i>	<i>0,006 5 m = 6,5 mm</i>
<i>priemer Mesiaca</i>	<i>3 500 km</i>	<i>0,001 75 m = 1,75 mm</i>
<i>vzdialenosť Zeme od Slnka</i>	<i>150 000 000 km</i>	<i>75 m</i>
<i>vzdialenosť Mesiaca od Zeme</i>	<i>400 000 km</i>	<i>0,2 m</i>

Pokyny na prispôsobenie pre žiakov so ŠVVP

Žiaci s poruchami

Pre žiakov s poruchami učenia môže byť ťažké vypočítať veľkosti a vzdialenosti v modeli pri pomere v rozsahu 6 až 7 rádov. Potom je možné postupovať po krokoch takto: $14 : 7 = 2$, t. j. zmenšiť veľkosť dvakrát, a potom ešte miliónkrát. Pre niektorých žiakov môže tiež byť problematická predstava, že počítame naraz s metrami a kilometrami, potom môže byť vhodné všetko previesť na metre, aj keď sa tým pomer zvýši o ďalšie 3 rády.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci môžu model prepočítať v iných pomeroch. Reálne situácie môžu zostaviť, inokedy je nutné sa uspokojiť s myšlienkovým modelom. Niektoré možné varianty:

- Navrhni opísanú situáciu tak, aby sa zmestila na dosku stola.
- Urči, aké budú veľkosti a vzdialenosti telies, ak bude Zem veľká ako futbalová lopta.
- Vypočítaj, aké by boli veľkosti a vzdialenosti telies, ak bude Slnko ako pomaranč.

Ďalšou možnosťou je rozšíriť úlohu na výpočet veľkostí a vzdialeností ostatných planét v Slnčnej sústave.

Úloha 2: Model zatmenia Slnka v teréne (pracovný list pre žiakov)

Vytvorte model zatmenia Slnka. Ako Slnko použite gymnastickú loptu s priemerom približne 70 cm. Najprv spočítajte potrebné veľkosti telies a ich vzdialenosti, potom nájdite vhodné veľké guľôčky pre Zem a Mesiac a umiestnite ich do správnych vzdialeností. Nezapadnite na správne poradie telies.

Riešenie:

Vypočítajte pomer veľkostí skutočných telies a telies v modeli.

$$1\,400\,000 / 0,7 =$$

Doplňte tabuľku veľkostí a vzdialeností telies (veľkosti skutočných telies sú v kilometroch, veľkosti v modeli v metroch):

<i>priemer Slnka</i>	<i>1 400 000 km</i>	<i>0,7 m</i>
<i>priemer Zeme</i>	<i>13 000 km</i>	
<i>priemer Mesiaca</i>	<i>3 500 km</i>	
<i>vzdialenosť Zeme od Slnka</i>	<i>150 000 000 km</i>	
<i>vzdialenosť Mesiaca od Zeme</i>	<i>400 000 km</i>	

Nájdite vhodné telesá na model Zeme a Mesiaca.

model Zeme: model Mesiaca:

Nakreslite od ruky plánik, ktorý znázorňuje celú situáciu pri pohľade zhora:

Úloha 3: Zdanlivá veľkosť Slnka a Mesiaca na oblohe – typy zatmenia Slnka

Pri pozorovaní zo Zeme má kotúč Slnka približne rovnakú veľkosť ako kotúč Mesiaca. Preto môže dochádzať k úplnému zatmeniu Slnka, pri ktorom Mesiac úplne zakryje Slnko. Rovnako môže dôjsť k prstencovému zatmeniu Slnka, pri ktorom je zdanlivá veľkosť Mesiaca menšia ako Slnko, a preto môže byť vidieť prstenec žiariaceho Slnka okolo mesačného tieňa. Ak je zdanlivá veľkosť oboch telies úplne rovnaká a mesačný kotúč ten slnečný úplne presne zakryje, nastane hybridné zatmenie Slnka. Ak mesačný kotúč zatieni len časť Slnka, nastáva čiastočné zatmenie Slnka.

Mesiac tiež neobieha okolo Zeme v rovnakej rovine ako Zem okolo Slnka (= v rovine ekliptiky). Preto nastane zatmenie Slnka len vtedy, ak sa všetky tri telesá výnimočne dostanú do rovnakej roviny. Keby obiehali v rovnakej rovine neustále, dochádzalo by k zatmeniu Slnka pri každom nove.

Skúsme zvážiť, ktoré typy zatmenia Slnka by mohli alebo nemohli nastávať, ak by veľkosť alebo vzdialenosti telies boli výrazne odlišné. (Zmeny parametrov zvažujeme tak veľké, aby kolísanie vzdialenosti pri obehu telies nemalo vplyv.)

- Slnko aj Mesiac sú rovnako veľké ako v skutočnosti, ale Mesiac obieha bližšie k Zemi. Ku ktorým typom zatmenia by mohlo dochádzať (úplné, prstencové, hybridné, čiastočné)? Boli by zatmenia Slnka častejšie alebo naopak vzácnejšie než v skutočnosti?
- Slnko aj Mesiac sú rovnako veľké ako v skutočnosti, ale Mesiac obieha ďalej od Zeme. Ku ktorým typom zatmenia by mohlo dochádzať (úplné, prstencové, hybridné, čiastočné)? Boli by zatmenia Slnka častejšie alebo naopak vzácnejšie než v skutočnosti?
- Slnko aj Mesiac sú rovnako veľké ako v skutočnosti, ale Zem obieha bližšie k Slnku. Ku ktorým typom zatmenia by mohlo dochádzať (úplné, prstencové, hybridné, čiastočné)? Boli by zatmenia Slnka častejšie alebo naopak vzácnejšie než v skutočnosti?
- Slnko aj Mesiac sú rovnako veľké ako v skutočnosti, ale Zem obieha ďalej od Slnka. Ku ktorým typom zatmenia by mohlo dochádzať (úplné, prstencové, hybridné, čiastočné)? Boli by zatmenia Slnka častejšie alebo naopak vzácnejšie než v skutočnosti?
- V skutočnosti sa Mesiac pomaly vzdaluje od Zeme. Ktorá zo situácií a) až d) toto opisuje? Aký bude postupný vývoj výskytu jednotlivých typov zatmení?

Cieľ úlohy

Cieľom tejto aktivity je vysvetliť žiakom rozdiely medzi jednotlivými typmi zatmenia Slnka – úplným, prstencovým, hybridným a čiastočným. Ďalej si vďaka tejto aktivite žiaci upevnia predstavu vzájomnej polohy telies v priebehu zatmenia. V súvislosti so správnymi odpoveďami na otázky c) a d) si ujasnia vplyv sklonu roviny obehu Mesiaca okolo Zeme voči rovine ekliptiky na frekvenciu zatmení Slnka.

Metodické poznámky pre učiteľa

- Ak by zmeny vzdialeností v jednotlivých bodoch a) až d) boli malé, mohlo by dôjsť k situácii, že by kolísanie vzdialenosti pri obehu po eliptickej trajektórii malo väčší vplyv než v úlohe zvažovaná zmena. Potom by samozrejme boli všetky úvahy oveľa zložitejšie, mohli by nastávať všetky zatmenia, len by sa zmenila početnosť ich výskytov. Preto je v zadaní všeobecne povedané, že zmeny vzdialeností sú dostatočne veľké. V prípade otázky žiaka možno spresniť: Vzdialenosť Mesiaca od Zeme kolíše pri obehu po eliptickej trajektórii o 11 %, vzdialenosť Zeme od Slnka o necelých 3,5 %. Dostatočne veľké zmeny vzdialenosti sú teda zmeny väčšie ako toto prirodzené kolísanie.
- Je možné pripraviť ďalšie sady otázok, ktoré budú variovať miesto vzdialenosti skutočnú veľkosť telies. Zaujímavá je možnosť kombinácie zmien veľkosti a vzdialenosti oboch telies, Slnka a Mesiaca. Prípadne je možné tiež diskutovať o vplyve veľkosti Zeme na početnosť zatmení.
- Je možné spomenúť, že prechod planéty cez Slnko, ku ktorému tiež niekedy dochádza, je vlastne čiastočné zatmenie Slnka touto planétou.

Vzorové riešenie:

- a) Mesiac obieha bližšie, jeho tieň má väčšiu uhlovú veľkosť ako Slnko. Môže nastať úplné zatmenie, ale nemôže nastať prstencové alebo hybridné zatmenie. Pretože tieň je väčší, budú zatmenia nastávať častejšie. (Sklon roviny obehu Mesiaca okolo Zeme voči rovine ekliptiky zostáva rovnaký, uhlová veľkosť Slnka zostáva rovnaká, uhlová veľkosť Mesiaca je väčšia.)
- b) Mesiac obieha ďalej, jeho tieň má menšiu uhlovú veľkosť ako Slnko. Nemôže nastať úplné ani hybridné zatmenie, len prstencové. Pretože je tieň menší, budú zatmenia nastávať menej často. (Sklon roviny obehu Mesiaca okolo Zeme voči rovine ekliptiky zostáva rovnaký, uhlová veľkosť Slnka zostáva rovnaká, uhlová veľkosť Mesiaca je menšia.)
- c) Slnko je bližšie k Zemi, jeho uhlová veľkosť na oblohe je väčšia ako Mesiaca. Nemôže nastať úplné ani hybridné zatmenie, len prstencové. Pretože má Slnko väčšiu uhlovú veľkosť a Mesiac sa pohybuje stále v rovnakom páse vymedzenom sklonom jeho roviny obehu voči rovine ekliptiky, je pravdepodobnosť, že sa Mesiac dostane pred Slnko väčšia a zatmenia by boli častejšie. V tomto sa úvaha zásadne líši od bodu b), hoci prvý dojem vedie k záveru, že situácie b) a c) sú vo výsledku identické.
- d) Slnko je ďalej od Zeme, jeho uhlová veľkosť na oblohe je menšia než Mesiaca. Môže nastať úplné zatmenie, ale nemôže nastať prstencové alebo hybridné zatmenie. Zatmenia budú menej časté. Pretože má Slnko menšiu uhlovú veľkosť a Mesiac sa pohybuje stále v rovnakom páse vymedzenom sklonom jeho roviny obehu voči rovine ekliptiky, je pravdepodobnosť, že sa Mesiac dostane pred Slnko menšia a zatmenia by boli častejšie. V tomto sa úvaha zásadne líši od bodu a), hoci prvý dojem vedie k záveru, že situácie a) a d) sú vo výsledku identické.
- e) V budúcnosti postupne dôjde k situácii opísanej v bode b). Postupne budú ubúdať najmä úplné zatmenia až prestanú existovať úplne. Hybridné zatmenia budú vzácnejšie, v limitnom prípade budú môcť nastať iba vtedy, ak budú telesá úplne presne v jednej priamke. Prstencové zatmenia budú nastávať stále, ale tvar prstenca bude môcť byť postupne výraznejšie asymetrický.

Pokyny na prispôsobenie pre žiakov so ŠVVP**Žiaci s poruchami**

Pre žiakov s poruchami učenia odporúčame využiť prednostne otázky, ktoré vyplývajú zo zmeny veľkosti Slnka a Mesiaca, nie zo zmeny vzdialenosti. Tento predpoklad je názornejší a ľahšie uchopiteľný. Problematická môže byť úvaha o zmene početnosti zatmení v bodoch c) a d).

Nadaní žiaci

Pre nadaných žiakov sú vhodné ťažšie a zaujímavejšie varianty otázok spomínané v predposlednom bode metodických poznámok. Je možné v otázke predpokladať súčasnú zmenu vzdialenosti aj veľkosti. Tieto zmeny môžu byť v zhode alebo pôsobiť proti sebe. Tým môže nastať veľké množstvo variantov vedúcich k podnetnej debate. Veľmi zaujímavá môže byť debata o vplyve veľkosti Zeme na početnosť zatmení Slnka.

Úloha 3: Zdanlivá veľkosť Slnka a Mesiaca na oblohe – typy zatmenia Slnka (pracovný list pre žiakov)

Pri pozorovaní zo Zeme má kotúč Slnka približne rovnakú veľkosť ako kotúč Mesiaca. Preto môže dochádzať k úplnému zatmeniu Slnka, pri ktorom Mesiac úplne zakryje Slnko. Rovnako môže dôjsť k prstencovému zatmeniu Slnka, pri ktorom je zdanlivá veľkosť Mesiaca menšia ako Slnko, a preto môže byť vidieť prstenec žiariaceho Slnka okolo mesačného tieňa. Ak je zdanlivá veľkosť oboch telies úplne rovnaká a mesačný kotúč ten slnečný úplne presne zakryje, nastane hybridné zatmenie Slnka. Ak mesačný kotúč zatieni len časť Slnka, nastáva čiastočné zatmenie Slnka.

Mesiac tiež neobieha okolo Zeme v rovnakej rovine ako Zem okolo Slnka (= v rovine ekliptiky). Preto nastane zatmenie Slnka len vtedy, ak sa všetky tri telesá výnimočne dostanú do rovnakej roviny. Keby obiehali v rovnakej rovine neustále, dochádzalo by k zatmeniu Slnka pri každom nove.

Skúsme zväziť, ktoré typy zatmenia Slnka by mohli alebo nemohli nastávať, ak by veľkosť alebo vzdialenosti telies boli výrazne odlišné. (Zmeny parametrov zvažujeme tak veľké, aby kolísanie vzdialenosti pri obehu telies nemalo vplyv.)

Riešenie:

**Odpovedzte na nasledujúce otázky, odpoveď môžete zdôvodniť vysvetľujúcim nákre-
som:**

- a) Slnko aj Mesiac sú rovnako veľké ako v skutočnosti, ale Mesiac obieha bližšie k Zemi. Ku ktorým typom zatmenia by mohlo dochádzať (úplné, prstencové, hybridné, čiastočné)? Boli by zatmenia Slnka častejšie alebo naopak vzácnejšie než v skutočnosti?
- b) Slnko aj Mesiac sú rovnako veľké ako v skutočnosti, ale Mesiac obieha ďalej od Zeme. Ku ktorým typom zatmenia by mohlo dochádzať (úplné, prstencové, hybridné, čiastočné)? Boli by zatmenia Slnka častejšie alebo naopak vzácnejšie než v skutočnosti?

5. Slnčná sústava

- c) Slnko aj Mesiac sú rovnako veľké ako v skutočnosti, ale Zem obieha bližšie k Slnku. Ku ktorým typom zatmenia by mohlo dochádzať (úplné, prstencové, hybridné, čiastočné)? Boli by zatmenia Slnka častejšie alebo naopak vzácnejšie než v skutočnosti?
- d) Slnko aj Mesiac sú rovnako veľké ako v skutočnosti, ale Zem obieha ďalej od Slnka. Ku ktorým typom zatmenia by mohlo dochádzať (úplné, prstencové, hybridné, čiastočné)? Boli by zatmenia Slnka častejšie alebo naopak vzácnejšie než v skutočnosti?
- e) V skutočnosti sa Mesiac pomaly vzdaluje od Zeme. Ktorá zo situácií a) až d) toto opisuje? Aký bude postupný vývoj výskytu jednotlivých typov zatmení?

Úloha 4: Pozorovanie úplného zatmenia Slnka z iných planét

Rozhodnite, či je možné pozorovať úplné zatmenie Slnka tiež z iných planét našej Slnčnej sústavy. Potrebne údaje o planétach a ich mesiacoch zistíte na internete. Odporúčané zdroje: <http://astronomia.zcu.cz> alebo <https://cs.wikipedia.org>.

Cieľ úlohy

Cieľom tejto aktivity je prehĺbiť predstavu mechanizmu vzniku zatmenia Slnka a zdôrazniť ako nutnú podmienku pre vznik úplného zatmenia existenciu iného telesa s rovnakou alebo väčšou uhlovou veľkosťou, ktoré môže Slnko úplne zakryť. Ďalej je cieľom tejto aktivity pripomenúť ďalšie informácie o zložení Slnčnej sústavy, o planétach, ich mesiacoch a vzdialenostiach medzi nimi.

Metodické poznámky pre učiteľa

- Na úspešnú realizáciu tejto aktivity musia mať žiaci osvojené základné poznatky o planétach v Slnčnej sústave a ich mesiacoch. Prípadne musia byť schopní si potrebné informácie dohľadať samostatne na internete.
- Niektoré situácie je možné riešiť jednoznačne iba na základe kvalitatívnej úvahy, iné je nutné dopočítať aj kvantitatívne = porovnať uhlovú veľkosť Slnka a telesa, ktoré by prípadne mohlo slnečný kotúč zakryť.
- Nie je nutné zvažovať sklon trajektórie zakrývajúceho telesa voči rovine ekliptiky. Ten má vplyv len na početnosť zatmení.
- Je vhodné žiakom spomenúť, že pri vzdialených planétach síce dochádza k úplnému zatmeniu Slnka, ale vzhľadom na to, že vo vzdialenosti, v akej sa tieto planéty pohybujú, je slnečný svit výrazne slabší ako na Zemi, nebude na týchto planétach zatmenie Slnka tak fascinujúce ako na našej planéte.
- Pri každej planéte ďalej uvádzame, či je úvaha triviálna, štandardná alebo vhodná len pre nadaných žiakov. Podľa toho je možné vyberať len niektoré planéty.

Vzorové riešenie:

Merkúr: Planéta nemá mesiac a je najbližšie k Slnku. Neexistuje žiadne teleso, ktoré by mohlo spôsobiť úplné zatmenie Slnka pozorovateľné z povrchu Merkúru. NIE (triviálne)

Venuša: Planéta nemá mesiac. Jediné teleso, ktoré sa môže nachádzať medzi Venušou a Slnkom je Merkúr. Pri pozorovaní z Venuše je uhlová veľkosť Merkúru celkom iste menšia ako uhlová veľkosť Slnka. (Overenie výpočtom – priemer Slnka: $1,4 \cdot 10^6$ km, vzdialenosť Slnka: $108 \cdot 10^6$ km, uhlová veľkosť 0,013 rad; priemer Merkúru: $5 \cdot 10^3$ km, minimálna vzdialenosť Merkúru: $50 \cdot 10^6$ km (rozdiel poloos), uhlová veľkosť 0,000 1 rad -> Slnko nezakryje.) Neexistuje žiadne teleso, ktoré by mohlo spôsobiť úplné zatmenie Slnka pozorovateľné z povrchu Venuše. NIE (štandardné)

Mars: Planéta má dva miniatúrne mesiace – Phobos a Deimos, ďalej je nutné zvážiť zakryt Slnka Zemou. Predpoklad je, že ani jedno teleso nie je dostatočne veľké, aby spôsobilo na povrchu Marsu úplné zatmenie Slnka. Ak Slnko nezakryje Zem, nie je už nutné zva-

5. Slnčná sústava

žovať vnútorné planéty Venušu a Merkúr, pretože sú menšie a ďalej. (Overenie výpočtom – priemer Slnka: $1,4 \cdot 10^6$ km, vzdialenosť Slnka $228 \cdot 10^6$ km, uhlová veľkosť 0,0061 rad; priemer Phobos 10 km, vzdialenosť od povrchu Marsu 6 000 km (polomer obežnej dráhy mínus polomer Marsu), uhlová veľkosť 0,0017 rad -> Slnko nezakryje; Deimos je menší a je ďalej -> tiež nezakryje; priemer Zeme 13 000 km, minimálna vzdialenosť od Marsu $54,5 \cdot 10^6$ km, uhlová veľkosť 0,00024 rad -> Slnko nezakryje.) Neexistuje žiadne teleso, ktoré by mohlo spôsobiť úplné zatmenie Slnka pozorovateľné z povrchu Marsu. NIE (náročnejšie)

Jupiter: Planéta má veľa veľkých mesiacov a je ďaleko od Slnka, ktoré sa javí už veľmi malé. Môžu nastávať úplné zákryty Slnka mesiacmi Jupitera. (Overenie výpočtom pre vnútorný mesiac Io – priemer Slnka: $1,4 \cdot 10^6$ km, vzdialenosť Slnka $779 \cdot 10^6$ km, uhlová veľkosť 0,0018 rad; priemer Io 3 600 km, vzdialenosť od povrchu Jupitera 352 000 km (polomer obežnej dráhy mínus polomer Jupitera), uhlová veľkosť 0,01 rad -> Slnko zakryje.) Na povrchu Jupitera môže nastať úplné zatmenie Slnka. ÁNO (štandardné)

Saturn: Planéta má veľa veľkých mesiacov a je ďaleko od Slnka, ktoré sa javí už veľmi malé. Môžu nastávať úplné zákryty Slnka mesiacmi Saturna. (Overenie výpočtom pre najväčší mesiac Titan – priemer Slnka: $1,4 \cdot 10^6$ km, vzdialenosť Slnka $1,43 \cdot 10^9$ km, uhlová veľkosť 0,00098 rad; priemer Titan 5 100 km, vzdialenosť od povrchu Saturna $1,16 \cdot 10^6$ km (polomer obežnej dráhy mínus polomer Saturna), uhlová veľkosť 0,0044 rad -> Slnko zakryje.) Na povrchu Saturna môže nastať úplné zatmenie Slnka. ÁNO (štandardné)

Urán: Je násobne ďalej od Slnka ako Saturn a má veľké mesiace v malej vzdialenosti. Uhlová veľkosť mesiacov je väčšia ako uhlová veľkosť Slnka. (Je možné doplniť výpočtom, pozri vyššie.) Na povrchu Uránu môže nastať úplné zatmenie Slnka. ÁNO (triviálne z predchádzajúcich)

Neptún: Je ešte ďalej od Slnka ako Urán a má veľký mesiac Triton v malej vzdialenosti. Uhlová veľkosť Tritona je väčšia ako uhlová veľkosť Slnka. (Je možné doplniť výpočtom, pozri vyššie.) Na povrchu Tritona môže nastať úplné zatmenie Slnka. ÁNO (triviálne z predchádzajúcich)

Pokyny na prispôbenie pre žiakov so ŠVVP

Žiaci s poruchami

Pre žiakov s poruchami učenia je možné sa obmedziť len na vnútorné planéty Merkúr a Venušu, pri ktorých je situácia pomerne jednoduchá. Ďalej je možné im oznámiť výsledok pre Jupiter a Saturn a nechať ich porovnaním odvodiť závery pre Urán a Neptún, ktoré majú porovnateľne veľké a od planéty vzdialené mesiace a sú ešte ďalej od Slnka.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci môžu vyriešiť situáciu pre všetky planéty Slnčnej sústavy. Okrem toho môžu porovnávať uhlové vzdialenosti jednotlivých mesiacov danej planéty, na základe úlohy: „Usporiadaj mesiace danej planéty podľa ich uhlovej (zdanlivej) veľkosti.“ Zaujímavá je tiež otázka, či je pozorovateľné úplné zatmenie Slnka z povrchu Mesiaca.

Úloha 4: Pozorovanie úplného zatmenia Slnka z iných planét (pracovný list pre žiakov)

Rozhodnite, či je možné pozorovať úplné zatmenie Slnka tiež z iných planét našej Slnčnej sústavy. Potrebné údaje o planétach a ich mesiacoch zistíte na internete. Odporúčané zdroje: <http://astronomia.zcu.cz> alebo <https://cs.wikipedia.org>.

Riešenie:

Najprv zvážte, či existuje nejaké teleso, ktoré môže Slnko úplne zakryť. Ak áno, rozhodnite o jeho uhlovej veľkosti buď porovnaním s inými telesami, alebo výpočtom. Porovnaním s uhlovou veľkosťou Slnka pri pozorovaní z daného miesta rozhodnite o možnosti úplného zatmenia Slnka.

Merkúr

Zoznam telies, ktoré môžu zakryť Slnko:

Porovnanie uhlových veľkostí (porovnanie/výpočty):

Môže na Merkúre nastať úplné zatmenie Slnka? ÁNO × NIE

Venuša

Zoznam telies, ktoré môžu zakryť Slnko:

Porovnanie uhlových veľkostí (porovnanie/výpočty):

Môže na Venuši nastať úplné zatmenie Slnka? ÁNO × NIE

5. Slnčná sústava

Mars

Zoznam telies, ktoré môžu zakryť Slnko:

Porovnanie uhlových veľkostí (porovnanie/výpočty):

Môže na Marse nastať úplné zatmenie Slnka? ÁNO × NIE

Jupiter

Zoznam telies, ktoré môžu zakryť Slnko:

Porovnanie uhlových veľkostí (porovnanie/výpočty):

Môže na Jupiteri nastať úplné zatmenie Slnka? ÁNO × NIE

Saturn

Zoznam telies, ktoré môžu zakryť Slnko:

Porovnanie uhlových veľkostí (porovnanie/výpočty):

Môže na Saturne nastať úplné zatmenie Slnka? ÁNO × NIE

Urán

Zoznam telies, ktoré môžu zakryť Slnko:

Porovnanie uhlových veľkostí (porovnanie/výpočty):

Môže na Uráne nastať úplné zatmenie Slnka? ÁNO × NIE

Neptún

Zoznam telies, ktoré môžu zakryť Slnko:

Porovnanie uhlových veľkostí (porovnanie/výpočty):

Môže na Neptúne nastať úplné zatmenie Slnka? ÁNO × NIE

Úloha 5: Najbližšie zatmenia Slnka

Na základe informácií nájdených na internete zostavte zoznam nadchádzajúcich zatmení Slnka do roku 2025. Pri každom zatmení uveďte, kedy nastane, o aký typ zatmenia pôjde a z ktorého územia bude pozorovateľné. Pokúste sa na mape nájsť, ktorými štátmi bude prechádzať pás totality. Odporúčame využiť webové stránky NASA: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>.

S využitím týchto alebo aj ďalších webových stránok sa pokúste dohľadať, kedy bude viditeľné úplné zatmenie Slnka z územia Slovenskej republiky a kadiaľ približne povedie pás totality. To isté môžete vykonať aj pre najbližšie úplné zatmenie pozorovateľné z územia Bratislavy.

Cieľ aktivity

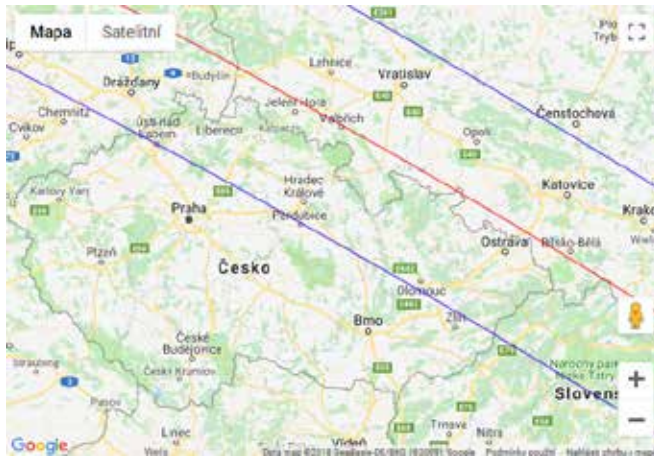
Cieľom tejto aktivity je, aby sa žiaci naučili vyhľadávať samostatne informácie na internete a aby si vytvorili predstavu o frekvencii javu zatmenia Slnka a o území, ktoré konkrétne úplné/prstencové zatmenie Slnka zasiahne (veľkosť pásu totality/annularity).

5. Slnecná sústava
Metodické poznámky pre učiteľa

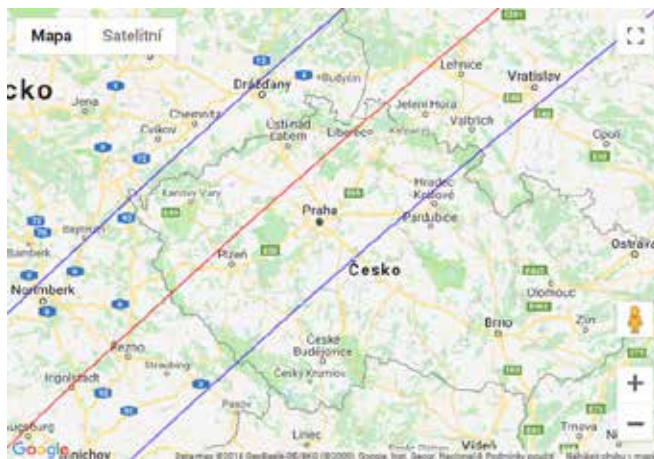
- Všetky potrebné informácie na splnenie úlohy je možné zistiť na uvedených webových stránkach NASA <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>. Údaje pre svetové zatmenia na najbližšie roky sú priamo v tabuľke, z ktorej vedú odkazy na mapy. Na hľadanie zatmení na území SR je vhodné použiť sekciu „Five Millennium Catalog of Solar Eclipses“ a v nej hľadať podľa zemepisných súradníc. Informáciu o dátume najbližšieho zatmenia v SR možno však nájsť aj na mnohých iných webových stránkach a tu dohľadať len priebeh pásu totality. Na hľadanie zatmení v Bratislave je účelné použiť skript „Javascript Solar Eclipse Explorer“ <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/JSEX/JSEX-EU.html>. Túto informáciu sa nám na inom webe nájsť nepodarilo.
- Uvedený web je samozrejme v anglickom jazyku. Domnievame sa však, že použitá slovná zásoba je tak obmedzená, že by to nemal byť problém.

Vzorové riešenie:

6. 1. 2019	čiasť	severovýchodná Ázia, severný Tichý oceán
2. 7. 2019	úplné	južný Tichý oceán, Chile, Argentína
26. 12. 2019	prstencové	Saudská Arábia, India, Sumatra, Borneo
21. 6. 2020	prstencové	stredná Afrika (Demokratická republika Kongo, Južný Sudán, Etiópia, Eritrea), južná a východná Ázia (Jemen, Saudská Arábia, Omán, Pakistan, India, Čína, Taiwan), Tichý oceán
14. 12. 2020	úplné	južný Tichý oceán, Chile, Argentína, južný Atlantický oceán
10. 6. 2021	prstencové	severná Kanada, Grónsko, východ Ruska
4. 12. 2021	úplné	Antarktída
30. 4. 2022	čiasť	juhovýchodný Tichý oceán, juh Južnej Ameriky
25. 10. 2022	čiasť	Európa, severovýchodná Afrika, Stredný Východ, západná Ázia
20. 4. 2023	hybridné	Indonézia, Austrália, Papua Nová Guinea
14. 10. 2023	prstencové	západ USA, Stredná Amerika (Mexiko, Guatemala, Honduras, Nikaragua, Kostarika, Panama), Kolumbia, Brazília
8. 4. 2024	úplné	Mexiko, stred USA, východná Kanada
2. 10. 2024	prstencové	južné Chile, južná Argentína
29. 3. 2025	čiasť	severozápadná Afrika, Európa, severné Rusko
21. 9. 2025	čiasť	južný Tichý oceán, Nový Zéland, Antarktída



Budúce úplné zatmenie Slnka viditeľné z územia Českej republiky nastane 7. októbra 2135. Pás totality zasiahne severnú a severovýchodnú časť republiky a povedie severne od miest Ústí nad Labem, Pardubice a Olomouc, pozri obrázok.



Budúce úplné zatmenie Slnka viditeľné z územia Prahy nastane až 20. apríla 2433. Pás totality zasiahne západnú, strednú a severnú časť republiky a povedie severne od Strakoníc, Kolína a Broumova, pozri obrázok.

Pokyny na prispôsobenie pre žiakov so ŠVVP**Žiaci s poruchami**

Žiaci s poruchami učenia by mali zvládnuť bez problémov prvú časť úlohy, t. j. dohľadanie zatmenia pre najbližšie obdobie do roku 2025. Ďalšie úlohy – dohľadať zatmenie na území SR a Bratislavy pre nich môžu byť už ťažké.

Nadaní žiaci

Nadaní žiaci môžu na stránkach NASA dohľadať aj ďalšie súvisiace údaje o jednotlivých zatmeniach, napr. dĺžku trvania úplného/prstencového zatmenia, čas začiatku a konca zatmenia a ďalšie. Tiež môžu informácie o páse totality udávať nielen ako výpočet štátov, cez ktoré vedie, ale pomocou zemepisných súradníc a informácie o šírke pásu totality. Ďalšou možnosťou je dohľadať najbližšie úplné zatmenie v Európe a zistiť o ňom všetky dostupné podrobnosti (Španielsko, 12. augusta 2026 v podvečer, maximálna doba trvania 1 min 50 s, šírka pásu totality až 280 km).

5. Slnčná sústava

Najbližšie úplné (prstencové) zatmenie na území Slovenskej republiky:

dátum:

priebeh pásu totality:

.....

nákres/mapka:

Najbližšie úplné (prstencové) zatmenie na území Bratislavy:

dátum:

priebeh pásu totality:

.....

nákres/mapka:

VZDIALENOSTI A VEĽKOSTI

1. ÚVOD

V tomto texte predstavíme tzv. aspekty, význačné polohy planét v Slniečnej sústave z pohľadu Zeme. Postupne vysvetlíme pojmy: konjunkcia, opozícia, elongácia, kvadratura a pozrieme sa, ako možno určiť vzdialenosť planéty, umiestnenej v niektorom z týchto význačných bodov od Zeme.

Ďalej vysvetlíme, ako je definovaná uhlová veľkosť telesa a ako nám jej znalosť, spoločne so znalosťou vzdialenosti telesa, pomôže určiť skutočné rozmery telesa. Na to sme všeobecne nútení pracovať s goniometrickými funkciami. Vysvetlíme si však, prečo v prípadoch, keď sa telesá nachádzajú od pozorovateľa vo veľkej vzdialenosti, môžeme od goniometrických funkcií odhliadnuť a výpočet si zjednodušiť. Za týmto účelom prirodzene zavedieme veľmi užitočné uhlové jednotky, tzv. radiány.

1.1 Kľúčové slová

konjunkcia

opozícia

elongácia

kvadratura

uhlová veľkosť

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

Typické vzdialenosti v Slnčnej sústave Stredná vzdialenosť Zem – Slnko je $1 \text{ au} \doteq 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$, polomer Zeme je $1 \text{ au} \doteq 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$, polomer Zeme je $R_{\oplus} = 6378 \text{ km}$. V Tab. 1 sú zaznamenané stredné vzdialenosti planét od Slnka a ich polomery v násobkoch polomerov Zeme. Pre porovnanie uvádzame aj polomer Slnka. Rozmery Slnka sa zdajú byť obrovské v porovnaní s ostatnými planétami, je ale zaujímavé prepočítať polomer Slnka do astronomických jednotiek: $1 \text{ au} \doteq 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$, polomer Zeme je $R_{\oplus} = 6378 \text{ km}$. V Tab. 1 sú zaznamenané stredné vzdialenosti planét od Slnka a ich polomery v násobkoch polomerov Zeme. Pre porovnanie uvádzame aj polomer Slnka. Rozmery Slnka sa zdajú byť obrovské v porovnaní s ostatnými planétami, je ale zaujímavé prepočítať polomer Slnka do astronomických jednotiek: $R_{\odot} = 0,0047 \text{ au}$. Z toho je vidieť, že planéty ani Slnko mnoho priestoru Slnčnej sústavy nezaberajú.

Tab. 1: Stredné vzdialenosti planét v Slnčnej sústave a polomery planét a Slnka

Teleso	Vzdialenosť od Slnka [au]	R/R_{\oplus}
Slnko	0	109
Merkúr	0,39	0,38
Venuša	0,72	0,95
Zem	1,00	1,00
Mars	1,52	0,53
Jupiter	5,20	11,2
Saturn	9,54	9,45
Urán	19,2	4,01
Neptún	30,07	3,88

2.1 Aspekty planét

Z pohľadu Zeme rozlišujeme niekoľko význačných polôh planét, tzv. **aspektov**, ktoré sú schematicky zakreslené na Obr.19 a ich popis je uvedený nižšie.

1. Konjunkcia

Pri vnútorných planétach (Merkúr, Venuša) rozoznávame **hornú a dolnú konjunkciu**. Horná konjunkcia je okamih, kedy sa planéta nachádza na opačnej strane od Slnka (Slnko je medzi Zemou a vnútornou planétou). Dolná konjunkcia nastáva, ak je planéta medzi Zemou a Slnkom. Vonkajšia planéta (Mars, Jupiter, Saturn, Urán, Neptún) sa môže nachádzať iba v hornej konjunkcii.

Ak je planéta v konjunkcii, vychádza a zapadá spoločne so Slnkom, nachádza sa na dennej oblohe a nie je pre nás pozorovateľná.

1) Je potrebné dodať, že planéta sa v skutočnosti nenachádza na rovnakej priamke ako Zem a Slnko. Dôvodom sú rôzne obežné roviny planét (žiadne dve planéty Slnčnej sústavy nemajú spoločnú obežnú rovinu). Planéta sa teda nachádza na „opačnej strane“ v najlepšíom slova zmysle.

2. Opozícia

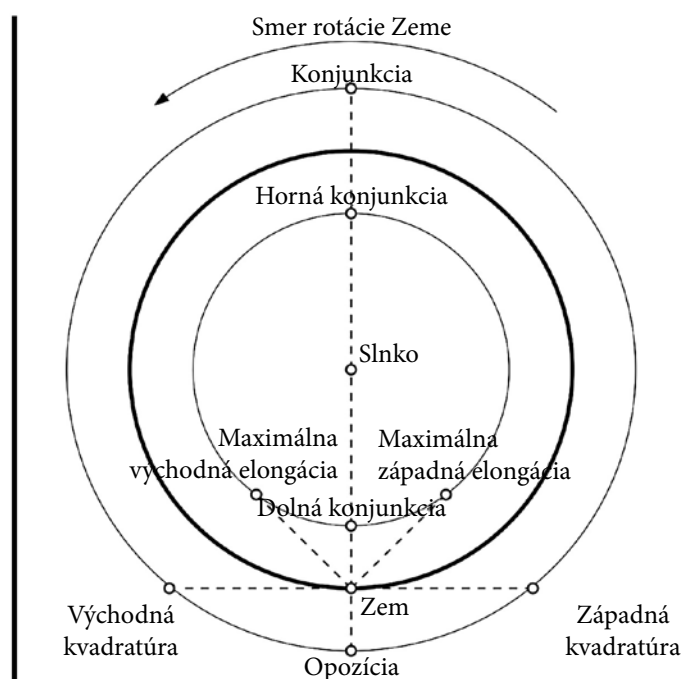
Okamih, kedy je vonkajšia planéta k Zemi najbližšie, resp. Zem je medzi planétou a Slnkom, sa nazýva **opozícia**. V čase opozície sú najpriaznivejšie podmienky pre pozorovanie planéty, pretože planéta vychádza pri západe slnka a zapadá pri východe Slnka (je tak pozorovateľná po celú noc) a planéta sa javí v ďalekohľade najväčšia (t. j. má najväčšiu uhlovú veľkosť)

3. Elongácia

Elongácia je uhlová vzdialenosť medzi vnútornou planétou a Slnkom. Pri **západnej elongácii** planéta vychádza aj zapadá skôr ako Slnko. Pri **východnej elongácii** vychádza aj zapadá Slnko skôr ako planéta. Najväčšia uhlová vzdialenosť planéty od Slnka sa nazýva **maximálna elongácia**². Maximálna elongácia Merkúru je 23°, Venuše 47°.

4. Kvadratura

Kvadratura je okamih, kedy uhol Slnko – Zem – vonkajšia planéta je pravý. V kvadratúre sa môžu nachádzať iba vonkajšie planéty.



Obrázok 19: Schéma možných konfigurácií planét

Je prirodzené, že ak sa objekty od nás nachádzajú vo veľkej vzdialenosti, zdajú sa nám byť menšie, než keby sa nachádzali v našej tesnej blízkosti. Napriek tomu sa ich fyzické rozmery nemenia. Aby sme boli schopní túto skutočnosť kvalitatívne popísať, zavádzame **veľčinu uhlovej veľkosti** θ , ktorej význam vystihuje Obr. 20. Obrázok nám poskytuje jasnú predstavu, ako sa má uhlová veľkosť počítať:

Uhlové veľkosti objektov

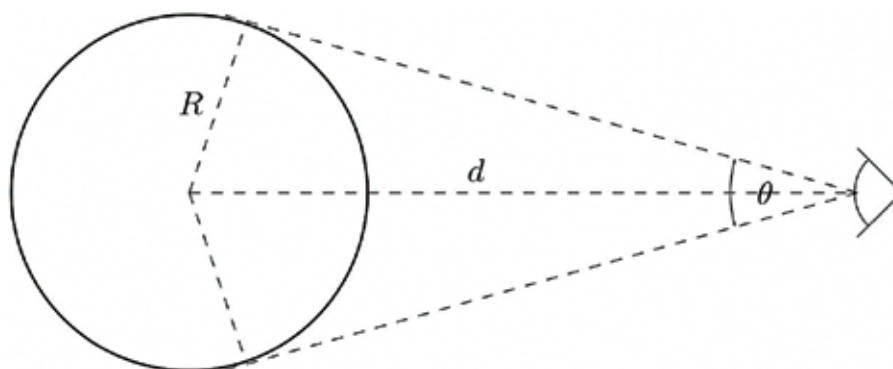
2) Pri všetkých vonkajších planétach by bola maximálna elongácia 180°, preto nemá zmysel.

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{R}{d}$$

Uhol θ potom dostaneme ako: $\theta = 2 \cdot \arctg \frac{R}{d}$. Iba pre predstavu, pre Slnko s polomerom

$R_{\odot} \doteq 6,955 \cdot 10^5$ km, vo vzdialenosti $d_{\odot} \doteq 1,496 \cdot 10^8$ km vychádza uhlová veľkosť $\theta_{\odot} \doteq 32'$. Nemôžeme sa asi čudovať, že uhlové veľkosti planét v Slnčnej sústave potom vychádzajú v ráde jednotiek až desiatok uhlových sekúnd.

Ďalej si ukážeme, ako zjednodušiť vzťah pre výpočet uhlovej veľkosti, ak je malá. Na to bude potrebné zaviesť „nové“ jednotky rovinného uhla, tzv. radiány.



Obrázok 20: K definícii uhlovej veľkosti

Radiány Radiány sú najprirodzenejšie definované jednotky rovinného uhla. Predstavme si sústredné kružnice ako na Obr. 21. Uhol θ je definovaný ako podiel dĺžky zodpovedajúceho oblúka a polomeru kružnice. Z Obr. 21 je vidieť, že uhol nezávisí od konkrétnej dĺžky oblúka alebo polomeru: θ je definovaný ako podiel dĺžky zodpovedajúceho oblúka a polomeru kružnice. Z Obr. 21 je vidieť, že uhol nezávisí od konkrétnej dĺžky oblúka alebo polomeru:

$$\theta = \frac{\Delta s_1}{R_1} = \frac{\Delta s_2}{R_2} = \frac{\Delta s_3}{R_3}, \text{ iba od ich pomeru, čo je prirodzené a správne. Už vieme, ako možno}$$

definovať uhol, stále ale ešte nevieme, čo je to „radián“.

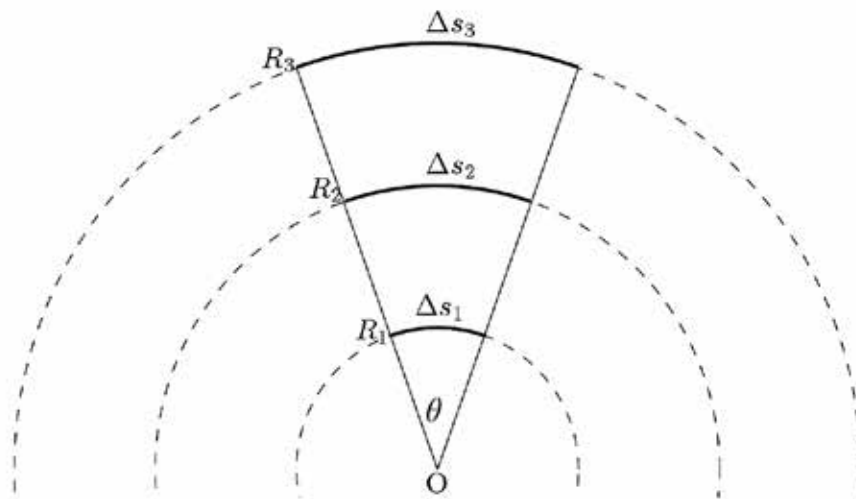
Z toho, ako sme definovali uhol (dĺžka oblúka delená polomerom) by sa zdalo, že uhol nemá rozmer, resp. jednotkou uhla je „jednotka“. A presne tomu sa hovorí radián! Tiež by sme pre rozmer uhla mohli písať: $[\theta_{\text{rad}}] = 1 = \text{rad}$. Bezrozmerných veličín existuje nemalé množstvo. Tým, že budeme k číslam písať „rad“ upozorňujeme na to, že číslo zodpovedá veľkosti uhla.

Pretože polomer kružnice je $s = 2\pi R$, je plný uhol $2\pi R/R = 2\pi = 360^\circ$. Samozrejme, $0 \text{ rad} = 0^\circ$.

Predposledná rovnosť dáva prevodný vzťah medzi radiánmi a stupňami: $\theta_{\text{rad}} = \frac{2\pi}{360^\circ} \theta_{\text{stup}}$,

resp. $\theta_{\text{stup}} = \frac{2\pi}{360^\circ} \theta_{\text{rad}}$.

Ďalej si uvedomme, že čím bude uhol θ menší, tým viac bude oblúk (od dĺžky θ menší, tým viac bude oblúk (od dĺžky Δs) podobný úsečke. To využijeme v ďalšom odseku.



Obrázok 21: K zavedeniu radiánov

Teraz si predstavme, že by rozmer guľového objektu bol výrazne menší ako jeho vzdialenosť od nás. Ako sme naznačili vyššie, pre veľké vzdialenosti možno (dostatočne malú) dĺžku oblúka dobre odhadnúť úsečkou a naopak. V takom prípade je možné pre uhlovú veľkosť objektu (v radiánoch) písať:

$$\theta \doteq \frac{2R}{d}$$

Samozrejme, vzťah musí dávať pre malé uhlové veľkosti, pre ktoré je odvodený, rovnaké výsledky ako pre predtým odvodený vzťah, teda $\frac{R}{d} = \text{tg} \frac{\theta}{2} \frac{R}{d} = \text{tg} \frac{\theta}{2} \doteq \frac{\theta}{2}$, pričom uhol θ sa počíta v radiánoch (kalkulačka dokáže počítať tangens v stupňoch aj v radiánoch).

Zdroje a odporúčaná literatúra

[1] MIKULČÁK J., MACHÁČEK M., ZEMÁNEK F.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro SŠ*, Prometheus, Praha, 2003

[2] ŠIROKÝ J., ŠIROKÁ M.: *Základy astronomie v příkladech*, SPN, Praha, 1966, online odkaz: <http://physics.ujep.cz/~zmoravec/astronomie/siroky/siroky.html>, cit. 8.7.2018

**Uhlová veľkosť
druhýkrát**

3. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽA

Názov úlohy	Predpokladaná doba trvania	Náročnosť úlohy	Vek, pre ktorý je úloha vhodná	Pomôcky a použitý materiál	Cieľ úlohy
Úloha 1: Radiány alebo stupne?	12 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	prevod stupňov na radiány a naopak, výpočet uhlových veľkostí
Úloha 2: Mars v opozícii a kvadrature	5 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	aspekty, Pytagorova veta, goniometrické funkcie
Úloha 3: Meriame Merkúr a Venušu	8 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	goniometrické funkcie, 3. KZ, synodická doba
Úloha 4: „Merkuan“	5 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	elipsa, uhlová veľkosť
Úloha 5: Zem z Marsu	5 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	goniometrické funkcie, 3. KZ
Úloha 6: Aký veľký je Mesiac?	12 minút	komplexnejšia úloha	12 rokov a viac	kalkulátor	goniometrické funkcie, 3. KZ, uhlová veľkosť
Úloha 7: Mesiac druhýkrát	8 minút	mierne náročnejšia na operácie	12 rokov a viac	kalkulátor	elipsa, uhlová veľkosť
Úloha 8: Parametre trajektórie planét	8 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	3. KZ, synodická doba, uhlová veľkosť
Úloha 9: Ako z inej planéty	5 minút	štandardná	12 rokov a viac	kalkulátor	synodická doba
Úloha 10: Nohami pevne na Zemi...	5 minút	práca s grafom, zložitejšie úkony	12 rokov a viac	kalkulátor	práca s grafom, práca s uhlovými vzdialenosťami 3. KZ
Úloha 11: Grék, aká veľká je Zem?	8 minút	žiak sa musí sám zorientovať v zadaní a pochopiť situáciu	12 rokov a viac	kalkulátor, rysovacie potreby	geometria
Úloha 12: Mesiac v akcii po tretie?	12 minút	práca s grafom, zložitejšie úkony	12 rokov a viac	kalkulátor, meracie pomôcky	geometria

Pokyny pre učiteľa – žiaci so ŠVVP, nadaní žiaci:

1. Žiakom sa ŠVVP pridať 50 % času navyše.
2. Nadaní žiaci môžu samostatne vypracovať všetky úlohy, pedagóg sa im venuje individuálne. Ak žiak prejavil záujem o túto tému, možno ho s ďalšou teóriou a príkladmi odkázať na [2].

Úloha 1: Radiány, alebo stupne?

- a) Prepočítajte stupne na radiány:
1°, 5°, 30°, 60°, 180°, 270°.
- b) Prepočítajte radiány na stupne: $2,91 \cdot 10^{-4}$ rad; $\pi/360$ rad, 1 rad, $\pi/2$ rad, $1,5 \pi$ rad, 2π rad.
- c) Pre nasledujúce hodnoty uhlov v stupňoch vykonajte:
- c1) prepočet zo stupňov na radiány,
 - c2) výpočet tangens daného uhla θ , tzn. spočítajte $\text{tg } \theta$, a porovnajte s hodnotami z bodu c1).

Zadané uhly: 0,1", 30', 2°, 5°, 10°, 15°, 30°.

Riešenie

Napríklad z trojčlenky môžeme odvodiť prevodný vzťah medzi radiánmi a stupňami:

$$\theta_{\text{rad}} = \frac{2\pi}{360^\circ} \theta_{\text{stup}}, \text{ resp. } \theta_{\text{stup}} = \frac{360^\circ}{2\pi} \theta_{\text{rad}}$$

a) $1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad} \doteq 0,0174 \text{ rad}$, $5^\circ = \frac{\pi}{36} \text{ rad} \doteq 0,0873 \text{ rad}$, $30^\circ = \frac{\pi}{6} \text{ rad} \doteq 0,524 \text{ rad}$,

$60^\circ = \frac{\pi}{3} \text{ rad} \doteq 1,05 \text{ rad}$, $180^\circ = \pi \text{ rad} \doteq 3,14 \text{ rad}$, $270^\circ = \frac{3\pi}{2} \text{ rad} \doteq 4,71 \text{ rad}$.

b) $2,91 \cdot 10^{-4} \text{ rad} \doteq 1'$, $\frac{\pi}{360} \text{ rad} = 30'$, $1 \text{ rad} \doteq 57^\circ 18'$, $\pi/2 \text{ rad} = 90^\circ$, $1,5\pi \text{ rad} = 270^\circ$, $2\pi \text{ rad} = 360^\circ$.

c1) $0,1'' \doteq 4,85 \cdot 10^{-7} \text{ rad}$, $30' = \frac{\pi}{360} \text{ rad} \doteq 8,73 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$, $2^\circ = \frac{\pi}{90} \text{ rad} \doteq 0,0349 \text{ rad}$,

$5^\circ = \frac{\pi}{36} \text{ rad} \doteq 0,0873 \text{ rad}$, $10^\circ = \frac{\pi}{18} \text{ rad} \doteq 0,175 \text{ rad}$, $15^\circ = \frac{\pi}{12} \text{ rad} \doteq 0,262 \text{ rad}$,

$30^\circ = \frac{\pi}{6} \text{ rad} \doteq 0,524 \text{ rad}$.

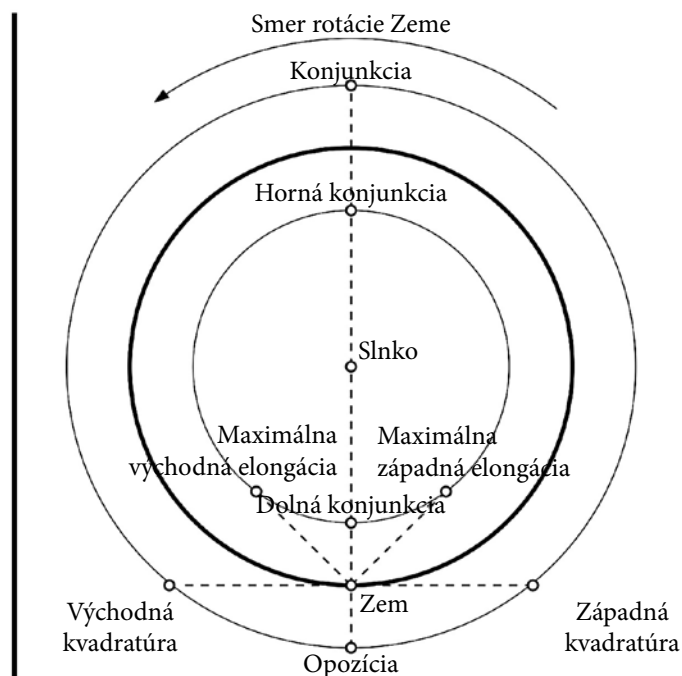
5. Slnčná sústava

$$\begin{aligned} \text{c2) } \operatorname{tg} 0,1'' &\doteq 4,85 \cdot 10^{-7}, \operatorname{tg} 30' \doteq 8,73 \cdot 10^{-3}, \operatorname{tg} 2^\circ \doteq 0,0349, \operatorname{tg} 5^\circ \doteq 0,0875, \\ \operatorname{tg} 10^\circ &\doteq 0,176, \operatorname{tg} 15^\circ \doteq 0,268, \operatorname{tg} 30^\circ \doteq 0,577. \end{aligned}$$

Je vidieť, že od hodnoty 5° prestáva byť vzťah $\operatorname{tg} \theta \doteq \theta$ čím ďalej tým menej presný.

Úloha 2: Mars v opozícii a kvadrátúre

Ako ďaleko sa nachádza Mars od Zeme, ak sa Mars nachádza v a) opozícii, b) kvadrátúre? Kolkokrát by sa zdal byť Mars väčší v opozícii ako v kvadrátúre v astronómovom ďalekohľadu? Polomer kruhovej dráhy Marsu je $a_\sigma = 1,52$ au. Môže vám pomôcť obrázok nižšie.



Obrázok: Schéma možných konfigurácií planét

Riešenie

a) Z obrázku vyššie je možné ľahko určiť vzdialenosť Zeme od Marsu v opozícii:

$$\Delta r_o = a_\sigma - a_\oplus = 0,52 \text{ au}$$

b) Vzdialenosť Zeme od Marsu v kvadrátúre určíme z Pytagorovej vety:

$$\Delta r_k = \sqrt{a_\sigma^2 - a_\oplus^2} \doteq 1,14 \text{ au} .$$

Obraz v ďalekohľade sa bude v opozícii javiť toľkokrát väčší ako v kvadrátúre, kolkokrát je Mars v opozícii bližšie ako v kvadrátúre:

$$\frac{\Delta r_k}{\Delta r_o} = 2,21.$$

Úloha 3: Meriame Merkúr a Venušu

Určte polomery kruhových dráh Merkúru a Venuše, ak viete, že:

- maximálna elongácia Merkúru je 23° a Venuše 47° ,
- synodická obežná doba Merkúru je 116 dní, Venuše 584 dní.

Riešenie

- Z obrázku v úlohe 2 a maximálnej elongácie určíme postupne hlavnú polos planét:

$$\text{Merkúr } a_{\text{M}} = a_{\oplus} \sin 23^\circ \doteq 0,39 \text{ au,}$$

$$\text{Venuša: } a_{\text{V}} = a_{\oplus} \sin 47^\circ \doteq 0,73 \text{ au.}$$

- Pre vzájomný uhlový pohyb vnútornej planéty a Zeme platí: $\Delta\omega = \omega_{\text{vnútorná}} - \omega_{\oplus}$.

Vyjdeme z definície uhlovej rýchlosti $\omega = 2\pi/T$, po dosadení dostávame:

$$\frac{1}{T_{\text{synod}}} = \frac{1}{T_{\text{vnútorný}}} - \frac{1}{T_{\oplus}}, \text{ teda } T_{\text{vnútorný}} = \frac{T_{\oplus} T_{\text{synod}}}{T_{\oplus} + T_{\text{synod}}}. \text{ Pre Merkúr dostávame:}$$

$$T_{\text{M}} \doteq 88 \text{ dní} \doteq 0,241 \text{ rokov, pre Venušu: } T_{\text{V}} \doteq 245 \text{ dní} \doteq 0,615 \text{ rokov.}$$

Z 3. Keplerovho zákona $a^3 = T^2$ dostávame: $a_{\text{M}} \doteq 0,391 \text{ au}$, $a_{\text{V}} \doteq 0,723 \text{ au}$.

Úloha 4: „Merkuan“

Dráha Merkúru nie je presne kruhová, ale eliptická s excentricitou $e = 0,205$. Koľkokrát je uhlová veľkosť Slnka väčšia v perihéliu ako v aféliu pre pozorovateľa na Merkúre?

Riešenie

Vyjdeme z definície uhlovej veľkosti (pre malé uhly):

$$\theta \doteq \frac{D}{d}, \text{ kde } D \text{ je rozmer (priemer) telesa a } d \text{ je vzdialenosť objektu od pozorovateľa.}$$

$$\text{Pre pomer uhlových veľkostí v perihéliu a aféliu: } \frac{\theta_{\text{per}}}{\theta_{\text{afel}}} = \frac{r_{\text{afel}}}{r_{\text{per}}} = \frac{1+e}{1-e} = 1,52.$$

V perihéliu sa bude pozorovateľovi javiť Slnko o 52 % väčšie v aféliu.

Úloha 5: Zem z Marsu

Vypočítajte uhlovú vzdialenosť Zeme od Slnka z pohľadu pozorovateľa na Marse. Viete, že siderická obežná doba Marsu je 687 pozemských dní.

5. Slnčná sústava

Riešenie

$T_{\odot} \doteq 687 \text{ dní} \doteq 1,88 \text{ rokov}$. Vyjdeme z tretieho Keplerovho zákona $a'_{\odot} = \sqrt[3]{T_{\odot}^2} \doteq 1,52 \text{ au}$. Z podobnej geometrie ako na obrázku v úlohe 2 (len vykonávame výpočet pre Mars

namiesto Zeme) dostávame: $\sin \theta = \frac{a_{\oplus}}{a_{\odot}} = 41,1^{\circ}$.

Úloha 6: Aký veľký je Mesiac?

- a) Stredná vzdialenosť Zem – Slnko je $d = 1 \text{ au} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$, polomer Slnka je $R_{\odot} = 6,955 \cdot 10^5 \text{ km}$. Určte uhlovú veľkosť Slnka pre pozorovateľa na Zemi.
- b) Zo znalosti hmotnosti Zeme $M_{\oplus} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ a doby obehu Mesiaca okolo Zeme $T = 27,3 \text{ dní}$ odhadnite z tretieho Keplerovho zákona vzdialenosť Mesiaca od Zeme. Hmotnosť Mesiaca pre odhad vzdialenosti neberte do úvahy.
- c) Pretože viete, že dochádza k čiastočným aj úplným zatmeniam Slnka, odhadnite skutočné rozmery Mesiaca. Ilustrácia javu je na obrázku vľavo.



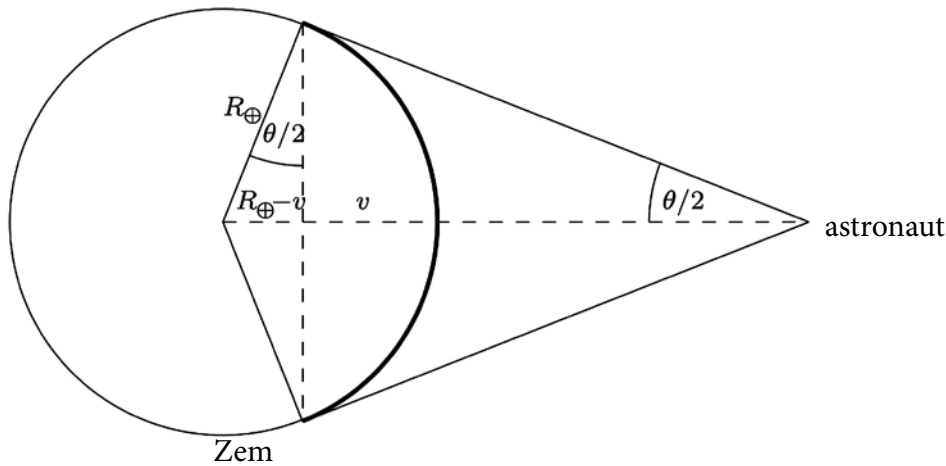
(zdroj: <https://apod.nasa.gov/apod/ap160831.html>, cit. 5.8.2018)



(zdroj: https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1249.html, cit. 5.8.2018)

- d) Aká by bola uhlová veľkosť Zeme pre astronauta na Mesiaci, keď by sa Mesiac pohyboval po presne kruhovej dráhe? Akú veľkú časť povrchu Zeme astronaut vidí (pozri obrázok vpravo hore a pod textom)? Výsledok vyjadrite v percentách. Polomer Zeme je $R_{\oplus} = 6\,378 \text{ km}$.

Pomôcka: Časť povrchu Zeme, ktorú pozorovateľ vidí, zodpovedá povrchu guľového vrcholíka. Plocha guľového vrcholíka (bez podstavy) je $S = 2\pi Rv$, kde R je polomer sféry a v je výška guľovej úseče, pozri obrázok nižšie.



Ilustrácia pohľadu astronauta na Zem

Riešenie

- a) Vyjdeme z približného vzťahu pre uhlovú veľkosť: $\theta_{\odot} \doteq \frac{2R_{\odot}}{d} \doteq 9,30 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \doteq 32'$.
Mohli by sme vyjsť aj z presného vzťahu

$$\operatorname{tg} \frac{\theta_{\odot}}{2} = \frac{R_{\odot}}{d}, \text{ resp. } \theta_{\odot} = 2 \cdot \operatorname{arctg} \frac{2R_{\odot}}{d} \doteq 32'. \text{ Výsledky sú samozrejme rovnaké,}$$

pozri Úloha 1.

- b) Vyjdeme z tretieho Keplerovho zákona: $a = \sqrt[3]{\frac{GM_{\oplus}T^2}{4\pi^2}} \doteq 3,83 \cdot 10^8 \text{ m}$.

- c) Pretože dochádza k čiastočným a úplným zatmeniam Slnka, je uhlová veľkosť Mesiaca porovnateľná s uhlovou veľkosťou Slnka, teda $\theta_{\odot} \doteq \theta_{\text{M}}$.

Polomer Mesiaca určíme zo vzťahu: $R_{\text{M}} \doteq \frac{\theta_{\text{M}} a}{2} \doteq 1\,780 \text{ km}$. Skutočný polomer

Mesiaca je 1 737 km, teda náš výsledok súhlasí dobre so skutočnosťou.

- d) Vyjdeme z približného vzťahu pre uhlovú veľkosť: $\theta_{\oplus} \doteq \frac{2R_{\oplus}}{a} \doteq 0,033 \text{ rad} \doteq 1^{\circ} 55'$.

Z obrázka v úlohe 6 zjavne platí:

$$\sin \frac{\theta_{\oplus}}{2} = \frac{R_{\oplus}}{a} = \frac{R_{\oplus} - v}{R_{\oplus}} = 1 - \frac{v}{R_{\oplus}}, \text{ teda } v = R_{\oplus} \left(1 - \sin \frac{\theta_{\oplus}}{2}\right) = R_{\oplus} \left(1 - \frac{R_{\oplus}}{a}\right).$$

Buď môžeme výšku guľového vrcholíka spočítať priamo zo zadaných hodnôt, alebo z vyčítanej hodnoty uhlovej veľkosti Zeme. Dosadíme do pomocného vzorca pre plochu

guľového vrcholíka $S = 2\pi R_{\oplus}^2 \left(1 - \frac{R_{\oplus}}{a}\right)$. Vzorec pre plochu gule je $R_{\text{gula}}^2 = 4\pi R^2$, preto

pre pomer plochy guľového vrcholíka k celej guli je:

$$\frac{S}{S_{\oplus}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{R_{\oplus}}{a}\right) \doteq 0,49 \doteq 49 \%. \text{ Astronaut vidí takmer celú jednu stranu Zeme.}$$

5. Slnčná sústava

Z poslednej rovnice je jasné, že čím bude astronaut ďalej od Zeme (vzdialenosť pritom udáva hlavná polos, pretože zodpovedá polomeru kruhového orbitu), tým bude člen

$\frac{R_{\oplus}}{a}$ bližšie nule a astronaut uvidí väčšiu časť Zeme, maximálne však 50 %. Ak bude

astronaut naopak tesne nad povrchom Zeme, bude člen $\frac{R_{\oplus}}{a}$ blízko 1 a pomer $\frac{S}{S_{\oplus}}$ bude takmer nulový.

Úloha 7: Mesiac druhýkrát

Meraním sa zistilo, že uhlová veľkosť (priemer) Mesiaca v perigeum je $\theta_{\text{per}} = 33,5'$ a v apegeum je $\theta_{\text{apo}} = 29,9'$. Ak je polomer Mesiaca $R_{\text{J}} = 1\,737$ km, určte číselnú výstrednosť eliptickej dráhy a jej hlavnú polos.

Riešenie

Kľúčom je vyjsť z definície uhlovej veľkosti: $\theta_{\text{per}} = \frac{2 R_{\text{J}}}{a - \varepsilon}$, $\theta_{\text{apo}} = \frac{2 R_{\text{J}}}{a + \varepsilon}$, a teda

$$\frac{\theta_{\text{per}}}{\theta_{\text{apo}}} = \frac{a + \varepsilon}{a - \varepsilon} = \frac{1 + e}{1 - e}$$

$$\text{Úpravou poslednej rovnice dostaneme: } e = \frac{\frac{\theta_{\text{per}}}{\theta_{\text{apo}}} - 1}{\frac{\theta_{\text{per}}}{\theta_{\text{apo}}} + 1} = 0,057.$$

Skutočná hodnota číselnej výstrednosti pritom je 0,055. Trajektória je teda takmer kruhová.

Hlavnú polos určíme podľa vzťahu:

$$\theta_{\text{per}} = \frac{2 R_{\text{J}}}{a - \varepsilon} = \frac{2 R_{\text{J}}}{a(1 - e)}, \text{ teda } a = \frac{2 R_{\text{J}}}{\theta_{\text{per}}(1 - e)}, \text{ kde } \theta_{\text{per}} \doteq 9,74 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

Po dosadení dostávame $a \doteq 378\,000$ km.

Výsledok si môžeme skontrolovať, keď použijeme druhý vzťah (pre apogeum):

$$a = \frac{2 R_{\text{J}}}{\theta_{\text{apo}}(1 + e)} \doteq 378\,000 \text{ km, pritom } \theta_{\text{per}} \doteq 8,70 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

Úloha 8: Parametre trajektórie planét

V Tab. 1 sú ku každej planéte priradené ich synodické obežné doby, ako ich nameral pozemský astronóm. Do tabuľky doplňte výpočtom siderické obežné doby planét a odvodte hlavné polosi planét.

Tabuľka 1: Synodické obežné doby planét a ďalšie parametre

Planéta	Synodická doba [deň]	Synodická doba [rok]	Siderická doba [rok]	Hlavná polos [au]
Merkúr	116			
Venuša	584			
Mars	780			
Jupiter	399			
Saturn	378			
Urán	370			
Neptún	367			

Riešenie

Planéty sa okolo Slnka pohybujú v zhodnom smere, vzájomnú uhlovú rýchlosť Zeme a planéty dostaneme ako rozdiel ich uhlových rýchlostí: $\Delta\omega = \omega_{\text{vnútorná}} - \omega_{\oplus}$, resp. $\Delta\omega = \omega_{\oplus} - \omega_{\text{vonkajšia}}$. Z definície uhlovej rýchlosti dostaneme:

$$T_{\text{vnútorný}} = \frac{T_{\oplus} T_{\text{synod}}}{T_{\oplus} + T_{\text{synod}}}$$

$$T_{\text{vonkajší}} = \frac{T_{\oplus} T_{\text{synod}}}{T_{\text{synod}} - T_{\oplus}}$$

Hlavnú polos spočítame z tretieho Keplerovho zákona:

$$a' = \sqrt[3]{T'^2}, \text{ kde } a' = a/a_{\oplus}, T' = T/T_{\oplus}.$$

Tabuľka 1 – riešenie

Planéta	Synodická doba [deň]	Synodická doba [rok]	Siderická doba [rok]	Hlavná polos [au]
Merkúr	116	88,0	0,241	0,387
Venuša	584	225	0,615	0,723
Mars	780	687	1,88	1,52
Jupiter	399	4320	11,8	5,19
Saturn	378	10800	29,6	9,56
Urán	370	28500	78,0	18,3
Neptún	367	76600	210	35,3

Vyčíslené hodnoty v tabuľke sa takmer zhodujú so skutočnými hodnotami, výnimku tvorí Urán a Neptún. Skutočné hodnoty hlavných polosí a periód pre Urán sú: $T_{\Psi} = 84,1$ rokov, $a_{\Psi} = 19,2$ au; pre Neptún: $T_{\Psi} = 165$ rokov, $a_{\Psi} = 30,1$ au. Citelnejší rozdiel vypočítaných a skutočných hodnôt spočíva v podobnosti synodickej periódy a periódy Zeme okolo Slnka. Ak by sme chceli dosiahnuť presnejší výsledok, museli by sme uviesť syno-

5. Slnčná sústava

dickú obežnú dobu na väčší počet platných miest. Ak by sme za synodický dobu Uránu dosadili $T_{\text{synod}} = 369,65$ dní a Neptúnu $T_{\text{synod}} = 367,49$ dní, dostali by sme výsledky $T_{\text{U}} = 84,1$ rokov, $a_{\text{U}} = 19,2$ au; $T_{\text{N}} = 164$ rokov, $a_{\text{N}} = 30,0$ au.

Úloha 9: Ako z inej planéty

Aká by bola synodická obežná doba Saturna pre pozorovateľa na Jupiteri? Nevyhnutné informácie vyčítajte z Tab. 1, úloha 8.

Riešenie

Vzájomná uhlová rýchlosť je daná ako rozdiel uhlových Saturna a Jupitera

$$\Delta\omega = \omega_{\text{J}} - \omega_{\text{S}}, \text{ preto } T_{\text{synod}} = \frac{T_{\text{J}} T_{\text{S}}}{T_{\text{J}} - T_{\text{S}}} \doteq 19,6 \text{ rokov.}$$

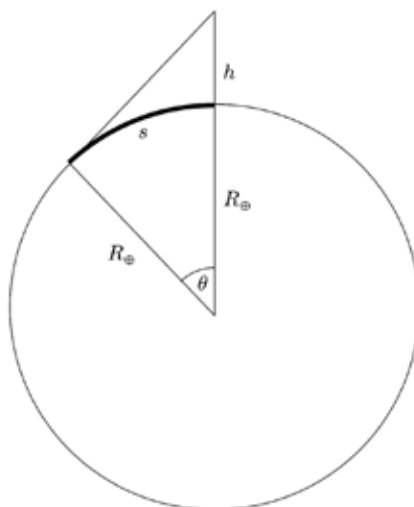
Úloha 10: Nohami pevne na Zemi

Horolezec vyliezol na najvyššiu horu sveta Mount Everest s výškou 8 848 m n. m. Keby sme brali Zem ako dokonalú guľu, s výnimkou miesta, kde sa týči Mount Everest, ako ďaleko po zemskom povrchu by horolezec dovidel? Polomer Zeme je $R_{\oplus} = 6\,378$ km.

Riešenie

Podľa obrázka platí: $\cos \theta = \frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + h}$, teda $\cos \theta \doteq 0,9986$, približne teda $\theta \doteq 3^{\circ} 01' \doteq 0,053$ rad.

Z obrázka je tiež zrejmé: $\theta = \frac{s}{R_{\oplus}}$, preto $s = R_{\oplus} \cdot \theta \doteq 340$ km.



Pozorovateľ na hore Mount Everest s výškou h dovidí do vzdialenosti s

Úloha 11: Grék, aká veľká je Zem?

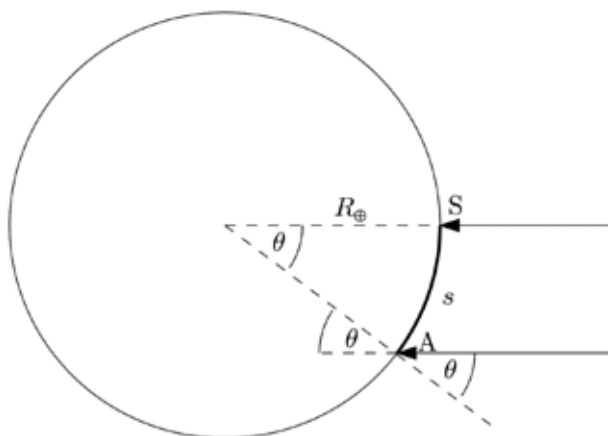
Prvé meranie priemeru Zeme vykonali starí Gréci asi 250 rokov pred n. l. Grécky učenc Eratosthenes z Kyrény na to potreboval len dve mestá s vhodnou polohou. K Eratosthenesovi sa od cestovateľov donieslo, že v deň letného Slnovratu (21. júna) na pravé poludnie možno aj v najhlbších studniach mesta Syény pozorovať odraz slnka. Slniečne lúče tak dopadajú kolmo k zemskému povrchu a nevrhajú žiadny tieň. Na rovnakom poludníku, 800 km od Syén, sa nachádzalo egyptské mesto Alexandria, kde slnečné lúče v pravé poludnie vrhali tieň pod uhlom $7,2^\circ$.

Vašou úlohou je:

- nakresliť obrázok popisujúci situáciu,
- vyčítať polomer Zeme.

Riešenie

- Najdôležitejšou časťou náčrtku je správne zakreslenie zhodných uhlov.

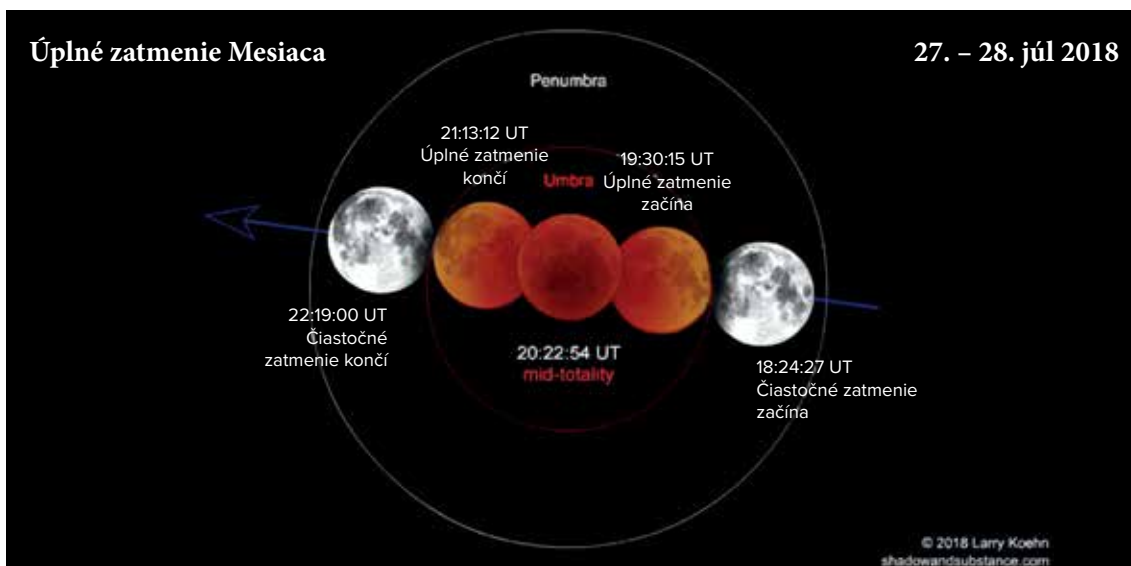


- Z náčrtku už jednoducho dopočítame polomer Zeme:

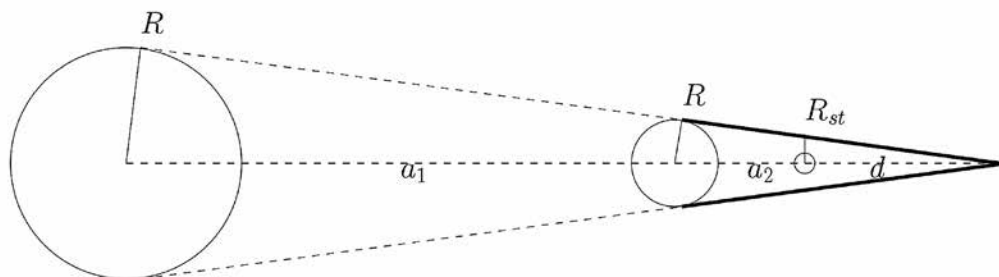
$$\theta = \frac{s}{R_{\oplus}}, \text{ teda } R_{\oplus} = \frac{s}{\theta} = 20\,000/\pi \approx 6\,400 \text{ km, kde } \theta = \pi/25 \text{ rad} \approx 0,126 \text{ rad.}$$

Úloha 12: Mesiac v akcii po tretie

- Na obrázku nižšie je zachytené úplné zatmenie Mesiaca. S pomocou obrázku a časov odhadnite, koľkokrát je polomer tieňa Zeme väčší ako polomer Mesiaca.
- Ak je uhlová veľkosť Slnka $\theta_{\odot} = 32'$, polomer Zeme je $R_{\oplus} = 6\,378 \text{ km}$ a polomer kruhového orbítu $a_2 = 384\,400 \text{ km}$, spočítajte s pomocou výsledku z bodu a) polomer Mesiaca. Obrázok *Zatmenie Mesiaca – rozbor situácie* vám môže pomôcť.



Zatmenie Mesiaca



Zatmenie Mesiaca – rozbor situácie

Riešenie

- a) Z časov uvedených na obrázku je zrejmé, že Mesiacu trvalo približne 1 hod 6 min vstúpiť do Zemskeho tieňa. V tomto tieni potom zotrval približne 2 hod 49 min. Pomer týchto časov potom zodpovedá pomeru priemeru tieňa Zeme a polomeru Mesiaca:

$$\frac{R_{st}}{R_{\oplus}} = \frac{2,8}{1,1} \doteq 2,6$$

Pretože prechod Mesiaca cez Zemský tieň nie je presne centrálny, bude pomer v skutočnosti o trochu väčší.

- b) Z náčrtku vyplýva nasledujúce: $\frac{R_{\odot}}{a_1 + a_2 + d} = \frac{R_{\oplus}}{a_2 + d} \doteq \frac{R_{st}}{d}$. Pretože $a_1 \ll a_2 + d$, je možné ľavú stranu prvej rovnosti písať ako $\frac{R_{\odot}}{a_1}$, čo sa rovná $\theta_{\odot}/2$.

Z prvej rovnosti tak už jednoducho vyjadríme $d = \frac{2R_{\oplus}}{\theta_{\odot}} a_2 \doteq 990\,000$ km.

Z druhej rovnosti dostávame $R_{st} = R_{\oplus} \frac{d}{a_2 + d} \doteq 4\,600$ km.

Polomer Mesiaca potom dostávame ako: $R_{\oplus} = \frac{R_{\odot}}{2,6} \doteq 1\,800$ km. Skutočný polomer

Mesiaca je 1 737 km, výsledok tak dáva rozumný odhad.

ŽIVOT VO VESMÍRE

1. ÚVOD

Zatiaľ nikto nevie, či existuje život mimo Zeme. Tézy Giordana Bruna o rozmanitosti obývaných svetov a nevyhnutnom výskyte početných ohnísk života vo Vesmíre ovládajú myšlienky ľudí už štyri storočia. Je úžasné, že za týchto 400 rokov sa jeho nápady nedostali do konfliktu so súčasnými vedeckými poznatkami. Musia sa iba aktualizovať pojmy o Vesmíre, živote, rozume atď., ktoré použil Bruno. V tejto téme uvádzame predstavu o pojme život vo Vesmíre, hľadanie mimozemského života v Slnčnej sústave aj vo Vesmíre. Ponúkame tiež praktické cvičenia pre rôzne vekové skupiny, aby žiakom pomohli získať prehľad o vedeckých metódach používaných pri hľadaní mimozemského života.

1.1 Kľúčové slová

extrasolárne planéty (exoplanéty)

planéty podobné Zemi

skalnaté planéty

obývateľná zóna

Drakeova rovnica

vesmírne misie

vesmírne sondy

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

V čase Bruna sa všeobecne verilo, že sa Zem nachádza v strede Vesmíru a že je jediná a unikátna vo Vesmíre. A dnes je počet pozorovaných exoplanét (ktoré taktiež nazývame extrasolárne planéty, pretože obiehajú okolo iných hviezd), teda v auguste 2018 je počet hviezd s planetárnymi systémami 3798 – 2841, z ktorých 633 systémov má viac ako jednu planétu. Podľa štatistických odhadov sa teraz odhaduje, že celkový počet exoplanét v Mliečnej ceste je viac ako 100 miliárd, z čoho 5 až 20 miliárd je pravdepodobne „podobných Zemi“.

Môže sa však na niektorej z nich rozvíjať život? **Tu budeme hovoriť o živote podobnom životu na Zemi, pretože toto je náš jediný východiskový bod a bolo by veľmi ťažké predstaviť si iné možnosti.** Aké sú hlavné podmienky, ktoré musia byť splnené, aby sa objavil život na extrasolárnej planéte?

- Podmienky života na iných planétach** Po prvé, **analogicky so Zemou predpokladáme, že planéta musí byť skalnatá, a preto nie príliš veľká** (ako vieme, veľké planéty v slnečnej sústave sú plynové gule bez pevného povrchu). Doteraz astronómovia objavili viac ako 950 mimozemských planét podobných Zemi a viac ako 1100 planét, ktoré označujeme ako tzv. „superzeme“. **Superzeme sú exoplanéty s hmotnosťou väčšou ako zemská hmotnosť, ale majú podstatne menšiu hmotnosť ako hmota Urána a Neptúna** (t. j. oveľa menšia ako 15 hmotností Zeme). Superzeme sú väčšie ako planéty podobné Zemi (polomery majú 0,8 až 1,25 väčšie ako zemský polomer), ale ich polomery sú menšie ako približne dva polomery Zeme. Termín „superzem“ sa vzťahuje iba na hmotu a veľkosť planéty a nijakým spôsobom sa netýka podmienok jej povrchu a možného života na nej. Niektorí vedci sa domnievajú, že superzeme s polomerami okolo dvoch polomerov Zeme najviac napomáhajú rozvoju života. Vyššia gravitácia poskytuje hrubšiu a hustejšiu atmosféru, vysoký stupeň erózie a v dôsledku toho aj plochejšiu topografiu. Konečným výsledkom by bolo „súostrovie planét“ s plytkými oceánmi posiatymi nízkymi ostrovnými reťazcami, ktoré sú ideálne pre biodiverzitu.
- Obývateľná zóna** Po druhé, **musia existovať podmienky na prítomnosť tekutej vody na povrchu planéty.** Okolo každej normálnej hviezdy, vrátane nášho Slnka, existuje zóna, v ktorej sú tieto podmienky splnené. Pre horúce hviezdy je táto zóna ďalej od hviezdy a pre menšie hviezdy je bližšia k hviezde. Nazýva sa to **obývateľná zóna** (Obrázok 1). V anglicky hovoriacej literatúre sa o obývateľnej zóne hovorí aj ako o tzv. **Goldilocks Zone** podľa rozprávky Zlatovláska a tri medvede, v ktorej si malé dievčatko vyberie z troch predmetov, pričom ignoruje príliš extrémne (veľké alebo malé, horúce alebo studené atď.), vyberajúc si tie, ktoré sú „šité na mieru“.

Ak je planéta bližšie k obývateľnej zóne, bude príliš horúca na povrchu a príliš studená, ak bude ďalej. Nesmieme zabúdať, že prítomnosť planéty v obývateľnej zóne a existencia priaznivých životných podmienok s ňou nemusia nevyhnutne súvisieť: prvá charakteristika sa týka podmienok v planetárnom systéme ako celku a druhá sa týka priamo podmienok na povrchu exoplanét.



Obrázok 1: Obývateľná zóna

Po tretie, **musí existovať dostatok času na rozvoj života na planéte**. Na Zemi sa prvé najjednoduchšie organizmy objavili len asi miliardu rokov po jej vzniku a zložitejším organizmom (zvieratám a rastlinám) to trvalo ďalšie – 2 miliardy rokov. Jasnejšie a hmotnejšie hviezdy ako Slnko však končia svoj život oveľa rýchlejšie – za niekoľko miliónov rokov (najmohutnejšie) až niekoľko stoviek miliónov rokov. Masívne hviezdy nie sú kvôli svojmu krátkemu životu vhodné na rozvoj mimozemského života pozemského typu. Najlepšími kandidátmi sú hviezdy s malými hmotnosťami (od asi jednej do jednej desatiny hmoty Slnka), ktoré žijú desiatky miliárd rokov.

2.1 Hľadanie planét v obývateľnej zóne

Predpokladajme, že sú splnené všetky podmienky a na niektorej planéte existujú podmienky pre vznik života, alebo dokonca už vznikol život. Ako môžeme vedieť či je tam život, keďže samotné zistenie a určenie, či je planéta v obývateľnej zóne, je samé o sebe stále dosť komplikované? Priame pozorovanie príznakov života pre veľkú vzdialenosť nie je možné ani pri najbližších hviezdach s potenciálne obývateľnými planétami. Neexistuje spôsob, ako by sme mohli urobiť fotky podobné fotkám Zeme, ktoré boli urobené umelými satelitmi. Nemôžeme ani vyslať vesmírne sondy. Pretože najbližší hviezdny systém, ktorý máme k dispozícii, je Alfa zo súhvezdia Centauri, a ten je vzdialený viac ako 4 svetelné roky a našim súčasným sondám by to trvalo 100 000 rokov.

Konečným cieľom moderných výskumných programov exoplanét je teda najsť jednoznačný dôkaz mimozemského života. Či k tomu dôjde skôr či neskôr, závisí od dvoch neznámych: ako rozšírený je život v Galaxii a aké budeme mať šťastie. Pretože bez šťastia hľadanie mimozemského života môže trvať desiatky až stovky rokov. Nájdenie inej planéty ako je Zem je ako hľadanie určitého zrnka piesku na pláži a vyžaduje si ešte väčšie a výkonnejšie teleskopy ako máme dnes. **Odpoveď na prvé neznáme – šírenie života v galaxii, dáva Drakeova rovnica.**

6. Galaktické prostredie

Drakeova rovnica o pravdepodobnosti mimozemského života a rozumu **Drakeova rovnica umožňuje odhadnúť pravdepodobnosť mimozemského života a rozumu. Odhaduje počet N rozvinutých civilizácií v našej galaxii:**

$$N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

Tu R^* je rýchlosť formovania hviezd v Mliečnej ceste (toto je počet hviezd, ktorý vzniká za 1 rok v našej galaxii), f_p je počet hviezd, ktoré majú planetárne sústavy, n_e je počet planét v planetárnom systéme, o ktorých existujú dôvodné fyzické podmienky pre existenciu života (t. j. počet planét v obývateľnej zóne), f_l je pravdepodobnosť, že na danej planéte bude život, f_i je pravdepodobnosť, že v rámci života rozvíjajúceho sa v rámci svojho evolučného vyvinie druh obdarený rozumom, f_c je pravdepodobnosť, že rozumom obdarená civilizácia bude civilizáciou s pokročilou technológiou, ktorá je schopná hľadať spojenie s inými civilizáciami, L je čas aktívneho civilizačného života (alebo aspoň čas), prostredníctvom ktorého civilizácia hľadá iný život a vysiela signály do Vesmíru.

V roku 1960, keď Drake dospel k svojej rovnici, všetky zahrnuté veličiny neboli nám známe. Určite by sme mohli len povedať, že N sa rovná aspoň jednej, pokiaľ poznáme našu vlastnú civilizáciu. Kvôli nejasnostiam vo vzorci má každý človek svoj vlastný výsledok. Odhady pre N sú dosť špekulatívne a pohybujú sa od „jedného“ (iba na našej Zemi) po miliardu, v závislosti od optimizmu výskumníka. V súčasnosti nepochybne došlo k pokroku a z takmer 4 000 doteraz objavených exoplanét vieme o 55 podobných Zemi a superzemiam, ktoré sa nachádzajú v oblasti Zlatovláska. To posilňuje naše presvedčenie, že mimozemský život je v Galaxii dostatočne rozšírený.

Tak či onak, stále nemáme dostatok dôkazov o existencii mimozemského života ani mimozemskej inteligencie. Je však známe, že „nedostatok dôkazov nie je dôkazom nedostatku“ a astronómovia majú všetky dôvody na pokračovanie vo výskume.

2.2 Výskum Slnecnej sústavy a hľadanie mimozemského života

Výskum Slnecnej sústavy je dôležitou súčasťou hľadania mimozemského života. Automatizované vesmírne sondy už navštívili planéty Slnecnej sústavy, niektoré z ich mesiacov, niektoré asteroidy a kométy. Podľa vedcov sú najpravdepodobnejšími miestami, kde mohol (alebo môže) existovať život (mikroorganizmy) sú Mars, Európa (mesiac Jupitera) a Enceladus (mesiac Saturna). Všetky mali (alebo v súčasnosti majú) tekutú vodu na povrchu alebo blízko jeho povrchu. Zaujímavý je aj ďalší zo satelitov Saturna – Titan, pretože sa zdá, že má jazerá tekutého metánu a samotný Titan je svojou geologickou aktivitou a atmosférickým zložením podobný Zemi v skoršom štádiu jej vývoja.

Ďalším spôsobom, ako hľadať život vo Vesmíre, ktorý aplikujú aj mnohí amatéri, je pokúsiť sa **zistiť signály technologicky vyspelej mimozemskej civilizácie**. Od 60. rokov minulého storočia **výskumný ústav SETI** (z ang. Search for ExtraTerrestrial Intelligence) analyzoval elektromagnetické signály prichádzajúce z Vesmíru (najmä signály rádiových vln a viditeľného svetla) v nádeji, že zistí mimozemský civilizačný signál. SETI samozrej-

me neočakáva registráciu správy v ľudskom jazyku, ale hľadá štruktúry signálov, ktoré by sa prirodzene nevyskytovali. Ich pokusy zatiaľ nie sú úspešné.

My ľudia sme tiež poslali pozdravy do Vesmíru v nádeji, že ich zachytia možné mimozemské civilizácie. Medzi nimi patria binárne kódové správy vysielané z pozemských rádiových ďalekohľadov a správy zaznamenané v rôznych formátoch, ktoré sa nachádzajú na palubách vesmírnych sond. Sondy Voyager 1 a 2 (<https://voyager.jpl.nasa.gov/mission/status/>) vezú fotoalbumy a zvuky, ktoré ilustrujú rozmanitosť života a kultúr na Zemi. Medzi nimi je aj bulharská ľudová pieseň „Izlel e Delio Haidutin“, ktorú naspievala Valia Balkanska. Obe sondy už opustili hranice Slnecnej sústavy a pokračujú v svojej ceste do Vesmíru.

Ako už viete, kozmologický princíp predpokladá, že fyzikálne zákony a ich základné konštanty sú v celom Vesmíre nemenné. Dnes pomocou pozorovaní astrofyzici s veľkou presnosťou preukázali, že za posledných 10 – 12 miliárd rokov sa základné konštanty nezmenili. Avšak legitimita postulátu, že konštanty sú nemenné, nie je nesporná. Napríklad podľa teórie zoskupenia GUT konštanty základných interakcií nie sú v skutočnosti konštantami, pretože pri veľmi vysokých energiách by sa ich hodnoty museli vyrovnávať. Toto bol pravdepodobne prípad hneď po Veľkom tresku, keď fungovala „supermoc“.

Antropický princíp (doplňujúci materiál)

Teoretická fyzika má metódy založené na moderných znalostiach o mikrosvete a o makrosvete, ktoré nám umožňujú testovať dôsledky podobných predpokladov na obrázkoch z mikrosveta a Vesmíru ako celku. Výskum ukazuje, že iba jedna z konštant stačí na zmenu v rámci nie viac ako 10 – 15 %, a Vesmír bude „zdegenerovaný“. Nebude možné v ňom tvoriť základné stabilné a odolné štruktúry ako jadrá, atómy, hviezdy a galaxie. Tu je príklad – zvýšenie Planckovej konštanty o 15 % zbaví protóny ich schopnosti spájať sa s neutrónmi, procesy termojadrovej syntézy teda nebudú pokračovať...

Ukázalo sa, že si príroda s vysokou presnosťou „našla“ veľké množstvo zdanlivo nezávislých parametrov mikrosveta, ktoré navzájom pasujú tak, aby umožňovali samotnú existenciu Vesmíru v takej podobe, v akej ho poznáme. „Vzájomné prispôbenie sa prvkov“ umožňuje Vesmíru vyvíjať systémy so zvyšujúcou sa úrovňou štruktúrnej a funkčnej zložitosti. Koniec koncov toto (určite aspoň na jednej planéte – našej!) viedlo k vzniku života a rozumu vo Vesmíre.

V snahe pochopiť celú jedinečnosť našej existencie, v roku 1974 britský astrofyzik Brandon Carter sformuloval tzv. antropický princíp (termín pochádza zo starogréckeho slova „človek“). Položil si otázku: „Prečo je Vesmír organizovaný a vyvíja sa presne takýmto spôsobom a nie iným?“ Podľa jeho názoru možná odpoveď spočíva v tom, že ak by bol Vesmír usporiadaný tak trochu inak, nemohli by sme existovať a nikto by si ani takéto otázky nepokladal.

6. Galaktické prostredie

Antropický princíp hovorí, že Vesmír je taký, aký je, pretože sú v ňom pozorovatelia, ktorí sú schopní klásť si otázky o jeho štruktúre a vlastnostiach. V prípade iných parametrov by vo Vesmíre neboli ani zložité štruktúry, ani život vo formách, ktoré sú nám známe. Inými slovami, Vesmír je usporiadaný tak, aby v určitej fáze svojho vývoja umožnil výskyt svojich pozorovateľov. My, ľudská civilizácia, sme práve takými pozorovateľmi.

Antropický princíp znie ako moderná ozvena toho, čo bolo kedysi antropocentrizmus – t. j. umiestnenie človeka do stredu sveta, ale nemal by sa s ním zamieňať. **Antropický princíp má oveľa hlbší význam, pretože ukazuje, že Vesmír, ešte od svojho vzniku, obsahuje možnosť (a možno až nevyhnutnosť) existencie rozumného života.** V iných vesmíroch Hypersveta to nemusí byť pravdou a ich vývoj ide bez svedectva.

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY A TESTY PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Stretneme sa niekedy s mimozemským rozumom a ako budeme s ním komunikovať?

Cieľ úlohy

Nechaj žiakov diskutovať o tom, aký môže byť inteligentný život vo Vesmíre a navrhnúť spôsoby komunikácie s ním.

Metodické pokyny pre učiteľov

Toto cvičenie sa môže vykonávať ako celotriedna aktivita alebo môžu byť žiaci rozdelení do niekoľkých skupín. V prvom prípade sa všetci zúčastňujú diskusií spoločne a v druhom prípade sa otázky najprv prerokujú v skupinách (napríklad 10 – 15 minút) a potom sa predkladajú ostatným. Ak má učebňa prístup na internet, týmto spôsobom možno podporiť ďalšie vyhľadávanie informácií.

Pokyny pre žiakov

1. Povedzte nám, čo viete o existencii mimozemského života vo Vesmíre, na základe prečítaných kníh, televíznych programov, filmov a ďalších.
2. Zistite, koľko z vás „verí“, že mimozemšťania navštívili Zem v nedávnej alebo vzdialenej minulosti.
3. Zvážte a navrhnite, ako by vedci mohli pochopiť, či existuje život vo Vesmíre po tom, ako zvážite nasledujúce otázky:
 - Čo vedci v súčasnosti vedia? Aké majú dôkazy?
 - Ako sa vedci dostali k týmto poznatkom? Aké experimenty a technológie použili?
 - Čo ešte nevieme? Aké údaje nám chýbajú?
 - Čo môžeme predpokladať? Aké testy môžeme urobiť?
 - Aké nové otázky a experimenty (nový výskum a misie) by nám pomohli pochopiť odpoveď?
4. Ak je to možné, pozrite sa, aké informácie nájdete na internete o:
 - projekte SETI (ang. Search for ExtraTerrestrial Intelligence – Hľadanie mimozemského intelektu);
 - iných pokusoch ľudstva súvisiacich s mimozemskými bytosťami (ako sú misie Voyager).

Diskutujte o týchto informáciách so svojimi spolužiakmi.

5. Predpokladajme, že rádio teleskopy projektu SETI detegovali signály vzdialeného Vesmíru. Analýza ukázala, že ich poslali inteligentné bytosti žijúce okolo vzdialenej hviezdy a vy by ste sa s nimi chcete spojiť. Aby ste to dosiahli, musíte sa rozhodnúť, ktorá správa sa má vyslať a v akej forme (digitálnej, jazykovej, hudobnej atď.). Obhájte svoj nápad pred spolužiakmi (inými skupinami).

Úloha 2a: Život na inej planéte, satelite alebo asteroide

(Toto cvičenie je určené pre žiakov vyšších ročníkov.)

Cieľ úlohy

Oboznámiť žiakov s požiadavkami a ťažkosťami života mimo Zeme.

Metodické pokyny pre učiteľov

Žiaci sú rozdelení do niekoľkých skupín, z ktorých si každá musí vybrať planétu, satelit alebo asteroid zo Slnecnej sústavy, na ktorej má vybudovať základňu pre konkrétny účel. Ciele môžu byť ľubovoľné – jednoduché osídlenie na inej planéte, rôzne druhy výskumu, ťažba užitočných nerastov atď. Každá skupina musí zvážiť, aké zásoby sú potrebné na fungovanie základne, čo by so sebou priniesla, akých odborníkov potrebuje na splnenie úlohy základne a na zabezpečenie života na nej. Skupiny môžu byť dané vopred (z predchádzajúcej hodiny), a tak umožniť žiakom vyhľadávať informácie a myslieť samostatne doma, a počas nasledujúcej hodiny môžu mať žiaci skupinovú diskusiu. Na skupinovú diskusiu dajte určitý čas (asi 20 minút). Po skončení diskusií každá skupina predstaví ostatným žiakom svoj projekt (cca 5 minút). Podporujte žiakov otázkami a udržiavajte živé diskusie o projektoch. Môžete tiež hlasovať za nasledovné: najzaujímavejší projekt, najkomplexnejší projekt, najlepšie navrhnutý projekt atď.

Pokyny pre žiakov

Predstavte si, že vám ponúknu presunúť sa na iné miesto v Slnecnej sústave.

1. Diskutujte v skupine o týchto otázkach a poznamenajte si:
 - 1.1 Kde by ste chceli žiť v Slnecnej sústave (na inej planéte než na Zemi)?
 - 1.2 Vyberte si planétu, jej satelit alebo asteroid, na ktorom budete stavať základňu.
 - 1.3 Aký bude hlavný účel vašej základne?
 - 1.4 Čo potrebujete so sebou priniesť zo Zeme, aby ste na tomto mieste zabezpečili životné podmienky?
 - 1.5 Akých odborníkov budete potrebovať, aby základňa zabezpečila dobré životné podmienky a splnila svoj účel?
2. Pripravte päťminútovú prezentáciu svojho projektu a predstavte ju iným skupinám.

Úloha 2b: Život na inej planéte, satelite alebo asteroide

(Toto cvičenie je určené pre mladších žiakov)

Cieľ úlohy

Nech žiaci diskutujú o svojich predstavách o živote mimo Zeme.

Metodické pokyny pre učiteľov

Každý žiak (alebo skupina) si musí zvoliť planétu, satelit alebo asteroid, na ktorom postaví základňu. Žiak (skupina) si musí tiež zvoliť, aký bude hlavný účel základne. Potom musí nakresliť, ako si predstavuje, že bude vyzeráť základňa a pripraviť si päťminútové vysvetlenie svojho projektu. Tu uvedené aktivity možno zadávať aj ako domácu úlohu. Projekty sú prezentované všetkým žiakom a diskutuje sa o nich. Môžete tiež hlasovať za nasledovné: najzaujímavejší projekt, najkomplexnejší projekt, najlepšie navrhnutý projekt atď.

Pokyny pre žiakov

Predstavte si, že vám ponúknu presunúť sa na iné miesto v Slnecnej sústave.

1. Porozmýšľajte nad nasledovnými otázkami:
 - 1.1 Kde by ste chceli žiť v Slnecnej sústave (na inej planéte než na Zemi)?
 - 1.2 Aký bude hlavný účel vašej základne?
 - 1.3 Čo potrebujete so sebou priniesť zo Zeme, aby ste na tomto mieste zabezpečili životné podmienky a postaviť si tam základňu?
 - 1.4 Akých odborníkov budete potrebovať, aby základňa zabezpečila dobré životné podmienky a splnila svoj účel?
2. Pripravte si päťminútovú prezentáciu svojho projektu a predstavte ju svojim spolužiakom.
3. Nakreslite svoju základňu.

Úloha 3a: Ako zistíme, či sme sami vo vesmíre alebo sme len jednou z mnohých foriem života, resp. civilizácií?

(Pre žiakov vyšších ročníkov)

Cieľ úlohy

Naučiť žiakov viac o metódach a činnostiach vedeckého štúdia nebeských telies a navrhnuť plán budúcej vesmírnej expedície.

Metodické pokyny pre učiteľov a príprava na cvičenie

Aby vedci uskutočnili vedeckú expedíciu musia použiť stratégiu, ktorá zahŕňa tri kroky:

- a) **prvotný prieskum** – krátke pozorovanie cieľa pomocou blízkej lietajúcej kozmickej lode, ktorá zaznamenáva informácie (v tomto prípade) o planéte, odosiela údaje do databázy a pokračuje vo svojom lete do Vesmíru;
- b) **dlhodobé pozorovanie** – vyžaduje, aby kozmická loď na obežnej dráhe planéty dlhodobo pozorovala a zaznamenala sopečné, geologické a atmosférické zmeny a iné podmienky pomocou rôznych prístrojov;
- c) **podrobný prieskum** – ľudia alebo roboti pristávajú na planéte a skúmajú vopred vybranú malú plochu na povrchu (ako boli napríklad pristátia na Mesiaci a robotické misie vyslané na povrch Marsu).

6. Galaktické prostredie

1. Na základe informácií zo stránok ESA a NASA diskutujte o nasledujúcich otázkach (inou možnosťou je položiť otázky 1.1 až 1.5 ako domáce úlohy a nechať žiakov, aby zbierali informácie pomocou svojich rodičov, ktoré potom môžu byť prediskutované v triede):
 - 1.1 Pristátia na Mesiaci a robotické misie vyslané na povrch Marsu a ďalšie podobné misie vyslané na planéty a mesiace planét v Slnecnej sústave (napríklad na mesiac Jupiter – Európa). Aké prístroje a metódy sa používajú na hľadanie života na Marse a na Európe?
 - 1.2 Vedia žiaci o takýchto misiách naplánovaných v budúcnosti? Aké sú ich vedecké ciele? Môžu o nich nájsť informácie na internete?
 - 1.3 Ktoré misie považujete za najzaujímavejšie?
 - 1.4 Existujú nejaké misie, na ktorých by sa chceli zúčastniť a v akej úlohe?
 - 1.5 Čo je pre nich viac vzrušujúce – kolonizovať iné planéty alebo nájsť mimozemský život (nie nevyhnutne rozumný život)? Prečo?
2. Rozdeľte triedu do skupín so 4 žiakmi. Žiaci v skupine by si mali zvoliť jednu z nasledujúcich rolí:
 - Vedec** – skúma dostupné informácie a určuje, aké nové pozorovania by sa mali robiť;
 - Vedúci misie** – dá názov misie a rozhodne sa, aké kozmické lode budú potrebné v každej etape;
 - Kontrolór** – rozhoduje o tom, v akom poradí sa budú lety uskutočňovať a ako sa budú údaje posielat' na Zem;
 - Supervízor kozmických lodí** – zodpovedný za spustenie kozmických lodí, cestovný poriadok a spôsob, akým budú údaje zhromažďované a odovzdávané vedcovi.

Potom dajte nižšie uvedené pokyny.

Pokyny pre žiakov

Aby vedci uskutočnili vedeckú expedíciu musia použiť stratégiu, ktorá zahŕňa tri kroky:

- a) **prvotný prieskum** – krátke pozorovanie cieľa pomocou blízkej lietajúcej kozmickej lode, ktorá zaznamenáva informácie (v tomto prípade) o planéte, odosiela údaje do databázy a pokračuje vo svojom lete do Vesmíru;
- b) **dlhodobé pozorovanie** – vyžaduje, aby kozmická loď na obežnej dráhe planéty dlhodobo pozorovala a zaznamenala sopečné, geologické a atmosférické zmeny a iné podmienky pomocou rôznych prístrojov;
- c) **podrobný prieskum** – ľudia alebo roboti pristávajú na planéte a skúmajú vopred vybranú malú plochu na povrchu (ako boli napríklad pristátia na Mesiaci a robotické misie vyslané na povrch Marsu).

S pomocou blízkej kozmickej lode pozorovala skupina astronómov vzdialenú hviezdu v našej galaxii a zistila, že obieha planétu, na ktorej mohol vzniknúť život. Medzitým Európska vesmírna agentúra a NASA našli spôsob, ako cestovať veľmi rýchlo do Vesmíru a kontaktujú vás, aby ste predložili plán expedície do tejto planéty. Postupujte podľa pokynov uvedených nižšie a pripravte plán expedície:

1. Identifikujte vedecký cieľ svojej skupiny.
2. Vytvorte plán prieskumnej misie. Na aké otázky o planéte chcete dostať odpoveď? Aké údaje presne zozbierate o charakteristikách planéty, jej povrchu a atmosfére?

3. Na základe výsledkov prieskumnej misie vypracujte plán dlhodobého sledovania sopečných, geologických a atmosférických zmien a podmienok na planéte.
4. S ohľadom na vedecké ciele, ktoré ste si stanovili, podrobne opíšte výskum, ktorý vaša skupina urobí na povrchu planéty. Zahŕňa vaša misia ľudí alebo bude robotická? Keďže budete môcť podrobne preskúmať iba malú časť planéty, vyber oblasti, ktorú budete skúmať, je pre váš projekt veľmi dôležitý. Kde pristanete? Prečo? Čo očakávate, že sa naučíte a prečo to bude dôležité?
5. Ako pošlete zozbierané údaje z pristávacej misie vedcom späť na Zem?
6. Urobte krátku prezentáciu projektu (do 5 minút) pre zvyšok triedy.
7. Diskutujte o projektoch jednotlivých skupín.

Úloha 3b: Ako vedci uskutočňujú výskum na iných planétach?

(Pre mladších žiakov)

Cieľ úlohy

Dozvedieť sa viac o metódach a o činnostiach vedeckého štúdia nebeských telies a navrhnúť plán vedeckej expedície.

Metodické pokyny pre učiteľov a príprava na cvičenie

Aby vedci uskutočnili vedeckú expedíciu musia použiť stratégiu, ktorá zahŕňa tri kroky:

- a) **prvotný prieskum** – krátke pozorovanie cieľa pomocou blízkej lietajúcej kozmickej lode, ktorá zaznamenáva informácie (v tomto prípade) o planéte, odosiela údaje do databázy a pokračuje vo svojom lete do Vesmíru;
- b) **dlhodobé pozorovanie** – vyžaduje, aby kozmická loď na obežnej dráhe planéty dlhodobo pozorovala a zaznamenala sopečné, geologické a atmosférické zmeny a iné podmienky pomocou rôznych prístrojov;
- c) **podrobný prieskum** – ľudia alebo roboti pristávajú na planéte a skúmajú vopred vybranú malú plochu na povrchu (ako boli napríklad pristátia na Mesiaci a robotické misie vyslané na povrch Marsu).

1. Na základe informácií zo stránok ESA a NASA diskutujte o nasledujúcich otázkach (inou možnosťou je položiť otázky 1.1 až 1.5 ako domáce úlohy a nechať žiakov, aby zbierali informácie pomocou svojich rodičov, ktoré potom môžu byť prediskutované v triede):
 - 1.1 Pristátia na Mesiaci a robotické misie vyslané na povrch Marsu a ďalšie podobné misie vyslané na planéty a mesiace planét v Slnečnej sústave (napríklad na mesiac Jupiter – Európa). Aké prístroje a metódy sa používajú na hľadanie života na Marse a na Európe?
 - 1.2 Vedia žiaci o takýchto misiách naplánovaných v budúcnosti? Aké sú ich vedecké ciele? Môžu o nich nájsť informácie na internete?
 - 1.3 Ktoré misie považujete za najzaujímavejšie?
 - 1.4 Existujú nejaké misie, na ktorých by sa chceli zúčastniť a v akej úlohe?

6. Galaktické prostredie

- 1.5 Čo je pre nich viac vzrušujúce – kolonizovať iné planéty alebo nájsť mimozemský život (nie nevyhnutne rozumný život)? Prečo?
2. Vytvorte dvojice a žiakom dajte pokyny uvedené nižšie. Toto cvičenie sa môže vykonať buď zaznamenaním krokov a ich prezentáciou zvyšku triedy, alebo umožnením žiakom skutočne navštíviť vybrané miesto (ktoré bolo vopred schválené učiteľom, ktorý sa oboznámil s plánom); žiakom poskytnúť najviac 5 – 10 minút. Dôkazom toho, že miesto bola skutočne navštívené, môže byť fotografia urobená pomocou mobilného telefónu.

Pokyny pre žiakov

Aby vedci uskutočnili vedeckú expedíciu musia použiť stratégiu, ktorá zahŕňa tri kroky:

- a) **prvotný prieskum** – krátke pozorovanie cieľa pomocou blízkej lietajúcej kozmickej lode, ktorá zaznamenáva informácie (v tomto prípade) o planéte, odosiela údaje do databázy a pokračuje vo svojom lete do Vesmíru;
- b) **dlhodobé pozorovanie** – vyžaduje, aby kozmická loď na obežnej dráhe planéty dlhodobo pozorovala a zaznamenala sopečné, geologické a atmosférické zmeny a iné podmienky pomocou rôznych prístrojov;
- c) **podrobný prieskum** – ľudia alebo roboti pristávajú na planéte a skúmajú vopred vybranú malú plochu na povrchu (ako boli napríklad pristátia na Mesiaci a robotické misie vyslané na povrch Marsu).

1. Rovnako ako vedci, ktorí chcú preskúmať novoobjavenú planétu, vyberte si miesto v škole, ktoré chcete preskúmať (možno aj časť nádvoría).
2. Aký bude účel vašej expedície? Čo už o tomto mieste viete a čo nového sa o ňom chcete dozvedieť?
3. Ako sa tam dostanete? Naplánujte si trasu a rozhodnite sa, ako dlho bude trvať, kým sa tam dostanete. Potrebujete povolenie od niekoho; kedy bude toto miesto k dispozícii? Potrebujete sprievod dospelých?
4. Čo budete potrebovať, aby ste dosiahli svoj cieľ a odpovedali na otázky, ktoré ste si položili?
5. Prezentujte svoj plán najviac v rámci 5 minút.

Ďalšie zdroje aktivít pre žiakov:

1. Nápady pre modely vesmírnych ďalekohľadov a sond, ktoré si môžu žiaci sami vybudovať: https://www.esa.int/kids/en/things_to_do
2. Urobte a vystrelte vlastnú raketu (pre žiakov mladších ako 12 rokov):
http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Up_up_up_Build_and_launch_your_own_rockets_Teach_with_space_PR23
3. Existuje život na Marse?:
<https://www.pbs.org/deepspace/classroom/activity7.html>

EXOPLANÉTY



Obrázok 1: Umelecká predstava exoplanéty. Zdroj: NASA

1. ÚVOD

Ako exoplanéty (takisto extrasolárne planéty) nazývame planéty, ktoré obiehajú okolo iných hviezd ako je naše Slnko. Pre planéty, ktoré sa nachádzajú mimo slnečnej sústavy, ale neobiehajú okolo žiadnej hviezdy, zavádzame termín **túlavé (tiež medzhviezdne či nomádske) planéty** – týmto objektom nebudeme v ďalšom texte venovať pozornosť. Od prvej detekcie exoplanéty v roku 1988 bolo za 30 rokov výskumu k 1. augustu 2018 objavených 3 815 potvrdených exoplanét, ktoré sa nachádzajú celkom v 2 853 hviezdnych systémoch. Väčšina z týchto exoplanét (cez 2 000) bola objavená vesmírnym ďalekohľadom Kepler, ktorého vypustenie v roku 2009 predstavovalo zásadný prelom v honbe za detekciou nových exoplanét. V súčasnej dobe predpokladáme, že prítomnosť planét pri cudzích hviezdach je veľmi obvyklým javom. Odhaduje sa dokonca, že štatisticky okolo jednej z piatich Slnku podobných hviezd obieha exoplanéta podobná Zemi v obývateľnej zóne (t. j. v rozmedzí vzdialeností od materskej hviezdy, pre ktoré za dostatočného atmosférického tlaku môže na povrchu exoplanéty existovať voda v kvapalnom stave). Charakteristiky detekovaných planét sa však pohybujú vo veľmi širokých rozmedziach: od málo hmotných kamenných planét s hmotnosťami podobnými hmotnosti Mesiaca, cez tzv. superzeme (hmotnosť od 2 do 10 hmotností Zeme), po veľmi hmotné plynné obry s hmotnosťami rádu desiatok hmotnosti Jupitera. Od obežných periód v ráde hodín po obežné doby dlhé tisíce rokov. Od planét s povrchovými teplotami dosahujúcimi tisíc kelvinov cez

Definícia

6. Galaktické prostredie

planéty ležiace v obývateľnej zóne až po ľadové svety. Výnimkou nie sú ani vskutku exotické prípady ako exoplanéty obiehajúce pulzar, či viacnásobné hviezdne systémy. Vysvetlenie rozmanitosti vlastností detegovaných exoplanét predstavuje výzvu pre astrofyzikov zaoberajúcich sa dynamikou (vznikom a vývojom) planetárnych systémov. Obzvlášť veľká pozornosť je prirodzene venovaná exoplanétam, ktoré ležia v obývateľných zónach svojich materských hviezd. Pri týchto planétach je šanca, že sa na ich povrchu vytvoria podmienky vhodné na vznik života. Štúdium atmosférických spektier týchto exoplanét môže odhaliť stopy či atypické zastúpenia zlúčenín, ktoré sú charakteristické pre prítomnosť života (ako napríklad molekulárny kyslík či metán). **Všeobecnými otázkami vzniku a detekcie známkov života na exoplanétach sa zaoberá rýchlo sa rozvíjajúca veda astrobiológia.**

Obsah témy Po krátkom historickom exkurze popíšeme niektoré v súčasnosti využívané metódy detekcie exoplanét. Pre každú z metód spomenieme fyzikálne veličiny, ktoré sme schopní s jej pomocou merať, a zhrnieme jej doterajšie výsledky. V praktickej časti ponúkneme niekoľko úloh na precvičenie a prehĺbenie diskutovaných tém: od veľmi jednoduchých otázok a demonštrácií po zložitejšie úlohy a miniprojekty.

1.1 Kľúčové slová

exoplanéty

metóda radiálnych rýchlostí

metóda tranzitov

obývateľná zóna

horúci Jupiter

superzem

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽOV

Astronómovia zaviedli nasledujúce systematické označovanie exoplanét: za označenie hviezdy pripojíme malé písmeno latinskej abecedy, počnúc písmenom „b“, ktoré indikuje poradie, v akom bola exoplanéta pri danej hviezde objavená. Napríklad, HIP 75458b označuje prvú planétu objavenú pri hviezde s označením HIP 75458, alebo 55 Cancri e označuje štvrtú planétu detegovanú pri hviezde 55 Cancri.

Označovanie exoplanét

Existencia planét mimo našu slnečnú sústavu bola predmetom špekulácií astronómov, filozofov aj niektorých spisovateľov po stáročia. A to už od doby heliocentrického poňatia vesmíru, kedy Giordano Bruno prišiel s myšlienkou, že hviezdy sú v skutočnosti objekty podobné nášmu Slnku a ako také môžu hostiť planetárne systémy. S podobnými tézami prichádzali vedci a myslitelia aj v nasledujúcich obdobiach, vrátane slovotvorných mien ako napr. Isaac Newton, ktorý vo svojom diele Principia stavia cudzie planetárne systémy na roveň slnečnej sústavy. V priebehu rokov sa o detekciu exoplanét rôznymi metódami pokúšalo mnoho astronómov. Všetky oznámené objavy sa však neskôr ukázali ako mylné. Najbližšie k prelomovému pozorovaniu prvej exoplanéty sa astronómovia dostali v roku 1983, kedy bol spozorovaný protoplanetárny disk (zárodok planetárneho systému) okolo hviezdy Beta Pictoris. **Zlom nastal až v roku 1988, kedy sa datuje prvá detekcia exoplanéty, ktorá bola neskôr skutočne potvrdená, hoci až v roku 2003.** Išlo o tzv. horúci Jupiter obiehajúci hviezdu Gamma Cephei, ktorý bol objavený metódou radiálnych rýchlostí (pre vysvetlenie oboch pojmov pozri nižšie) **kanadskými astronómami B. Campbellom, G. Walkerom a S. Yangem.** Medzitým však nasledovali objavy exoplanetárneho systému okolo pulzaru PSR 1257 + 12 v roku 1992 a tiež planéty obiehajúcej okolo hviezdy hlavnej postupnosti (51 Pegasi) v roku 1995, ktoré boli potvrdené veľmi skoro. Nie je teda zrejmé, ktorý z týchto počínov možno spravodlivo označiť ako prvú detekciu exoplanéty. V rokoch okolo prelomu tisícročia a neskorších, počet významných objavov rapídne rástol.

História

Pre prehľadnosť tu uvádzame súhrn najdôležitejších míľnikov:

1988: prvá neskôr potvrdená detekcia exoplanéty (Gamma Cephei b)

1992: prvá detekcia exoplanéty obiehajúcej okolo pulzaru (PSR 1257 + 12b)

1996: prvá detekcia exoplanéty obiehajúcej okolo hviezdy hlavnej postupnosti (51 Pegasi b)

1999: prvá tranzitujúca exoplanéta (HD 209458b), prvý multiplanetárny systém (Upsilon Andromedae)

2001: prvá exoplanéta obiehajúca v obývateľnej zóne (HD 28185b), prvé meranie vlastností exoplanetárnej atmosféry (HD 209458b)

2005: prvé priame pozorovanie exoplanéty (HD 209458b Spitzerovým ďalekohľadom v infračervenom odbore)

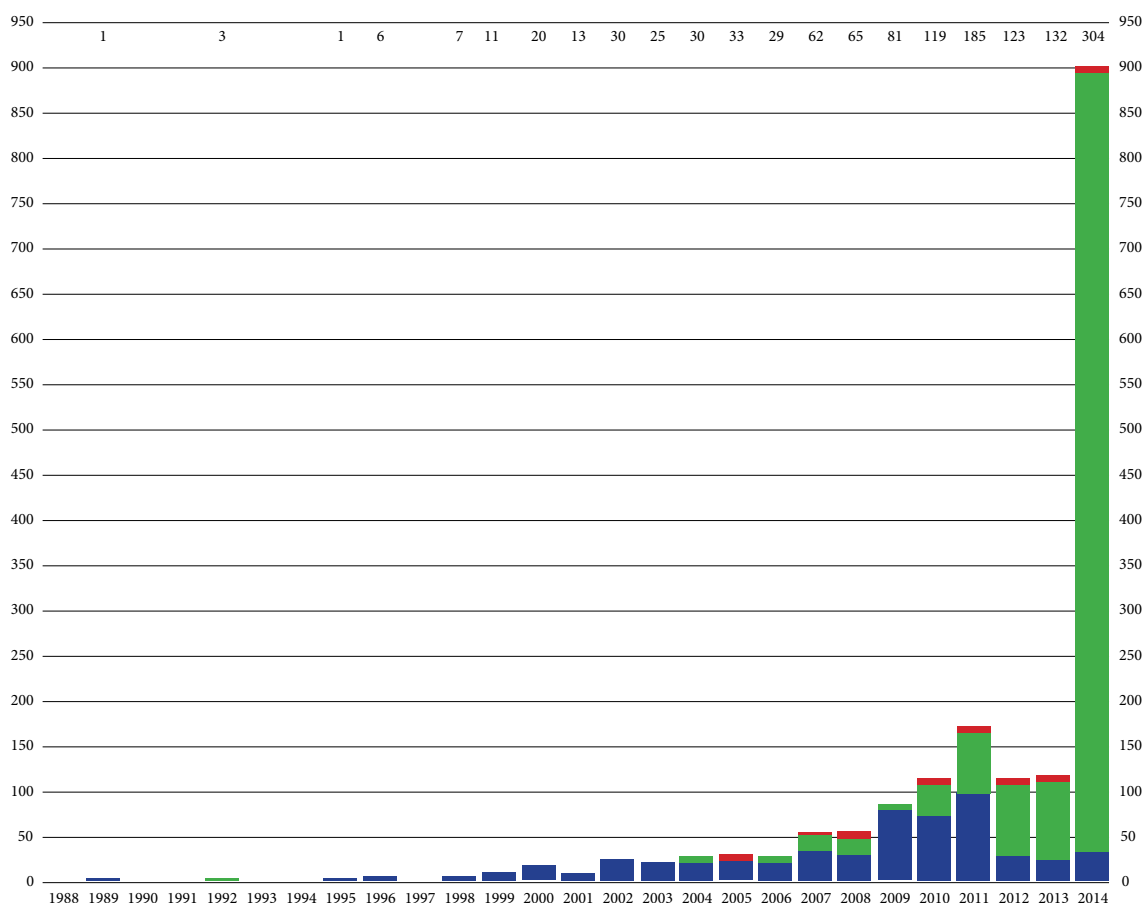
2006: vypustená družica CoRoT, prvá družica špecializovaná na detekciu exoplanét (metódou tranzitov)

2009: vypustená družica Kepler, ktorá má za úlohu nepretržite merať jasnosť približne 15000 hviezd a hľadať známky prítomnosti exoplanét; družica CoRoT objavuje prvú terrestriálnu planétu (CoRoT-7b)

2014: objavená prvá kamenná exoplanéta veľkosti Zeme obiehajúca v obývateľnej zóne (Kepler-186f)

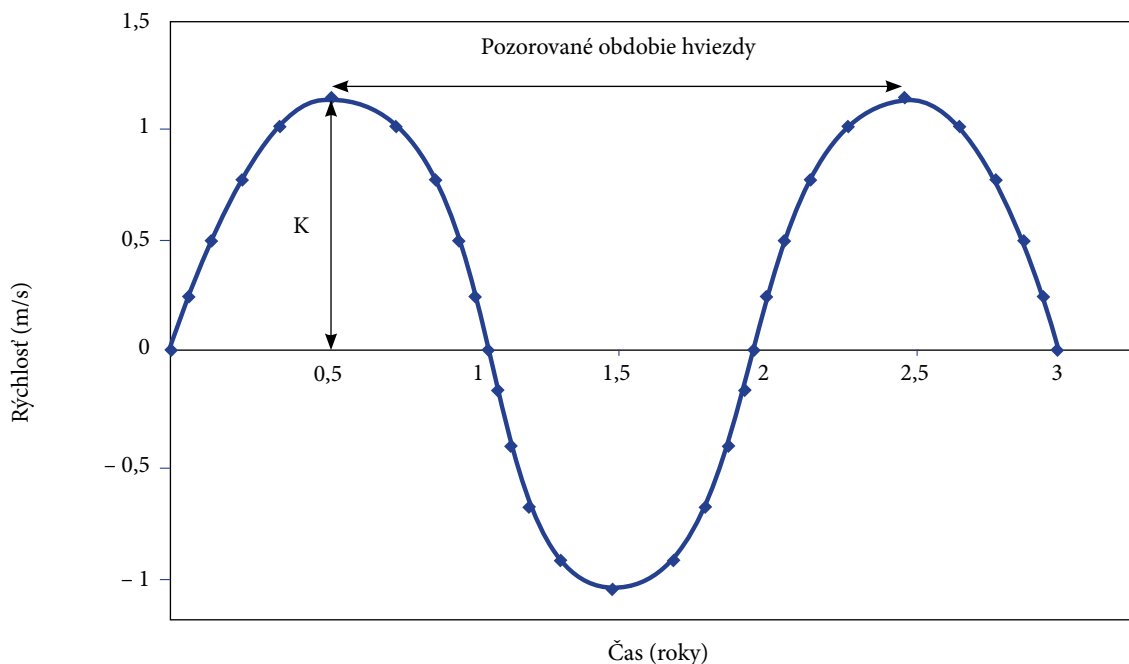
6. Galaktické prostredie

Metódy detekcie Základnou prekážkou, ktorá robí detekciu exoplanét veľmi zložitou, je fakt, že **ide o relatívne malé a zároveň vzdialené objekty, ktoré svietia iba odrazeným svetlom hviezd, okolo ktorých obiehajú.** Toto je ďalej umocnené skutočnosťou, že pri pohľade zo Zeme sa exoplanéty nachádzajú v bezprostrednej uhlovej vzdialenosti od ich materskej hviezdy a sú teda jej priamym svetlom kompletne „presvietené“. Aj keď pozorovacia technika už pokročila do štádia, ktoré umožňuje priame zobrazovanie niektorých exoplanét (ktoré sa nachádzajú v dostatočnej uhlovej vzdialenosti od centrálnej hviezdy), musia sa astronómovia v úplnej väčšine prípadov spoliehať na nepriame metódy pozorovania. Toto podčiarkuje tiež diagram na Obrázku 2, ktorý ukazuje počty exoplanét objavených jednotlivými metódami v jednotlivých rokoch. V nasledujúcich odsekoch podrobne popíšeme **dve najbežnejšie nepriame metódy detekcie exoplanét: tzv. metódu radiálnych rýchlostí a metódu tranzitnej fotometrie.**



Obrázok 2: Počet exoplanét objavených v jednotlivých rokoch podľa metódy detekcie. Červená: priame zobrazenie, oranžová: mikrošoškovkanie, zelená: metóda tranzitov, modrá: metóda radiálnych rýchlostí. (zdroj: Wikipédia (CC licence))

Meranie radiálnej rýchlosti použitím Dopplerovho spektrometra



Obrázok 3: Graf závislosti veľkosti radiálnej rýchlosti materskej hviezdy na čase.
(zdroj: Wikipédia (CC licence))

Táto metóda využíva jeden zo základných princípov dynamiky binárnych systémov: **v inerciálnej sústave menšie teleso neobíha okolo väčšieho, ale obe telesá obiehajú okolo spoločného hmotného stredu.** Prítomnosť obiehajúcej exoplanéty teda spôsobuje, že samotná centrálna hviezda sa pohybuje po (všeobecne eliptickej) dráhe okolo hmotného stredu systému hviezda – exoplanéta. Z pohľadu pozorovateľa na Zemi to znamená, že radiálna zložka rýchlosti hviezdy voči Zemi sa periodicky zväčšuje a znižuje (pozri Obrázok 3). **Toto sa prejaví v spektre hviezdy ako periodický (Dopplerov) posuv spektrálnych čiar okolo ich stredných polôh, ktorý je v princípe detekovateľný pomocou spektrometra.** Veľkosť tohto posuvu závisí od viacerých faktorov. Po prvé, pomer obežných rýchlostí hviezdy a exoplanéty okolo ich spoločného hmotného stredu sa rovná pomeru hmotnosti exoplanéty k hmotnosti hviezdy. Po druhé, obežná rýchlosť planéty je nepriamo úmerná odmocnine vzdialenosti od hmotného stredu systému.

Metóda radiálnych rýchlostí

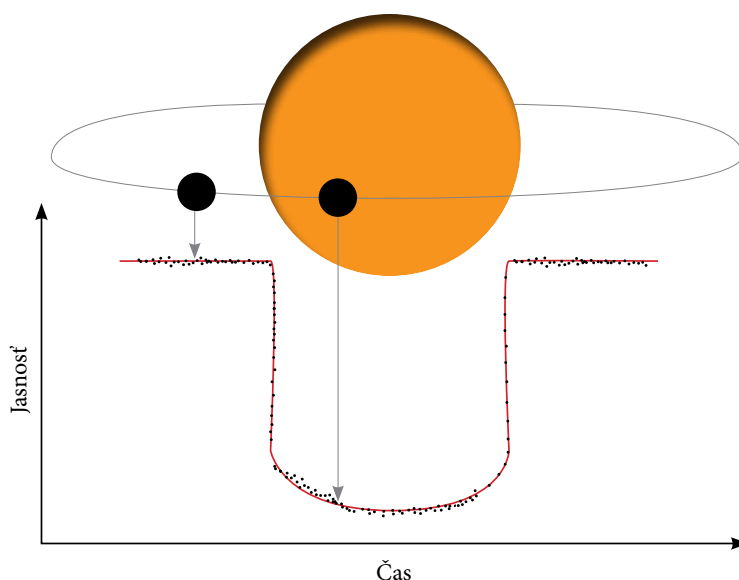
Platí teda, že čím väčšia hmotnosť exoplanéty a čím menšia jej vzdialenosť od materskej hviezdy, tým väčšia bude obežná rýchlosť hviezdy okolo hmotného stredu. Typické hodnoty obežných rýchlostí exoplanét sa pohybujú rádovo v desiatkach až stovkách km/s. Pre hviezdy podobné Slnku a exoplanéty s hmotnosťami v ráde hmotnosti Jupitera, dostávame veľkosť obežnej rýchlosti hviezdy okolo spoločného hmotného stredu v ráde desiatok m/s. Veľkosť zmeny radiálnej rýchlosti, a teda aj samotná amplitúda zmien polohy spektrálnych čiar, ďalej závisí od sklonu obežnej roviny systému voči zornému lúču pozorovateľa: pokiaľ systém hviezda – exoplanéta obieha v rovine kolmej na zorný lúč, bude priemet obežnej rýchlosti hviezdy do radiálneho smeru nulový a metóda teda nepoužiteľná. Naopak, ideálny je prípad, keď zorný lúč prechádza obežnou rovinou systému a amplitúda zmien radiálnej rýchlosti je teda priamo rovná obežnej rýchlosti exoplanéty. Pre vyššie uvažovaný prípad dostávame amplitúdu posuvu spektrálnych čiar viditeľného spektra v ráde 10 – 5 nm.

6. Galaktické prostredie

Detekcia exoplanét touto metódou je tiež ovplyvnená **veľkosťou obežnej periódy**: pre príliš dlhé periódy môže byť ťažké si tieto malé zmeny v spektre všimnúť. Fyzikálne charakteristiky systému, ktoré môžeme priamo merať metódou radiálnych rýchlostí zahŕňajú periódu obehu a amplitúdu radiálnej rýchlosti. Za predpokladu znalosti odhadu hmotnosti centrálnej hviezdy môžeme z týchto veličín použitím tretieho Keplerovho zákona vypočítať veľkosť obežnej dráhy exoplanéty a jej efektívnu hmotnosť $M_p \sin i$, kde i je (neznámy) sklon roviny obežnej dráhy exoplanéty voči rovine kolmej na zorný lúč.

Metódou radiálnych rýchlostí bolo doteraz objavených približne **700 exoplanét**, prevažne takzvaných „horúcich Jupiterov“. T. j. exoplanét s hmotnosťami v ráde niekoľkých násobkov hmotnosti Jupitera, vzdialenosťami v rádoch zlomkov astronomických jednotiek od centrálnej hviezdy (teda s vysokými povrchovými teplotami) a obežnými periódami v ráde hodín až dní.

Toto sa dá ľahko spojiť s vyššie popísanými charakteristikami metódy radiálnych rýchlostí, ktoré určujú, že ideálnymi objektmi na detekciu touto metódou sú práve hmotné exoplanéty obiehajúce vo veľmi malej vzdialenosti od centrálnej hviezdy s veľmi krátkou periódou obehu. Metóda teda dáva za vznik **tzv. výberovému efektu**: ak by nebolo iných metód detekcie exoplanét, mohli by sme nadobudnúť dojem, že typickými exoplanétami vo vesmíre sú objekty s pomerne extrémnymi vlastnosťami, vzhľadom na planéty slnečnej sústavy. K najúspešnejším „lovcom“ exoplanét touto metódou zaraďujeme spektrometer HARPS (High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher) umiestnený na 3,6 metrovom ďalekohľade ESO v La Silla a spektrometer HIRES (High Resolution Echelle Spectrometer) umiestnený na jednom z ďalekohľadov observatória Keck. Oba spektrometre umožňujú merať amplitúdy radiálnych rýchlostí okolo 1 m/s.



Obrázok 4: Prechod exoplanéty cez disk materskej hviezdy

Metóda tranzitnej fotometrie Metódou, ktorá vyvažuje niektoré nedostatky metódy radiálnych rýchlostí, je tranzitná fotometria. Tu využívame fakt, že exoplanetárne systémy, pre ktoré je uhol sklonu ich obežnej roviny, vzhľadom na zorný lúč veľmi malý, môžu z pohľadu pozorovateľa vykazovať

prechody exoplanéty cez disk materskej hviezdy – tzv. tranzity. Počas tranzitu teda disk exoplanéty zatieni časť svetla, ktoré prichádza od hviezdy k pozorovateľovi. Toto sa opakuje s periódou, ktorá je rovná obežnej perióde systému. Závislosť jasnosti hviezdy od času nazývame svetelná krivka. Svetelné krivky exoplanét majú charakteristický tvar (pozri Obrázok 4), ktorý je podobný tvaru svetelných kriviek zákrytových dvojhviezd: interval poklesu jasnosti, ktorý je spojený s prechodom exoplanéty cez disk hviezdy, nazývame **primárnym minimom**. Keďže žiarenie odrazené od exoplanéty je rádovo slabšie než priame žiarenie od hviezdy, **sekundárne minimum** (teda interval, kedy je disk planéty zakrytý diskom hviezdy) na svetelnej krivke prakticky chýba (modernými technikami však je merateľné).

Okamih začiatku poklesu jasnosti nazývame prvým kontaktom, koniec poklesu predstavuje druhý kontakt, začiatok opätovného nárastu jasnosti tretí kontakt a okamih návratu na pôvodnú jasnosť nazývame štvrtý kontakt. Veľkosť zmenšenia jasnosti hviezdy v dôsledku prechodu exoplanéty (hĺbka tranzitu) závisí predovšetkým od pomeru polomeru exoplanéty k polomeru hviezdy. Čím bližšie je tento pomer k jednej, tým väčšia časť disku hviezdy je počas tranzitu zakrytá a tým väčší pokles jasnosti nastáva. Pre predstavu tranzit Zeme cez disk Slnka by pre vzdialeného pozorovateľa spôsobil pokles jasnosti Slnka o 0,0001 mag čiže o 0,008 %. Ako už bolo spomenuté, samotná pozorovateľnosť tranzitu závisí od geometrie obežnej dráhy: pre systémy s príliš veľkým sklonom roviny obežnej dráhy voči zornému lúču nemusia byť tranzity vôbec pozorovateľné.

Fyzikálne veličiny, ktoré môžeme určiť priamo zo svetelnej krivky, zahŕňajú obežnú periódu a pomer polomeru hviezdy k polomeru planéty. Za predpokladu znalosti odhadu hmotnosti centrálnej hviezdy môžeme z tretieho Keplerovho zákona dopočítať polomer a obvod obežnej dráhy a odtiaľ z dĺžky intervalov medzi jednotlivými kontaktmi rekonštruovať geometriu systému vrátane sklonu obežnej roviny voči zornému lúču, polomeru hviezdy aj polomeru exoplanéty. **V kombinácii s metódou radiálnych rýchlostí, ktorá poskytuje údaj o hmotnosti exoplanéty, sme teda schopní určiť hustotu exoplanéty. To nám dovoľuje určiť jej typ (plynný obor, kamenné teleso, ľadové teleso).**

Ako vidíme na Obrázku 2, metódou tranzitnej fotometrie bolo objavených s prevahou najviac exoplanét, a to hlavne vďaka družici Kepler. Tá samotná ich má na konte vyše 2 000 potvrdených a okolo 10 000 nepotvrdených (údaje k augustu 2018). Moderné prístroje dosahujú už takú presnosť, kedy je možné metódou tranzitov detegovať exoplanéty s polomerom menším než je polomer Zeme. Tendencia produkovať výberové efekty je všeobecne výrazne menšia, než v prípade metódy radiálnych rýchlostí. **Okrem kamenných planét zemského typu boli touto metódou objavené objekty, ktoré v Slnčnej sústave nepozorujeme: tzv. superzeme** (napríklad CoRoT-7b). Teda planéty s hmotnosťou väčšou ako hmotnosť Zeme, ale zároveň výrazne menšou, než je hmotnosť Uránu alebo Neptúna. Metóda tranzitnej fotometrie je tiež jedinou metódou pozorovania exoplanét, ktorá je dosiahnuteľná v amatérskych podmienkach. V Českej republike je amatérske pozorovanie exoplanét zastrešené v rámci Sekcie premenných hviezd a exoplanét Českej astronomickej spoločnosti.

Zdroje a odporúčaná literatúra

1. POKORNÝ, Z.,: *Exoplanety*, Academia (2007)
2. SEAGER, S.,: *Exoplanets*, University of Arizona Press (2011)
3. webové stránky SPHE ČAS, <http://var2.astro.cz>

3. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽA

Úloha 1: Obývatel'ná zóna

V tejto praktickej úlohe použijú žiaci zdroj tepla a teplomer, pričom budú skúmať, ako sa mení povrchová teplota exoplanéty so zmenou vzdialenosti od materskej hviezdy.

Žiaci si použitím teplomerov a žiaroviek s rôznou odrazivosťou uvedomia vplyv povrchového albeda na teplotu na exoplanéte. Hlavným cieľom je, aby žiaci pochopili základnú myšlienku, že v okolí materskej hviezdy sa nachádzajú miesta s vysokou a nízkou teplotou, vrátane oblastí (obývatel'ná zóna alebo Zlatovláskina zóna), kde je na povrchu planéty vhodná teplota na udržanie vody v tekutom skupenstve.

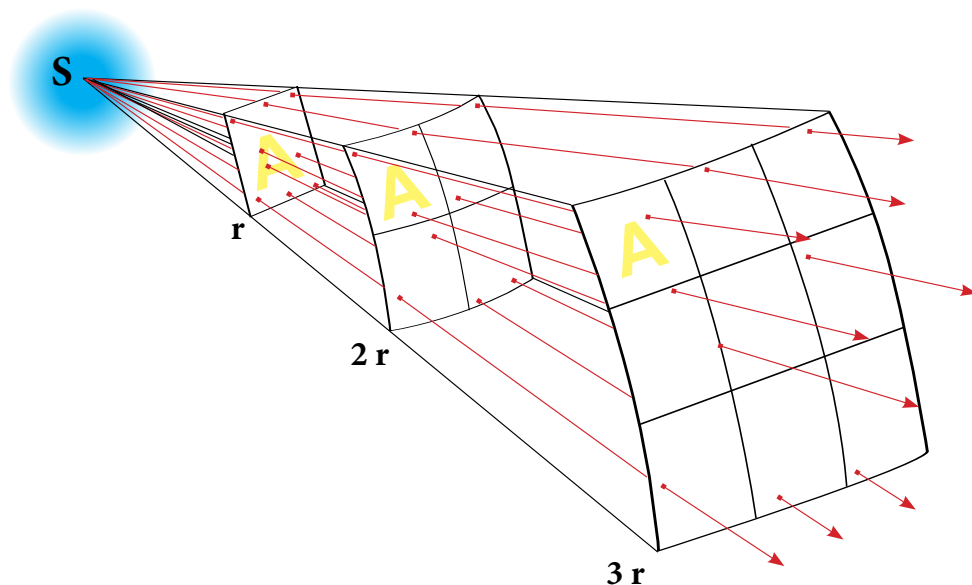
Pomôcky

- zdroj sálavého tepla,
- dva teplomery (jeden s nádržkou zafarbenou na čierne, druhý s lesklou nádržkou),
- laboratórny stojan so svorkami,
- pravítko, milimetrový papier.

Otázky na úvod

Otázka: Mala by povrchová teplota exoplanéty vzrastať alebo klesať so vzdialenosťou od materskej hviezdy? Prečo?

Odpoveď: Znižuje sa, pretože energia prijímaná jednotkou plochy od izotropne emitujúceho (všetkými smermi vyžarujúceho) zdroja (materská hviezda) klesá s druhou mocninou vzdialenosti. Pozri Obr. 5 nižšie.



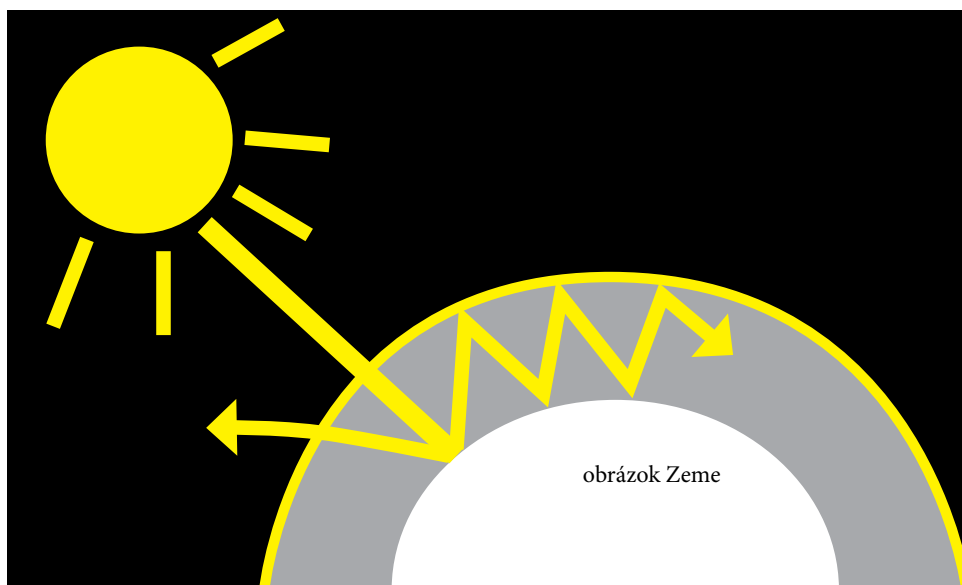
Obrázok 5: Zákon prevrátaných hodnôt pre vyžarovanie (zdroj: Wikipédia)

Otázka: Ako je ovplyvnená teplota exoplanéty odrazivosťou jej povrchu?

Odpoveď: Čím je povrch exoplanéty odrážavejší (t. j. čím vyššie je albedo), tým viac energie zachytenej exoplanétou je poslaná späť do vesmíru, to znamená, čím menej energie je exoplanétou absorbované, tým nižšia je jej povrchová teplota.

Otázka: Aký je vplyv atmosféry na teplotu exoplanéty?

Odpoveď: Atmosféra vracia späť časť energie, ktorú povrch odrazí alebo vyžiari preč do vesmíru. Slúži teda na „udržanie“ energie v systéme, čím sa zvyšuje teplota exoplanéty. To je v podstate myšlienka skleníkového efektu. Pozri Obr. 6 nižšie.



Obrázok 6: Skleníkový efekt

(zdroj: <https://www.wonderworksonline.com/>)

Otázka: Čo je „obývateľná zóna“?

Odpoveď: Ide o interval vzdialeností od materskej hviezdy, kde exoplanéty môžu mať pri dostatočnom atmosférickom tlaku na svojom povrchu tekutú vodu. Potrebný interval povrchových teplôt je zhruba medzi 0 °C až 100 °C (závislé od presnej hodnoty atmosférického tlaku). Hranice obývateľnej zóny nie sú z dôvodu závislosti teploty exoplanéty od vlastností jej povrchu a atmosféry ostro vymedzené.

Otázka: Ktoré planéty Slnčnej sústavy ležia vnútri obývateľnej zóny?

Odpoveď: Iba Zem. Hoci vzdialenosť Venuše od Slnka nie je príliš malá, vysoká hojnosť skleníkových plynov v jej atmosfére vedie k podmienkam, ktoré nedovoľujú na jej povrchu udržať tekutú vodu. Na druhej strane, Mars leží tesne za vonkajšou hranicou obývateľnej zóny Slnka. Vzhľadom na jeho tenkú atmosféru je väčšina vody na Marse uchovaná vo forme ľadu v jeho polárnej čiapočke. Nie je však vylúčená prítomnosť tekutej vody v závislosti od ročného obdobia.

6. Galaktické prostredie

Otázka: Pomocou internetu nájdite exoplanéty, ktoré ležia v obývateľnej zóne ich materských hviezd. Zaznamenajte o exoplanétach a ich materských hviezdach čo najviac dostupných údajov.

Odpoveď: V auguste 2018 máme približne 40 potvrdených exoplanét, ktoré obiehajú okolo svojej materskej hviezdy v obývateľnej zóne.

Otázka: Prečo je tekutá voda nevyhnutnou zložkou pre vznik života?

Odpoveď: Mnohé látky, ktoré sú nevyhnutné pre život, sú rozpustiteľné v kvapalnej vode, čo môže sprostredkovať ich transport a absorpciu.

Otázka: Aké dôsledky má vývoj hviezd na obývateľnú zónu?

Odpoveď: Bežné hviezdy (hviezdy hlavnej postupnosti), kam patrí aj Slnko, sa počas vývoja stávajú viac žiarivé. To znamená, že sa pre danú hviezdu hranice obývateľnej zóny postupne posúvajú ďalej od materskej hviezdy. V dôsledku toho sa planéty na stabilných obežných dráhach stávajú oveľa teplejšie.

Otázka: Aký typ planét (z hľadiska ich chemického zloženia) by ste očakávali, že nájdete blízko ich materských hviezd? Aký typ planét by ste očakávali, že nájdete ďalej od hviezdy? Ako vaše odpovede korešpondujú s aktuálne dostupnými pozorovanými údajmi?

Odpoveď: Očakáva sa, že kamenné planéty budú najbližšie k ich materskej hviezde, zatiaľ čo plynní obry a ľadové telesá sú vo väčšej vzdialenosti. Je to preto, že počas obdobia formovania planéty sa prvky ako kremík a železo (z ktorých sú zložené kamenné planéty) zrážali pri oveľa vyšších teplotách než jednoduchšie prvky, ako je vodík a hélium (hlavné zložky plynných obrov). Hojný výskyt takzvaných „horúcich Jupiterov“, ktoré sú teraz nachádzané, preto nepatrí do tejto schémy a je potrebné nájsť teóriu zahŕňajúcu „planetárnu migráciu“.

Postup

Žiaci použijú dva typy teplomerov na meranie teploty, ktorá sa mení v závislosti od vzdialenosti od zdroja sálavého tepla. Jeden teplomer by mal mať očernetú nádržku, aby sa čo najviac vylúčil odraz, zatiaľ čo druhý by mal mať lesklú nádržku (napr. zabalenú do kusu hliníkovej fólie), aby odrážal čo najviac žiarenia. V dôsledku toho by mal lesklý teplomer vykazovať nižšie hodnoty než očernetý.

Podrobné pokyny pre žiakov

1. Pomocou dvoch svoriek pripojte oba teplomery k laboratórnemu stojanu.
2. Postavte stojan do vzdialenosti 1 m od zdroja sálavého tepla.
3. Počkajte, kým sa hodnoty na oboch teplomeroch ustália, a zaznamenajte teplotu nameranú oboma teplomermi.
4. Opakujte pre menšie vzdialenosti. Odporúčame znížiť vzdialenosť o 5 cm. Mali by ste sa zastaviť vo vzdialenosti, kde hodnoty teplôt prekračujú limit vašich teplomerov.

5. Na milimetrový papier nakreslite závislosť nameranej teploty od vzdialenosti od zdroja tepla. Výsledky pre oba teplomery by mali byť zahrnuté do jediného grafu. Na vodorovnú os vynášajte vzdialenosť (v cm) a na zvislú os zmeranú teplotu (v °C).
6. Preložte namerané dáta oboma teplomerami dvoma krivkami.

Po ukončení praktickej činnosti by mali žiaci odpovedať na nasledujúce otázky:

Otázka: Ako sa nameraná teplota mení so vzdialenosťou od zdroja tepla? Splňa to vaše očakávania?

Odpoveď: Žiaci by mali zistiť, že teplota skutočne klesá so vzdialenosťou tak, ako sme diskutovali vyššie.

Otázka: Čo možno povedať o vplyve odrazivosti teplomera na zaznamenanú teplotu?

Odpoveď: Žiaci by mali zistiť, že krivka, ktorú zakreslili pre očerný teplomer, leží nad krivkou zakreslenou pre lesklý teplomer. Vyššia odrazivosť teda vedie k zníženiu teploty.

Otázka: K akej teplote sa približujú namerané teplotné krivky pre veľké vzdialenosti?

Odpoveď: K súčasnej teplote v miestnosti.

Otázka: K akej teplote by sa blížili krivky u skutočnej exoplanéty?

Odpoveď: Absolútna nula, približne -270 °C.

Úloha 2: Tranzitná fotometria

V rámci tejto praktickej činnosti žiaci preskúmajú jednu z najúspešnejších nepriamych metód detekcie exoplanét – tranzitnú fotometriu. Materská hviezda bude predstavovaná sférickou žiarovkou a exoplanéta malou loptičkou s veľkosťou niekoľkých centimetrov. Pohyb po obežnej dráhe bude simulovaný zavesením loptičky na povrázok zo stojana na úrovni žiarovky, takže postrčenie loptičky bude mať za následok to, že sa pohybuje okolo žiarovky po kruhovej dráhe. Žiaci zaznamenajú intenzitu svetla prichádzajúcu zo žiarovky a vytvoria príslušnú svetelnú krivku. Po dokončení tejto činnosti by mali lepšie porozumieť tomu, ako funguje metóda tranzitnej fotometrie a od akých parametrov závisí svetelná krivka hviezdy s tranzitujúcou exoplanétou.

Pomôcky

- žiarovka (najlepšie guľovitá s matnou bankou),
- detektor svetla (ideálne doplnenie záznamom dát alebo pripojením k počítaču s vhodným softvérom na analýzu nameraných dát; alternatívne možno použiť stopky),
- laboratórny stojan so svorkami, korkové/polystyrénové loptičky rôznych veľkostí,
- kus povrázka.

6. Galaktické prostredie**Otázky na úvod**

Otázka: Prečo je ťažké pozorovať exoplanéty priamo?

Odpoveď: Ich uhlová vzdialenosť od materskej hviezdy je veľmi malá, zároveň sú omnoho slabšie ako materská hviezda, čo znamená, že ich svetlo je „utopené“ vo svetle, ktoré prichádza z hviezdy.

Otázka: Čo astronómovia nazývajú svetelnou krivkou?

Odpoveď: Svetelná krivka je závislosť pozorovanej jasnosti objektu (typicky hviezdy) od času.

Otázka: Aký vplyv má exoplanéta na svetlo, ktoré pozorujeme od jej materskej hviezdy?

Odpoveď: Za predpokladu, že sa pohľad zo Zeme na hviezdu nachádza v blízkosti roviny obežnej dráhy exoplanéty, bude exoplanéta pravidelne zakrývať disk materskej hviezdy. To sa prejaví pravidelnými poklesmi na svetelnej krivke materskej hviezdy.

Otázka: Popíšte tvar svetelnej krivky pre hviezdu s tranzitujúcou exoplanétou. Od akých parametrov tvar závisí?

Odpoveď: Podrobnosti nájdete v teoretickom úvode. Separácia poklesov je daná obežnou dobou. Hĺbka poklesov závisí od pomeru veľkosti hviezdy a exoplanéty.

Otázka: Závisí hĺbka poklesu v svetelnej krivke od vzdialenosti exoplanéty od materskej hviezdy?

Odpoveď: Nie, nezávisí, pretože polomer obežnej dráhy je veľmi malý v porovnaní so vzdialenosťou materskej hviezdy od Zeme, takže pomer uhlových veľkostí disku exoplanéty a materskej hviezdy (ktoré určujú časť svetla zatieneného exoplanétou, a tým hĺbku poklesu), sú dané priamo pomerom ich fyzických (lineárnych) veľkostí.

Otázka: Aké sú typické pomery veľkosti exoplanéty a materskej hviezdy?

Odpoveď: Pri exoplanétach veľkosti Zeme obiehajúcich okolo hviezd podobných Slnku získavame pomery približne 1/100, zatiaľ čo pre planéty veľkosti Jupiter získavame 1/10.

Otázka: Vypočítajte, koľko percent svetla materskej hviezdy je zatienených exoplanétou, ktorá je 100-krát menšia ako hviezda.

Odpoveď: Percento zatienenia svetla je dané pomerom, ktorý je $(1/100)^2 = 0,01\%$.

Otázka: Ako je svetelná krivka tranzitu exoplanéty ovplyvnená polohou roviny obežnej dráhy, vzhľadom na smer pozorovania zo Zeme?

Odpoveď: Zásadný vplyv je na dĺžku pozorovaného tranzitu: najdlhšie možné trvanie tranzitu je dosiahnuté, ak sa pozeráme v smere roviny obežnej dráhy, zatiaľ čo pre dostatočne veľký sklon môže tranzit úplne zmiznúť. Geometria všeobecne neovplyvňuje hĺbku poklesu (zanedbávame okrajové stmievanie a hraničné prípady, keď disk exoplanéty iba škrtnie disk svojej materskej hviezdy), ani neovplyvňuje separáciu jednotlivých poklesov, ktorá sa vždy rovná perióde obehu exoplanéty okolo hviezdy.

Otázka: Uvedte príklad vesmírneho observatória, ktoré sa venuje detekcii exoplanét pomocou tranzitnej fotometrie. Pomocou internetu môžete vyhľadať príklady potvrdených exoplanét detegovaných týmto observatóriom.

Odpoveď: Napríklad kozmický ďalekohľad Kepler, ktorý k augustu 2018 detegoval cez 2 000 potvrdených exoplanét. Ako príklad môžeme uviesť, že exoplanéta označená ako Kepler-442b obieha okolo svojej materskej hviezdy (vzdialenosť od Zeme 1 120 ly, hmotnosť 0,61 hmotnosti Slnka a svietivosť 0,11 žiarivého výkonu Slnka) vo vzdialenosti 0,4 au s periódou 112 dní. Exoplanéta má hmotnosť 2,3 násobok hmotnosti Zeme a polomer 1,3 násobok polomeru Zeme. Leží v obývateľnej zóne materskej hviezdy.

Postup

Žiaci modelujú exoplanetárny systém obsahujúci jednu exoplanétu pomocou žiarovky s guľovou matnou bankou (veľkosť 20 – 30 cm) a polystyrénovej loptičky (veľkosť 2 – 3 cm; žiaci môžu použiť rad loptičiek rôznych veľkostí).

- Jeden koniec povrázka pripoja k loptičke. Druhý koniec prichytia k svorke pripevnenej k laboratórnemu stojanu. Výška by mala byť nastavená tak, aby sa loptička mohla pohybovať na úrovni svetelného zdroja. Orbitálny pohyb exoplanéty predstavuje kruhový pohyb loptičky zavesenej zo stojana okolo žiarovky. Dĺžka povrázka by mala byť dostatočne veľká (> 1 m) v porovnaní s polomerom pohybu loptičky, takže periódu možno považovať za nezávislú od polomeru.
- Pomocou detektora intenzity svetla umiestneného v rovine, v ktorej sa loptička otáča okolo žiarovky a ideálne pripojeného k počítaču vybavenému vhodným softvérom, ktorý umožňuje zaznamenávať a analyzovať dáta z detektora, budú žiaci merať svetelnú krivku žiarovky. V prípade, že dáta z detektora svetla nemôžu byť analyzované počítačom, použijú žiaci stopky, aby zaznamenali časy tranzitov, zatiaľ čo zaznamenajú údaje z detektora.
- Žiaci potom experimentujú s umiestnením exoplanéty na rôzne obežné dráhy, posunutím detektora mierne z orbitálnej roviny, alebo pomocou loptičiek rôznych veľkostí. Mali by si uvedomiť, aké účinky majú tieto úpravy na zaznamenané svetelné krivky. Pravdepodobne bude veľmi ťažké dosiahnuť správne mierky pri jednotlivých telesách. Výsledkom je, že žiaci môžu pozorovať závislosť hĺbky poklesov v ich svetelných krivkách na vzdialenosti, v ktorej guľa obieha okolo žiarovky. Žiakom je potrebné pripomenúť, že tieto účinky zmiznú v realistických systémoch, kde je polomer obežnej dráhy oveľa menší ako vzdialenosť systému od pozorovateľa (detektora).

6. Galaktické prostredie**Podrobné pokyny pre žiakov**

1. Pomocou dodaného materiálu a pokynov od svojho učiteľa vytvorte model exoplanéty obiehajúcej okolo materskej hviezdy.
2. Umiestnite detektor svetla do roviny obežnej dráhy loptičky okolo žiarovky.
3. Zmerajte svetelnú krivku žiarovky s obiehajúcou loptičkou v priebehu niekoľkých periód.
4. Experimentujte s umiestnením loptičky do rôznych obežných dráh. Zaznamenajte zodpovedajúce svetelné krivky pre každý typ obežnej dráhy.
5. Zmerajte svetelnú krivku tak, že mierne nadvihnete detektor nad rovinu obežnej dráhy (ale tak, aby sa stále objavovali tranzity).
6. Analyzujte získané svetelné krivky. Pre každú svetelnú krivku, ktorú ste zmerali, určte:
 - obežnú dobu loptičky (v sekundách);
 - hĺbku poklesu (ako percento svetla blokovaného loptičkou);
 - šírku poklesu (v sekundách).

Po ukončení praktickej činnosti by žiaci mali odpovedať na nasledujúce otázky:

Otázka: Ako závisí nameraná obežná doba od veľkosti obežnej dráhy loptičky? Platí to aj v systémoch, kde skutočná exoplanéta obieha skutočnú hviezdu?

Odpoveď: Pokiaľ je dĺžka závesu v porovnaní s polomerom obežnej dráhy veľká, mali by žiaci túto periódu zistiť. Táto vlastnosť fyzikálneho kyvadla (pre malé výchylky) nie je samozrejme rovnaká ako u gravitačných systémov, kde je obežná doba závislá od polomeru obežnej dráhy pomocou tretieho Keplerovho zákona.

Otázka: Ako sa mení hĺbka poklesu svetelnej krivky v závislosti od veľkosti loptičiek?

Odpoveď: Žiaci by mali vypožorovať, že ak použijú väčšiu loptičku, dosiahnu väčší pokles.

Otázka: Ako sa mení šírka poklesu svetelnej krivky, ak zvyšujeme polomer obežnej dráhy?

Odpoveď: Zväčšenie veľkosti obežnej dráhy zvyšuje rýchlosť, ktorou sa loptička pohybuje (pretože perióda by mala byť zhruba konštantná). Žiaci by si mali uvedomiť, že to povedie k užším minimám.

Otázka: Aký má vplyv posunutie detektora niekam mimo roviny obežnej dráhy?

Odpoveď: Za predpokladu, že k tranzitom stále dochádza, by mali žiaci pozorovať, že sa zmenšuje šírka minima, pretože keď detektor neleží presne v rovine obežnej dráhy, prechádza loptička kratšou časťou disku žiarovky, než keby bola v rovine obežnej dráhy.

Zdroje a použitá literatúra

1. Exoplanet Physics – IOP:
www.iop.org/education/teacher/resources/exoplanet_physics/
2. Exoplanets: Lesson Plan – Jodrell Bank:
www.jodrellbank.net/wp-content/uploads/2014/10/Exoplanets-Lesson-Plan.docx

ZDROJE ENERGIE: JADROVÉ REAKCIE

1. ÚVOD

Hlavnou otázkou fyziky hviezd je, prečo hviezdy žiaria? Ako dlho žiarili a ako dlho budú žiariť? Aké procesy sú schopné produkovať takéto obrovské množstvo energie, vďaka ktorej hviezdy žiaria?

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

termonukleárne reakcie

protón-protónový cyklus (p-p cyklus)

uhlíkovo-dusíkovo-kyslíkový cyklus (CNO cyklus)

syntéza ťažkých prvkov

héliové reakcie

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

Aké sú procesy, ktoré vytvárajú žiarenie hviezd? Elementárne výpočty ukazujú, že zdroj energie, ako chemická oxidácia alebo spaľovanie, je ako zdroj energie vo hviezdach nedostatočný. Aj keby celé Slnko bolo tvorené uhlíkom a rovnako veľkým množstvom kyslíka na udržanie jeho horenia, Slnko by časom úplne vyhorelo a za niekoľko tisíc rokov by sa z neho stal popol. Ďalším zdrojom energie by mohla byť gravitačná kontrakcia (zmrštenie). Keď sa masívne teleso zmrštuje pod vplyvom gravitácie, jeho vonkajšie časti doslova padajú do stredu a energia padajúcej hmoty sa premieňa na teplo. Výpočty ukazujú, že by sa zmrštením z takmer nekonečne veľkého telesa na jeho súčasnú veľkosť mohlo Slnko svojou súčasnou energiou žiariť menej ako 50 miliónov rokov.

Silným zdrojom energie by mohla byť premena hmoty na energiu. Ešte Einstein preukázal, že hmota a energia sú spojené jednoduchým vzorcom:

$$E = mc^2,$$

kde E je energia prijatá z hmoty s hmotnosťou m, a c je rýchlosť svetla.

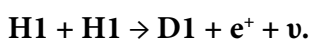
Termonukleárne reakcie

Aké sú procesy, pomocou ktorých sa môže hmota premeniť na energiu? Toto sú **termonukleárne reakcie**. Ich pôsobením sa elementy v jadrách hviezd navzájom ovplyvňujú a stávajú sa z nich ďalšie prvky, čím sa uvoľňuje obrovské množstvo energie. Prvýkrát v roku 1920 sa Arthur Edington domnieval, že hviezdy získavajú svoju energiu z termonukleárných reakcií, pri ktorých sa z vodíka stáva hélium. V roku 1939 Hans Bethel taktiež analyzoval možné jadrové reakcie, pri ktorých sa vodík premieňa na hélium. Navrhol dva procesy, ktoré podľa jeho názoru môžu produkovať potrebnú energiu v jadrách hviezd: **protón-protónový cyklus (nazývaný tiež p-p cyklus)** a **uhlíkovo-dusíkovo-kyslíkový cyklus (nazývaný tiež CNO cyklus)**.

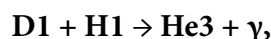
V súčasnosti sú tieto procesy považované za zodpovedné za energiu vyprodukovanú v jadrách hviezd, pričom ktorý z nich dvoch je účinnejší, závisí od teploty v jadrách hviezd.

2.1 Protón-protónový cyklus (p-p cyklus)

Toto je najdôležitejší mechanizmus výroby energie pre hviezdy podobné Slnku a pre hviezdy s menšou hmotnosťou. Aby sa mohli začať reťazové reakcie p-p, musí byť teplota okolo 4 000 000 K alebo vyššia. V najjednoduchšom prípade syntéza začína fúziou dvoch protónov. Protóny sú jadrá vodíka označené buď p (odtiaľ pochádza aj názov cyklu), alebo 1H (písmenom H sa označuje vodík). Výsledkom je, že sa vytvorí jadro deutéria (D alebo ^2H , izotop vodíka), pozitron e^+ a neutríno ν , a uvoľní sa veľké množstvo energie (1,44 megaelektrón voltov, $1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$):



Podmienky potrebné na uskutočnenie zlúčenia však v žiadnom prípade nie sú jednoduché a trvajú v priemere 8 miliárd rokov, čo tiež vysvetľuje pomalý vývoj Slnka. Ďalšie procesy prebiehajú omnoho rýchlejšie. Najrýchlejšie prebiehajúcou reakciou (za menej ako 2 sekundy) je zrážka deutéria D s tretím protónom a tvorba jadier izotopu hélia He^3 :



pričom sa pri tejto reakcii oddeľuje **vysoko energetické gama kvantum (γ)**.

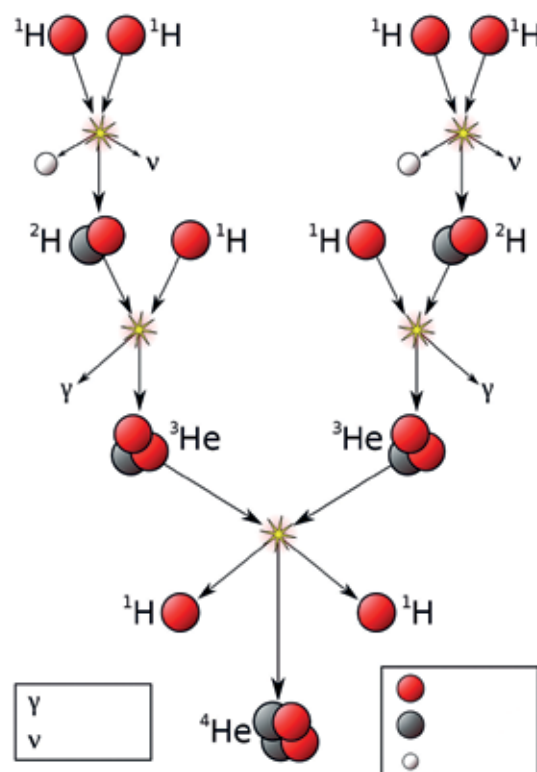
Fúzia dvoch jadier He^3 vedie k vytvoreniu jadra obyčajného hélia, čím sa uvoľnia dva protóny a opäť aj značné množstvo energie. Z vodíka sa teda stáva hélium:



Takto zo 4 protónov (jadier vodíka) získame jedno jadro hélia a zároveň oddelíme dva pozitrony a dva neutrína: $4\text{p} \rightarrow \text{He}4 + 2\text{e}^+ + 2\nu$. Celková energia uvoľnená počas týchto reakcií je viac ako 25 MeV.

Schéma protón-protónového cyklu je znázornená na Obr. 1.

Animáciu nájdete na tomto odkaze: <https://www.youtube.com/watch?v=LpUB8iMbNw0>.



Obrázok 1: Schéma protón-protónového cyklu

(červená farba – protóny, sivá – neutróny, biela – pozitrony; γ – gama lúče, ν – neutrína)

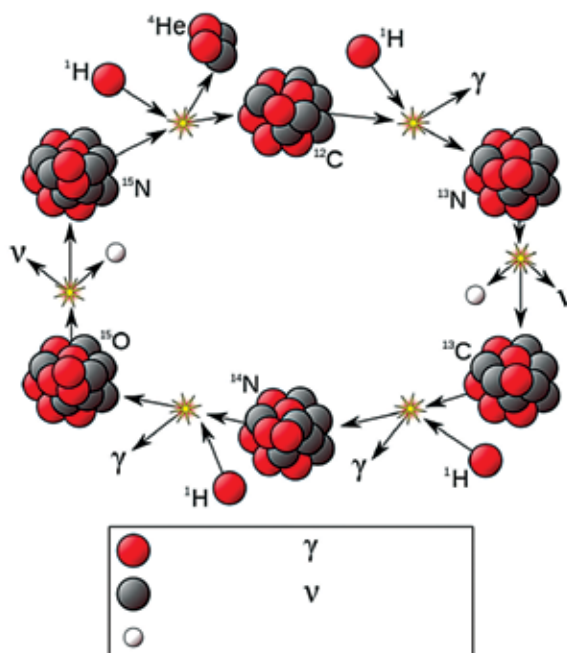
(zdroj: Sarang <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51118538>)

Sú možné aj ďalšie dva varianty p-p cyklu zahŕňajúce prvky berýlium (Be) a lítium (Li), ale výsledok je opäť rovnaký – zo štyroch atómov vodíka sa vytvorí ťažšie jadro hélia a uvoľní sa energia.

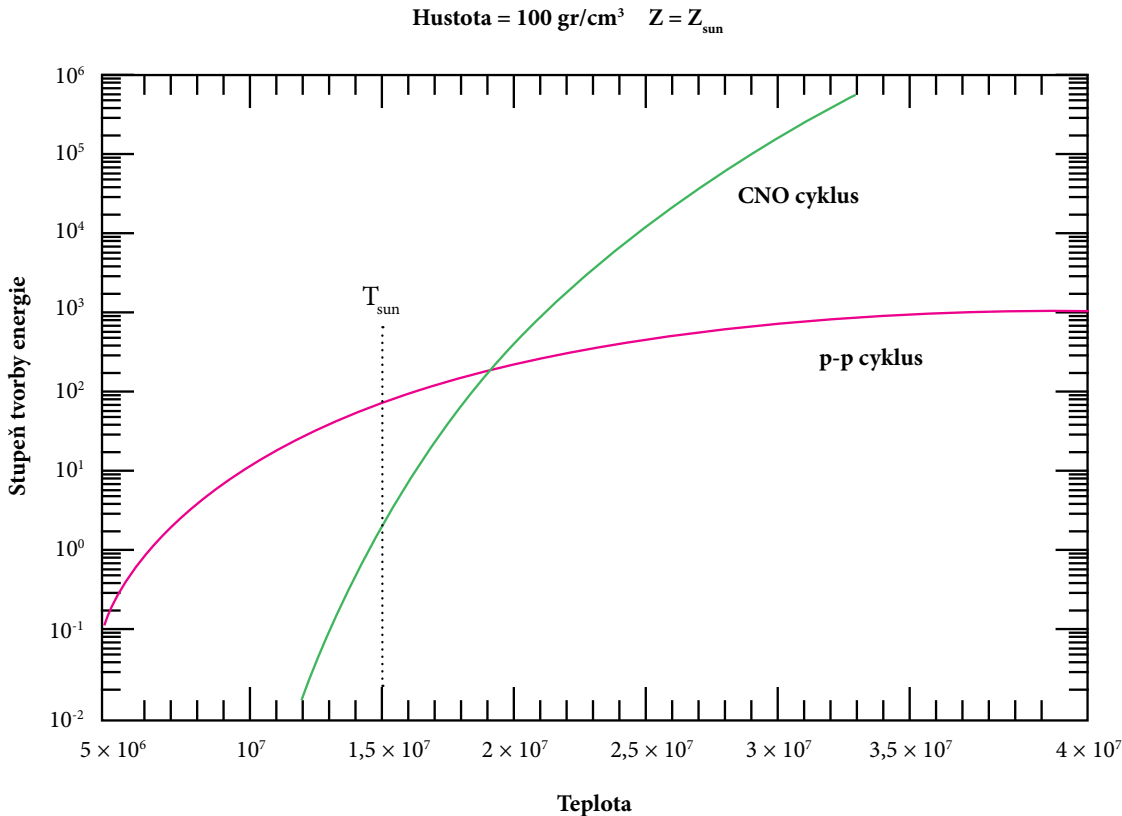
2.2 Uhlíkovo-dusíkovo-kyslíkový cyklus

Toto je ďalší hlavný cyklus (označovaný aj ako CNO cyklus). **Je najúčinnnejším cyklom pre mohutnejšie hviezdy** – začína pri teplotách okolo 15 000 000 K a dominuje pri teplotách okolo 17 000 000 K. Pri ňom sa vytvára jadro hélia zo štyroch protónov, proces je však zložitejší a vyžaduje si uhlík a kyslík. Jadrá uhlíka/kyslíka reagujú ešte v prvých fázach a vylučujú sa počas posledných fáz. Týmto spôsobom zohrávajú úlohu katalyzátora, a preto sa tento cyklus nazýva aj uhlíkový alebo uhlíkovo-kyslíkový cyklus (Obr. 2).

Teplota v jadre Slnka je $T = 15\,700\,000\text{ K}$ – takže v jeho jadre sa hlavné termonukleárne reakcie odohrávajú najmä prostredníctvom p-p cyklu. Na Obr. 3 nižšie sú zobrazené teploty, pri ktorých sú oba procesy, teda p-p a CNO, účinnými. Taktiež je zaznamenaná teplota v jadre Slnka, ktorá ukazuje, že pre našu hviezdu sa počas protón-protónového cyklu uvoľní takmer dvakrát toľko energie.



Obrázok 2: Schéma cyklu CNO (častice sú znázornené ako na obrázku 1.),
(zdroj: Borb, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=691758>)



Obrázok 3: Teploty, pri ktorých sú účinné oba cykly; p-p cyklus (červená krivka) a CNO cyklus (zelená krivka). Je vidieť, že pri vyšších teplotách CNO cyklus vytvára podstatne viac energie za jednotku času, zatiaľ čo pri nižších teplotách p-p cyklus je účinnejší.

V prípade mohutnejších hviezd, ktorých teplota je v jadre vyššia, je CNO cyklus efektívnejší.

2.3 Syntéza ťažších prvkov

Čo sa stane, keď sa všetok vodík v jadre hviezdy zmení na hélium? Pre hviezdy s najmenšími hmotnosťami (približne 1/10 hmotnosti Slnka) je to koniec termonukleárných reakcií. Pre hviezdy podobné Slnku hélium vytvára ich jadro, ale okolo neho existuje aj vodíková vrstva, v ktorej sú podmienky vhodné na uskutočnenie termonukleárných reakcií; vytvára sa tu aj hélium, ktoré klesá do jadra hviezdy, a tým zvyšuje jeho hustotu a teplotu. Keď teplota dosiahne $100\,000\,000 \text{ K}$, podmienky vedú k začatiu héliových reakcií, pri ktorých sa z jadier hélia vytvárajú uhlíkové jadrá a pri vyšších teplotách sa vytvárajú kyslíkové jadrá. Pri hviezdach s menšou hmotnosťou (ako je Slnko a hviezdy s mierne väčšou hmotnosťou) toto je koniec termonukleárných reakcií. Ale pri najmohutnejších a najhorúcejších hviezdach fúzne reakcie pokračujú, až kým sa ich jadro nestane jadrom úplne zo železa. Počas všetkých týchto reakcií sa oddeľuje energia, ktorá vytvára žiaru danej hviezdy, ale na oveľa kratšiu dobu ako vodíkové reakcie.

7. Slnko a hviezdy

Tvorba prvkov ťažších ako železo (číslovaných 56) si však vyžaduje „absorpciu“ značnej energie počas prebiehajúcich reakcií. Preto môžu byť takéto prvky vytvárané len vtedy, keď dochádza k výbuchu Supernov.

Ako zhrnutie je možné uviesť, že hlavnými termonukleárnymi reakciami v jadrách hviezd sú:

- proces „spaľovania“ vodíka, ktorý v závislosti od teploty, je:
 - p-p cyklus – je to ten najdôležitejší mechanizmus výroby energie pre hviezdy ako naše Slnko a hviezdy s menšou hmotnosťou, začína pri teplote $T = 4\,000\,000\text{ K}$,
 - CNO cyklus – je účinný pri hmotnejších hviezdach, začína pri teplote $T = 15\,000\,000\text{ K}$, dominuje pri teplote $T = 17\,000\,000\text{ K}$,
- „horenie“ hélia – uskutočňuje sa pri starších hviezdach,
- syntéza ťažších prvkov a tvorba železa – platí pre najmasívnejšie hviezdy,
- syntéza prvkov ťažších ako železo – pri výbuchu Supernov.

Doplňkové materiály:

1. Plagát ilustrujúci, odkiaľ pochádza energia Slnka.
2. Videá ilustrujúce, odkiaľ pochádza energia Slnka a ako sa uvoľňuje energia počas termonukleárných reakcií, nájdete na týchto odkazoch:
<https://spaceplace.nasa.gov/sun-heat/en/> (stránka je vhodnejšia pre mladších žiakov)
<https://youtu.be/W1ZQ4JBv3-Y>
<https://youtu.be/Cb8NX3HiS4U>

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY A TESTY PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Usporiadajte slová a nájdite termíny

Cieľ úlohy

Žiaci majú a) nájsť slová súvisiace s fúziou, a b) zostaviť fyzicky správne vety, ktoré odrážajú to, čo sa žiaci naučili v tejto lekcií, pričom v každej vete majú použiť aspoň 2 alebo 3 slová, čím si zopakujú nové termíny.

Metodické pokyny pre učiteľov

Toto cvičenie je možné robiť vo dvojiciach alebo samostatne. V oboch prípadoch môže byť cvičenie prezentované ako súťaž, aby sa čím skôr našli všetky slová (alebo najväčšie množstvo slov), a môže byť aj nejaká odmena, aby povzbudila žiakov.

Trvanie: 10 minút na usporiadanie slov a 5 minút na zostavenie viet, čo opäť umožní žiakom súťažiť, kto vytvorí najviac viet. Pomiešané slová sú uvedené v Prílohe 1. Ďalším cvičením (pre mladších žiakov) je pomiešať odpovede a požiadať žiakov, aby správne identifikovali páry a potom aby vytvorili vety (môže to urobiť aj celá trieda s pomocou učiteľa).

Pokyny pre žiakov

V prílohe 1 sú uvedené slová týkajúce sa termonukleárných reakcií prebiehajúcich v jadrách hviezd.

- Písmená v slovách sú pomiešané. Žiaci, máte 10 minút na zoradenie písmen v správnom poradí a na zápis správneho slova.
- Počas najbližších 5 minút utvorte čo najväčšie množstvo viet, pričom vety by mali presne odrážať to, čo ste sa naučili v tejto lekcií a každá veta by mala obsahovať aspoň 2 alebo 3 slová, ktoré ste usporiadali v bode a).

Úloha 2: Vytvorte jadro v hviezde zložené zo železa (FE)

Toto cvičenie je vhodné pre starších žiakov. Vyžaduje sa prístup na internet. Hru nájdete na tomto odkaze: <http://dimit.me/Fe26/>.

Cieľ úlohy

Od počiatočných vodíkových atómov H treba prejsť rôznymi atómovými reakciami, pri ktorých sa vytvára viac ťažkých prvkov a v konečnom dôsledku sa vytvára železo Fe.

Metodické pokyny pre učiteľa

Hra môže byť spustená na počítači, pričom na „zlúčenie“ rámčekov sa použijú šípky na klávesnici, a v prípade spustenia na mobilnom telefóne „hýbanie“ rámčekmi sa uskutočňuje prstami. Cieľom je zlúčiť prvky a ich izotopy tak, aby sa vytvorilo železo Fe. Hra zobrazuje dosiahnuté skóre (SCORE) a najlepšie skóre zo všetkých hier (BEST). Žiaci môžu byť povzbudení, aby na internete vyhľadali viac informácií o poradí reakcií, čo im pomôže zlepšiť ich výsledky (dajte im najmenej 10 minút pred začiatkom hry). Ak sa cvičenie vykonáva počas hodiny – dajte žiakom 15 minút na hranie a potom začnite diskusiu o ich výsledkoch a o tom, aké prvky dokázali počas hry „zosyntetizovať“. Môžete diskutovať o tom, aké ďalšie znalosti by boli potrebné na to, aby mohli žiaci ľahko a rýchlo syntetizovať železo Fe. Ak dostanú toto cvičenie na domácu úlohu, požiadajte ich, aby zaznamenali svoje najlepšie skóre a pripravili sa na uvedenú diskusiu na ďalšiu hodinu (diskusia by mala byť so všetkými žiakmi a nemala by byť kratšia ako 15 – 20 minút), pričom by mala preukázať, či si daný žiak pamätal fúziu ako takú a poradie prvkov fúzií.

Pokyny pre žiakov

Hra je k dispozícii na tomto odkaze: <http://dimit.me/Fe26/>.

Máte 15 minút na to, aby ste sa pokúsili „zosyntetizovať“ železo, počnúc prvkami daných na začiatku a prechádzajúc nevyhnutnými prechodnými reakciami. Hra končí buď vtedy, keď dostanete železo Fe, alebo keď hmota v hviezde skončí. Predbežný a konečný, najlepší výsledok môžete sledovať v modrých rámčekoch v pravom hornom rohu obrazovky. Ak nedostanete železo Fe, zaznamenajte svoje najvyššie skóre. Diskutujte s učiteľom a spolužiakmi o svojich výsledkoch, aj o tom, čo potrebujete vedieť, aby ste sa dostali ku koncu hry alebo zvýšili svoje skóre. Čo ste si najviac zapamätali o procese fúzie a o poradí, v akom boli prvky zosyntetizované?

Úloha 3: Ako sa formujú elementy hviezd

Cvičenie je adaptáciou tohto cvičenia: <http://clearinghouse.starnetlibraries.org/astronomy-and-space/112-nuclear-fusion-in-stars.html> (Astronomical Society of the Pacific – www.astrosociety.org), video nájdete tu: <https://www.youtube.com/watch?v=75QWmQmrk2Y>.

Plagátová forma pôvodného obrazového cvičenia je uvedená v Prílohe 2.

Cieľ úlohy

Vysvetliť a ilustrovať proces jadrových reakcií a to, ako dochádza k žiareniu hviezd.

Pomôcky

- miska s menšími cukríkmi typu marshmallow (alebo polystyrénové, resp. plastelínové guľôčky), ktoré môžu byť jednofarebné alebo môžu mať rôzne farby,
- miska s cestovinami v tvare trubičiek,
- periodická tabuľka chemických prvkov.

Voliteľné: Pre starších žiakov je možné pridať ilustráciu elektromagnetického spektra s typmi žiarenia a servítky pre cukríky, resp. guľôčky.

Metodické pokyny pre učiteľov

Toto cvičenie ukazuje, ako sa tvoria chemické prvky vo Vesmíre a odkiaľ pochádza žiarenie hviezd. Trvanie cvičenia je cca 5 až 10 minút. Žiaci by mali mať *Periodickú tabuľku chemických prvkov* pred sebou. Cvičenie môže byť buď A) **samostatnou úlohou** – žiaci dodržia pokyny uvedené nižšie a zaznamenávajú svoje odpovede a diskutujú o výsledkoch; alebo B) **spoločnou úlohou** – počas cvičenia učiteľ dá pokyny a žiakom kladie otázky, na ktoré musia odpovedať pred uskutočnením ďalšieho kroku.

Pokyny pre žiakov

V tomto cvičení uvidíte, ako sa tvoria chemické prvky a odkiaľ pochádza žiarenie hviezd.

1. Vyberte *Periodickú tabuľku chemických prvkov*. V tabuľke nájdite vodík H a hélium He. Toto sú prvky, ktoré sa v najväčšom množstve nachádzajú vo hviezdach.
2. Vyberte jeden prvok (teda cukrík alebo guľôčku) z misky. Nech je to protón. Počet protónov v jadre závisí od toho, aký to bude chemický prvok. Vodík má 1 protón. Koľko atómov vodíka potom znázorní cukrík/guľôčka? (*Odpoveď: Jeden*)
3. Nech každý žiak zoberie dva cukríky, resp. dve guľôčky tak, aby znázorňovali dve vodíkové jadrá. Pri jadrových reakciách sa jadrá zvyčajne spájajú vo dvojiciach.
4. Ktorý prvok má vo svojom jadre dva protóny? Nájdite ho v tabuľke. (*Odpoveď: Hélium*)
5. Pozrime sa, ako hviezda tvorí hélium: Stisnite cukríky, resp. guľôčky vo svojej dlani. Predpokladajme, že vaše zaťaté päste predstavujú jadro hviezdy. Tam sú teplota a tlak také vysoké, že atómy sa pohybujú veľmi rýchlo a neustále sa zrážajú s inými atómami. A tak sa teda niekedy zlúčia jadrá dvoch atómov.
(**Pre starších žiakov:** Pri takýchto vysokých tlakoch a teplotách atómy v jadrách hviezd strácajú svoje elektrónové náboje a pozostávajú iba z jadier (protóny a neutróny) a elektróny týchto škrupín sa stávajú nezávislými časticami).
Môžete vy zlúčiť svoje jadrá? Rozdrvte cukríky, resp. guľôčky a vytvorte nové jadro. Toto je jadrová reakcia! Dve vodíkové jadrá sa zlúčili a vytvorili jadro nového prvku. Ako sa volá? (*Odpoveď: Hélium*)
6. Z misky vyberte jednu cestovinu. Nech je to jeden gama lúč.

7. Slnko a hviezdy

(**Pre starších žiakov:** Ukážte na elektromagnetickom spektre, kde sa nachádzajú gama lúče. Aká je ich energia v porovnaní s inými druhmi žiarenia? [*Odpoveď: Najvyššia*]).

Položte nové jadro na školskú lavicu a jednu cestovinu vedľa neho. Takto vyzerá schéma fúzie dvoch jadier, ktorá vytvára energiu vo forme gama lúča.

7. Vytvorte ďalšie jadro hélia tým, že si vezmete ďalšie dva cukríky a spojíte ich. Položte nové jadro na školskú lavicu. Čo ešte potrebujete na dokončenie tohto procesu? [*Odpoveď: Gama lúč (cestovinu)*]. Ako sa volá tento proces? (*Odpoveď: Jadrová reakcia*).
8. Zopakujte krok 7. Koľko jadier máte teraz a ktorému prvku patria? (*Odpoveď: Tri jadrá hélia*). A koľko máte protónov? (*Odpoveď: Šesť*)
9. Vezmite dve jadrá hélia a spojíte ich. Vyberte ešte jednu cestovinu. Ako sa volá to, čo ste urobili? (*Odpoveď: Jadrová reakcia*).
10. Pridajte tretie jadro k fúzovaným jadrom hélia. Koľko protónov má najnovšie jadro? (*Odpoveď: Šesť*). Čo je to za prvok? Nájdite ho a ukážte ho v Periodickej tabuľke (*Odpoveď: Uhlík*).
11. **Pre starších žiakov:** V kroku 9, potom ako ste spojili dve jadrá hélia, ste dostali jadro berýlia Be (so štyrmi protónmi v jadre). Berýlium je pomerne nestabilný prvok, a preto by sa za menej ako 1 sekundu rozpadol. Ale ak k nemu pridáme ďalšie jadro hélia, vytvorí sa ďalší, nový prvok (so 6 protónmi v jadre). Vedci nazývajú jadrá hélia „alfa časticami“ a proces tvorby uhlíka z troch héliových jadier – „trojitým alfa procesom“.

VÝVOJ HVIEZD: ZÁKLADNÉ VYSVETLENIE

1. ÚVOD

Otázka vývoja hviezd je pre astrofyziku jedna z najdôležitejších otázok, pretože jej odpoveď by nám odhalila tajomstvá Vesmíru. Odpoveď na túto otázku sa snaží dať **Teória o vývoji hviezd**. Vývoj hviezd je zmena fyzikálnych charakteristík, vnútornej štruktúry a chemického zloženia hviezd v priebehu času.

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

hviezdy

plazma

vývoj hviezd

protohviezdy

trpaslíci

červení obri

Hertzsprungov-Russellov diagram

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

Hviezdy sú obrovskými guľami zahriateho plynu. Keď sa na ne pozrieme, na oblohe vyzerajú ako bodky, pretože sú od nás veľmi vzdialené. Hviezdy žiaria, pretože v ich jadrách prebiehajú termonukleárne reakcie. Podobne ako u človeka, rozdeľujeme životy hviezd na narodenie, zrelosť a smrť. Hviezdy sa rodia v obrovských oblakoch prachu a plynu, pričom ich hlavným stavebným prvkom je vodík.

Vznik hviezd Myšlienkou vytvorenia hviezd zo zriedenej medzihviezdnej hmoty sa zaoberal Isaac Newton (1643 – 1727), ale dôkazy o tom boli získané až začiatkom 20. storočia: Pozorovaním v infračervenej oblasti sa našli vhodné oblaky medzihviezdneho plynu a zistilo sa, že tieto oblaky strácajú stabilitu, zmršťujú sa pod vplyvom gravitácie a stávajú sa hviezdami. Najobľúbenejším príkladom takéhoto oblaku je hmlovina Orion (pozri obrázok nižšie).



Obrázok 4: Hmlovina Orion

Protohviezda Turbulencia hlboko v týchto oblakoch vytvára tesnenia s dostatočnou hmotnosťou, aby sa pod vplyvom gravitácie začal kolaps. Tesne pred začiatkom zmrštenia je teplota plynu v jadre oblaku iba 10 – 30 K, t. j. ide o jeden z najchladnejších objektov vo Vesmíre. Látka v oblaku je podľa „medzihviezdnych štandardov“ hustá – v 1 metri kubickom sa nachádzajú 2 miliardy molekúl, čo je ale 10¹⁶-krát menej ako vo vzduchu pri normálnych podmienkach. Hmotnosť takýchto oblakov je obrovská – dosahuje až milióny slnečných hmotností, vďaka čomu je gravitácia hlavným faktorom ich vývoja. Kým sa oblak zmenšuje, materiál v jeho strede sa začína zahrievať. **Takto sa rodí protohviezda.** V dôsledku zmršťovania sa zvyšuje vnútorný tlak plynu, a to spomaľuje proces kolapsu. V ďalšej fáze sa plyn postupne zahrieva a protohviezda začína slabo žiariť. Pretože zmršťovanie nie je rovnomerné, hustota sa zvyšuje najviac v centrálnych častiach oblaku. Keď sa teplota dostatočne zvýši, zmršťujúci sa plyn sa začína ionizovať, v dôsledku čoho sa stáva nepriehľadným pre žiarenie z prostredných častí hviezdy. To spôsobuje, že vonkajšie vrstvy protohviezdy sa zmenšujú, a teplota a tlak v jej strede sa zvyšujú. Čoskoro je tlak taký vysoký, že zmršťovanie končí a vo vnútri oblaku sa vytvára hydrostaticky stabilné jadro. Avšak mimo neho je plyn priehľadný pre infračervené žiarenie a naďalej klesá smerom

do stredu. Klesajúca kinetická energia sa mení na teplo, pričom okolo 50 % sa používa na zohrievanie plynu a zvyšok sa vyžaruje von. **Keď obal úplne padne na jadro a stane sa priehľadným, jadro „vychádza z prachového kokónu“ a narodí sa mladá HVIEZDA!** Pomaly pokračuje vo svojom zmenšovaní sa, pričom uvoľňuje teplo na úkor gravitácie. Časť tohto tepla je odvodená žiarením a druhá časť zohrieva vnútorné vrstvy, čím sa udržiava relatívna hydrostatická rovnováha. Potom, ako teplota v strede hviezdy prekročí niekoľko miliónov stupňov, začínajú fúzne reakcie, ktoré vedú k premene vodíka na hélium.

Modely predpovedajú, že rotujúce oblaky prachu a plynu sa môžu rozdeliť na dve alebo tri časti. To by vysvetľovalo, prečo väčšina hviezd nie je jednoduchá, ale je v svojej podstate dvojité, trojité alebo viacnásobný hviezdny systém.

Keď oblak skolabuje, okolo neho sa sformuje husté, horúce jadro, okolo ktorého sa začína zhromažďovať prach a plyn. Avšak nie všetok tento materiál končí ako súčasť hviezdy – zvyšky prachu sa môžu stať planétami, asteroidmi alebo kométami, alebo jednoducho zostanú existovať vo forme medzihviezdneho prachu.

Ak je hmotnosť kolabujúceho oblaku menšia ako $0,08M_{\odot}$, kde M_{\odot} označuje solárnu hmotnosť, nemôže gravitačné zmršťovanie viesť k dostatočne vysokým teplotám na začatie termonukleárných reakcií. **Takéto nezrodené hviezdy sa nazývajú hnedými trpaslíkmi.** Jediným zdrojom vnútornej energie hnedých trpaslíkov je gravitačná potenciálna energia. Ak je hmotnosť takéhoto objektu menšia ako $0,002M_{\odot}$, nazýva sa planéta. A ak je hmotnosť takéhoto objektu väčšia ako $0,08M_{\odot}$, jeho hmotnosť postačuje na pokračovanie termonukleárných reakcií, a už ide o hviezdu.

Začatím termonukleárných reakcií sa v jadre hviezdy vytvára až také teplo, že to zabraňuje ďalšiemu zmršťovaniu hviezdy. Rovnováha medzi gravitáciou, ktorá sa snaží zmrštiť hviezdu, a teplom, ktoré sa snaží hviezdu nafúknuť, sa nazýva **termodynamická rovnováha**. Od tejto chvíle zostáva hviezda na veľmi dlhý čas nezmenenou. Toto je čas života hviezdy – tzv. **hlavná postupnosť Hertzsprung-Russellovho diagramu**. Pre hviezdu podobnú nášmu Slnku ide o asi 10 miliárd rokov.

Termodynamická rovnováha

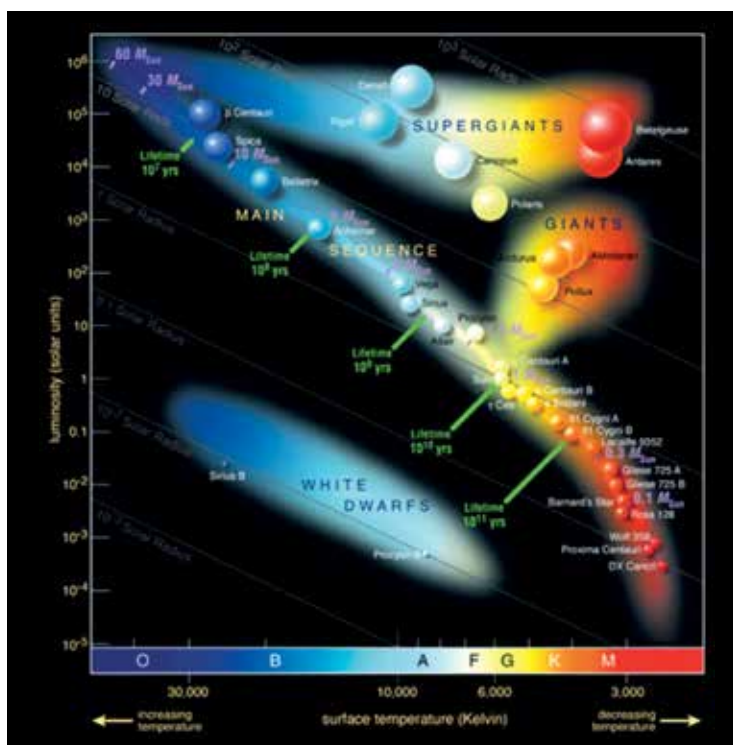
Aj keď sa v útrobach každej hviezdy v jej „zrelom období života“ odohrávajú rovnaké procesy, hviezdy sa líšia svojou teplotou (farbou), veľkosťou, hmotnosťou, jasom, vekom. Čím väčšia je hviezda, tým je horúcejšia a jasnejšia. Horúce hviezdy sú modrej farby. Menšie hviezdy sú menej jasné, sú chladnejšie a sú červenej farby. Všeobecne platí, že čím masívnejšia je hviezda, tým kratšia je jej životnosť, aj keď hviezdy žijú miliardy rokov.

Tu je na mieste venovať väčšiu pozornosť Hertzsprung-Russellovmu diagramu (skrátene diagram H-R). **Predstavuje graf, ktorý udáva vzťah medzi základnými parametrami hviezd.** Začiatkom 20. storočia dvaja astronómovia, Dán Ainar Hertzsprung a Američan Henry Russell, nezávisle od seba zistili, že hviezdy sú usporiadané určitým spôsobom v diagrame spájajúcom spektrálnu triedu hviezd a ich zjavnú a absolútnu veľkosť. **Keďže spektrálna trieda súvisí s farbou hviezd a s ich povrchovou teplotou, a absolútna hviezdna veľkosť súvisí so svietivosťou, diagram H-R sa často predstavuje aj ako diagram farba – hviezdna veľkosť alebo teplota – svietivosť.**

Hertzsprung-Russellov diagram

7. Slnko a hviezdy

Na týchto diagramoch nie sú hviezdy rozmiestnené rovnomerne, ale v určitých sekvenciách. Máme Hlavnú postupnosť, ktorá začína hviezdami s vysokou svietivosťou a najvyššou teplotou, potom diagonálne križuje diagram a končí hviezdami s nízkou svietivosťou a najnižšou teplotou. Nachádza sa tu asi 90 % všetkých hviezd. Naše Slnko je tiež v Hlavnej postupnosti. Toto je hviezda spektrálnej triedy G2.



Obrázok 5: Hertzsprungov-Russellov diagram

Nad Hlavnou sekvenciou leží oblasť červených obrov a ešte vyššie sú hviezdy s vyššou svietivosťou alebo **nadobry**. Pod Hlavnou postupnosťou je **oblasť bielych trpaslíkov**. Ukazuje sa, že Hertzsprungov-Russellov diagram má hlboký zmysel. Nie je to len závislosť medzi veličinami, ale je to evolučná závislosť. Počas svojho vývoja hviezda mení svoju teplotu a jas a pohybuje sa po diagrame. Ak poznáme umiestnenie hviezdy na mape a jej hmotnosť v danom okamihu, môžeme predpovedať, aká bude jej evolučná cesta, t. j. cez ktoré fázy svojho vývoja prejde a ako dokončí svoj priebeh.

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY A TESTY PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Skonstruujeme Hertzsprungov-Russellov diagram

Cieľ úlohy

Cieľom je priniesť žiakom predstavu o veľkosti hviezd a vzťahu medzi ich veľkosťou, hmotnosťou a pozíciou na Hertzsprung-Russellovom diagrame.

Pomôcky

- plastelína v rôznych farbách: červená, žltá, modrá, biela, čierna;
- plastová doska na prácu s plastelínou;
- zobrazenie Hertzsprung-Russellovho diagramu z teoretickej časti.

Metodické pokyny pre učiteľov

Toto cvičenie ukáže žiakom, že hviezdy sú umiestnené na mape špecifickým spôsobom, ktorý závisí od ich hmotnosti, veľkosti, farby a vývojového štádia. Trvanie cvičenia je 10 až 15 minút.

Pokyny pre žiakov

1. Pozrite sa na obrázok Hertzsprung-Russellovho diagramu z teoretickej časti kapitoly. Pozrite sa, ako sú usporiadané hviezdy podľa ich farby a veľkosti.
2. Nakreslite obdĺžnik plastelínou, os Y má mať čiernu farbu, a os X má mať farbu dúhy, počnúc modrou, pokračujúc bielou a žltou a končiac červenou farbou. Takto získate hranice diagramu.
3. Začnite zostavovať Hlavnú postupnosť tak, že začnete s modrými guľôčkami v ľavom hornom rohu diagramu. Pokračujte šikmo s bielymi guľôčkami okolo stredu, potom pridajte žlté guľôčky a nakoniec položte červené guľôčky. Dodržujte požiadavku, aby sa guľôčky zmenšovali v danom poradí. Označte polohu Slnka na Hlavnej postupnosti.
4. Vytvorte väčšie modré guľôčky a umiestnite ich nad Hlavnú postupnosť – hore v strede osi X. Toto sú nadobry. Naľavo od nich a trochu ďalej dole na os Y umiestnite červené guľôčky. Toto sú obry.
5. Nakoniec vložte malé biele guľôčky do ľavého dolného rohu – toto je oblasť bielych trpaslíkov.

Otázky

- Závisí doba zotrvania hviezdy v Hlavnej postupnosti od jej hmotnosti? Ako? (Odpoveď: Áno. Čím je hviezda mohutnejšia, tým kratšie zotrváva v Hlavnej postupnosti.)
- Ukážte polohu Slnka na Hertzsprung-Russellovom diagrame. (Odpoveď: Slnko sa nachádza v oblasti žltých trpaslíkov na Hlavnej postupnosti.)
- Rodia sa hviezdy aj dnes? (Odpoveď: Áno, proces formovania hviezd stále prebieha.)
- Ktoré hviezdy žijú dlhšie – červené obry alebo modré obry? Prečo? (Odpoveď: Červené obry. Pretože majú nižšiu hmotnosť a pomalšie využívajú vodík, ktorý sa v nich nachádza.)

Úloha 2: Aké veľké sú hviezdy?

Toto cvičenie je prispôbením cvičenia, ktoré navrhuje vzdelávací portál NASA: https://imagine.gsfc.nasa.gov/educators/lessons/star_size/

Cieľ úlohy

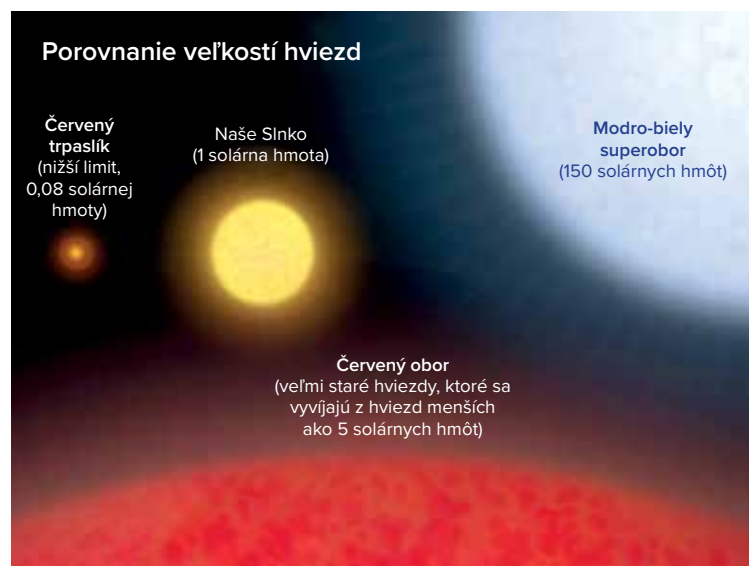
Pri tomto cvičení žiaci získajú predstavu o veľkosti hviezd a pochopia vzťah medzi hmotnosťou a polomerom hviezd.

Pomôcky

Tabuľka s hviezdными údajmi; kalkulačka.

Metodické pokyny pre učiteľov

Toto cvičenie umožní žiakom pochopiť, ako sa svojou veľkosťou, hmotnosťou a hustotou rôznia hviezdy a ako tieto parametre spolu súvisia. Z tohto obrázka si môžete vytvoriť predstavu ilustrujúcu rozdiely vo veľkostiach rôznych hviezd:



Obrázok 6: Porovnanie veľkostí hviezd

Na účely cvičenia by ste žiakom mali dať nasledujúcu tabuľku z Hertzsprung-Russellovho diagramu zobrazujúcu rôzne typy hviezd s ich polermi, hustotou a hmotnosťou v relatívnych jednotkách vo vzťahu k Slnku.

	Hviezda	Polomer (slnčné polomery)	Hustota (hviezdna hustota)	Hmotnosť (hviezdna hmotnosť)
Nadobry	Antares	776	0,00000004	20
	Sheliak alebo Beta Lyrae	19,2	0,0014	9,7
	Betelgeuze	1 000	0,0000005	10
	Deneb	96	0,00002	20
	Sadr alebo Sadir (Hviezda gama súhvezdia Labuť alebo Severný kríž)	67	0,00007	20
	Rigel	78	0,00004	20
Obry	Aldebaran alebo Byčie oko	87	0,000006	4
	Arktúr alebo Alpha Bootis	35	0,00018	8
	Béta zo súhvezdia Pegas	40	0,00014	9
	Capella, Amalthea alebo Alhajoth	13	0,00096	2.1
Hviezdy Hlavnej postupnosti	Naše Slnko	1,0	1,0	1.0
	Altair	1,6	0,415	1.7
	Barnardova hviezda	0,15	53,3	0,18
	61 A zo súhvezdia Labuť	0,7	1,69	0,58
	Hadar	22	0,0023	25
	Kruger 60	0,35	6,30	0,27
	MU-1 zo súhvezdia Škorpión	5,2	0,1000	14
	Prokyón A	2,6	0,102	1,8
	Sírius A	1,9	0.335	2,3
Bieli trpaslíci	40 B zo súhvezdia Eridanus	0,018	71,000	0,41
	Sírius B	0,022	90,000	0,99
	Van Maanenova hviezda	0,007	47,000	0,14

7. Slnko a hviezdy

Pokyny pre žiakov

Usporiadajte hviezdy zo zoznamu podľa veľkosti ich polomeru – od najmensej po najväčšiu.

Odpoveď:

1. Van Maanenova hviezda	12. Capella, Amalthea alebo Alhajoth
2. 40 B zo súhvezdia Eridanus	13. Sheliak alebo Beta Lyrae
3. Sírirus B	14. Hadar
4. Barnardova hviezda	15. Arktúr alebo Alpha Bootis
5. Kruger 60	16. Béta zo súhvezdia Pegas
6. 61 A zo súhvezdia Labuť	17. Sadr alebo Sadir (Hviezda gama súhvezdia Labuť alebo Severný kríž)
7. Naše Slnko	18. Rigel
8. Altair	19. Aldebaran alebo Býčie oko
9. Sírirus A	20. Deneb
10. Prokyón A	21. Antares
11. MU-1 zo súhvezdia Škorpión	22. Betelgeuze

Vedľa názvu každej hviezdy v zozname napíšte pomer hviezdneho polomeru k hviezdnej hmotnosti (v relatívnych jednotkách k solárnym hodnotám, a to zaokrúhlením na druhé desatinné miesto).

Odpoveď:

1. Van Maanenova hviezda	0,05	15. Arktúr alebo Alpha Bootis	4,38
2. 40 B zo súhvezdia Eridanus	0,04	16. Béta zo súhvezdia Pegas	0,44
3. Sírirus B	0,02	17. Sadr alebo Sadir (Hviezda gama súhvezdia Labuť alebo Severný kríž)	3,35
4. Barnardova hviezda	0,83	18. Rigel	3,9
5. Kruger 60	1,30	19. Aldebaran alebo Býčie oko	21,75
6. 61 A zo súhvezdia Labuť	1,21	20. Deneb	4,8
7. Naše Slnko	1,0	21. Antares	38,8
8. Altair	0,94	22. Betelgeuze	100
9. Sírirus A	0,83		
10. Prokyón A	1,44		
11. MU-1 zo súhvezdia Škorpión	0,37		
12. Capella, Amalthea alebo Alhajoth	6,19		
13. Sheliak alebo Beta Lyrae	1,98		
14. Hadar	0,88		

Vysvetlite vzťah medzi polomerom a hmotnosťou v závislosti od typu hviezd – nadobry, obry, hviezdy z Hlavnej postupnosti, bieli trpaslíci.

(Odpoveď: Všeobecne majú bieli trpaslíci najmenší polomer a za nimi nasledujú hviezdy z Hlavnej postupnosti. Hviezdni obry majú ešte väčšie polomery a najväčšie polomery majú nadobry. Prekvapivo však toto usporiadanie nie je pevne dané, a týka sa to pomeru polomer/hmotnosť. Dôvod je ten, že hustota hviezd je tiež veľmi dôležitá. Napríklad bieli trpaslíci majú najmenší polomer a malú hmotnosť, ale majú najvyššiu hustotu, zatiaľ čo nadobry majú obrovské polomery, ale majú oveľa menšiu hustotu.)

VÝVOJ HVIEZD: ZÁVEREČNÉ FÁZY

1. ÚVOD

Po fáze Hlavnej postupnosti prichádzajú hviezdy k svojim záverečným fázam života. V závislosti od svojej hmotnosti sa každá hviezda vydá inou cestou. Až kým neskončí ako biely trpaslík, neutrónová hviezda alebo čierna diera.

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

vývoj hviezd (hviezdna evolúcia)

posledné štádiá hviezdnej evolúcie

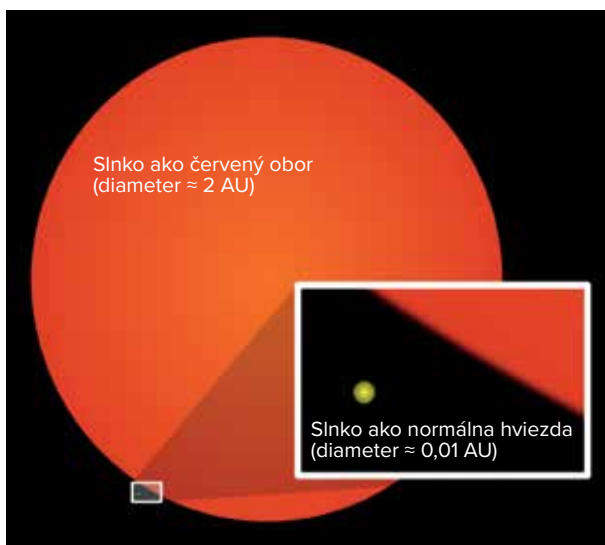
Hertzsprungov-Russellov diagram

bieli trpaslíci, červení obry, supernovy, čierne diery

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

Keď hviezda spáli všetok vodík, ktorý sa nachádza v jej jadre, jadrové reakcie sa zastavia. Dochádza teda k tomu, že sa hviezda už „nezohrieva“, a tak sa nedá udržiavať jej rovnováha, jej jadro sa začína zmenšovať a byť čo raz viac horúcejšie. Vonkajšie vrstvy sa však ochladzujú a rozširujú sa, čím sa hviezda mení na červeného obra.

Obrázok poskytuje porovnanie veľkosti Slnka ako normálnej hviezdy a čím bude, keď sa zo Slnka stane červený obor – rozdiel je obrovský.



Obrázok 7: Slnko ako červený obor

Červený obor Ak je hviezda dostatočne masívna, kolabujúce jadro sa môže zahriať natoľko, aby podporovalo aj „exotickejšie“ jadrové reakcie, pri ktorých horí hélium a vytvára ťažšie prvky až po železo. Potom sa červený obor zmenší a hviezda bude opäť vyzeráť „normálne“. Takéto reakcie však ponúkajú len dočasné riešenie. Nepotrvá to dlho, pretože hélium sa veľmi rýchlo vyčerpá a hviezda sa opäť stane červeným obrom.

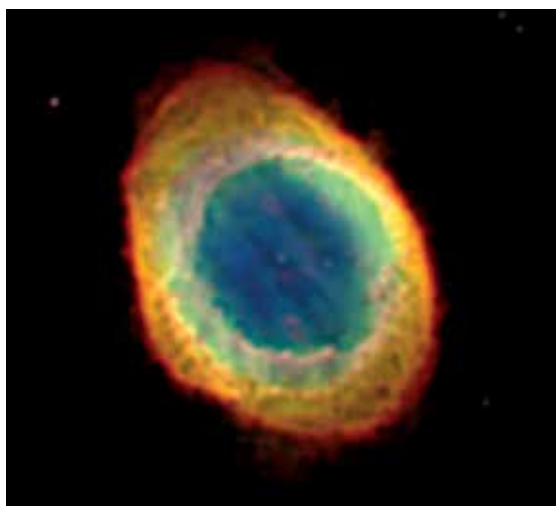
Biely trpaslík Pre hviezdu podobnú nášmu Slnku, po tejto fáze, už nebude nič, čo by udržovalo tieto jadrové reakcie, takže stred týchto hviezd skolabuje a zmrští sa; môže potom dosiahnuť rozmery Zeme, ale hmotnosť bude mať ako hmotnosť Slnka! Takýto veľmi hustý objekt sa nazýva **biely trpaslík**. Jeden kúsok bieleho trpaslíka o veľkosti mobilného telefónu bude vážiť rovnako ako slon na Zemi!

Bieli trpaslíci, ktorých veľkosť je približne rovnaká ako veľkosť Zeme, ale hmotnosť je približne rovnaká ako hmotnosť hviezdy, ohromujú astronómov – prečo teda nepokračuje zrútenie (kolaps hviezdy)? Aká sila udržuje hmotnosť jadra? Kvantová mechanika ponúka vysvetlenie. Tlak rýchlo sa pohybujúcich elektrónov bráni zrúteniu hviezdy. **Čím je jadro mohutnejšie, tým hustejší je biely trpaslík, ktorý sa formuje. Čím menší je priemer trpaslíka, tým väčšia je jeho hmotnosť.** Tieto paradoxné hviezdy sú v skutočnosti veľmi bežné – aj naše Slnko sa stane bielym trpaslíkom o miliardy rokov. Jednou takou hviezdou je Sirius B – satelit najjasnejšej hviezdy na našej oblohe.

Bieli trpaslíci sú veľmi slabí, pretože sú malí a kvôli nedostatku energie postupne miznú a postupne sa ochladzujú, pričom na konci života sa z nich stanú čiernymi trpaslíkmi. Tento osud očakáva iba hviezdy s hmotnosťou do 1,4 slnečnej hmotnosti. Keď je táto hmotnosť vyššia, elektrónový tlak už nedokáže ochrániť jadro pred ďalším kolapsom. Takéto hviezdy majú iný osud.

Počas horenia hélia v jadrách červených obrov sa generujú tepelné impulzy, ktoré odťukajú vonkajšie škrupiny hviezd do medzihviezdneho priestoru. Tento jav môže mať za následok vyhodenie viac ako polovice hviezdnej hmoty. **V dôsledku toho sa okolo hviezdy vytvorí rozširujúci sa obal plynu nazývaný planetárna hmlovina.** Planetárne hmloviny nemajú nič spoločné s planétami – len vyzerajú ako planéty, keď sa na ne pozeráme cez malé ďalekohľady!

Obrázok ukazuje typickú planetárnu hmlovinu M57 s bielym trpaslíkom v jej strede. Táto fáza netrvá dlho – planetárna hmlovina sa rozptýli v okolitom medzihviezdnom priestore za asi 100 000 rokov a obohatí ju ťažšími prvkami.



Obrázok 8: Planetárna hmlovina M57 s bielym trpaslíkom v strede
(zdroj: https://sk.wikipedia.org/wiki/Planet%C3%A1rna_hmlovina)

Hviezdy, ktoré majú hmotnosť vyššiu ako 8 slnečných hmotností, môžu udržiavať rovnováhu o niečo dlhšie, pretože ich jadrá sa môžu zahrievať na vyššie teploty a spúšťať „exotickejšie“ jadrové reakcie – **vytvárajú sa napríklad neón, kyslík, kremík, dokonca sa vytvára aj železné jadro.** Ak mala hviezda v štádiu červeného obra väčšiu hmotnosť, nazýva sa **červený nadobor.** A po štádiu nadobra nasleduje **velkolepá explózia nazývaná výbuch supernovy.** Výbuch uvoľňuje také veľké množstvo hmoty z vonkajších vrstiev hviezdy, že sa v priestore okolo nej rýchlo vytvárajú rozširujúce sa plynové obaly, nazývané **zvyšky supernov.** Je tu zobrazený zvyšok supernovy z roku 1054 vo viditeľnej oblasti – slávna hmlovina v súhvezdí Taurus.



Obrázok 9: Hmlovina v súhvezdí Taurus

Neutrónová hviezda Pretože hviezda bola veľmi masívna a hmotnosť jej zvyšku je viac ako 1,4 slnečných hmotností, nemôže zostať bielym trpaslíkom, a to preto, lebo tlak degenerovaného elektrónového plynu nedokáže zabrániť gravitačnému kolapsu a hviezda sa aj naďalej zmenšuje. Ničia sa pri tom nielen atómy, ale aj jadrá atómov – objavujú sa **voľné protóny a neutróny** a hviezda sa stáva **neutrónovou hviezdou**. Hustota neutrónovej hviezdy je asi $1\,018\text{ kg/m}^3$, čo z nej robí veľmi hustým objekt. Rozmery takýchto hviezd nepresahujú 10 – 30 km. Toto je veľkosť jedného veľkého mesta na Zemi. Predstavte si teda, že sa hviezdy, pôvodne s veľkosťou nášho Slnka, zmestia napríklad do Londýna!

Čierna diera Keď je hmotnosť hviezdneho zvyšku väčšia ako 3 slnečné hmotnosti, ani tlak neutrónového plynu nemôže zastaviť gravitačný kolaps. **Výsledkom je objekt neobmedzene vysokej hustoty a nekonečnej veľkosti – vytvára sa tzv. čierna diera.** V dôsledku obrovskej gravitačnej sily sa zakrivenie priestoru stáva veľmi veľkým a pri veľkosti asi 5 km sa priestor „uzatvára sám do seba“ a ani svetlo ho nemôže opustiť. Týmto sa stáva objekt neviditeľným. Jediným spôsobom, ako indikovať takýto objekt je ten, že sa skúma priestor okolo neho, kde hmota, ktorá **špirálovite padá do čiernej diery**, to robí tak rýchlo, že sa pri tom zohrieva až natolko, že dochádza k vyžarovaniu veľmi vysokej energie vo forme röntgenových a gama lúčov, ktoré sa dajú zaznamenať. Predpokladá sa, že takýto objekt je výkonný zdroj röntgenových lúčov Labuť X-1.

Zhrnieme teda život hviezd podľa Teórie vývoja hviezd:

- hviezdy sa rodia v oblakoch prachu a plynu,
- **žiaria v dôsledku jadrových reakcií v jadrách,**
- keď dôjde k vyčerpaniu vodíka, objaví sa červený obor,
- hviezda s hmotnosťou Slnka končí svoj život ako biely trpaslík,
- mohutnejšia hviezda potom, ako dôjde k explózii supernovy, sa stane neutrónovou hviezdou alebo dokonca aj čiernou dierou.

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY A TESTY PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Evolučná cesta Slnka

Na Hertzsprung-Russellovom diagrame schematicky nakreslite evolučnú cestu nášho Slnka od jeho súčasného stavu po koniec jeho života.

Cieľ úlohy

Cieľom je, aby žiaci pochopili vývojový význam Hertzsprung-Russellovho diagramu.

Pomôcky

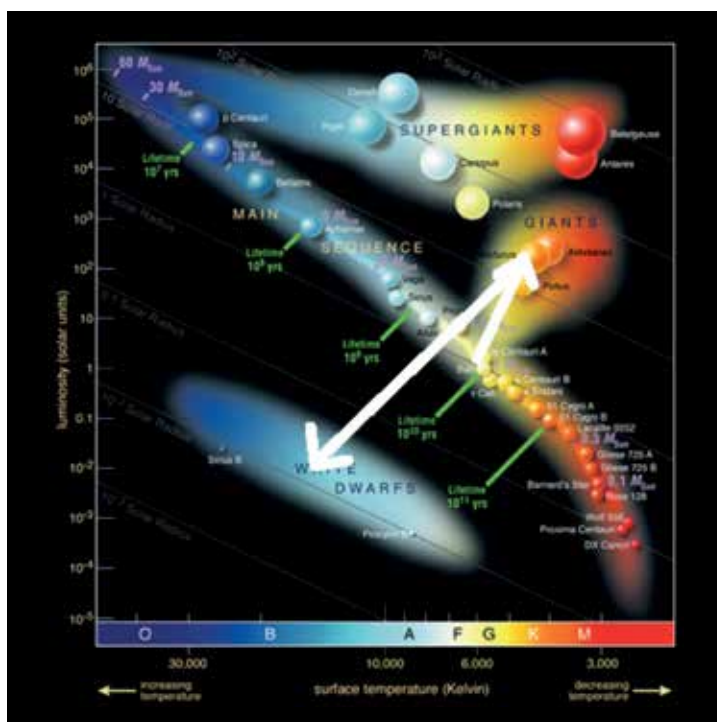
- Hertzsprung-Russellov diagram

Metodické pokyny pre učiteľov

Toto cvičenie ukáže žiakom, ako sa bude Slnko vyvíjať od súčasného okamihu do okamihu, keď nebude existovať nič, čo by v jeho jadre podnecovalo a udržovalo jadrové reakcie. V ďalšom súbore nájdete Hertzsprung-Russellov diagram vo forme grafického súboru.

Pokyny pre žiakov

Na Hertzsprung-Russellovom diagrame schematicky nakreslite evolučnú cestu nášho Slnka od jeho súčasného stavu po koniec jeho života. (Odpoveď: Na obrázku nižšie)



7. Slnko a hviezdy

Ďalšie otázky:

- Stane sa Slnko na konci svojho života neutrónovou hviezdou? Prečo?
(Odpoveď: Slnko sa nestane neutrónovou hviezdou, pretože na to nemá dostatočnú hmotnosť.)
- Kedy hviezda skončí svoju cestu ako čierna diera?
(Odpoveď: Keď po fáze supernovy má zvyšok hviezdy hmotnosť väčšiu ako 3 slnečné hmotnosti, gravitačný kolaps bude pokračovať, až kým sa zo zvyšku nestane čierna diera).

Úloha 2: Bludisko hviezd – STAR MAZE

(pôvodná verzia: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/educators/lifecycles/starchild5.pdf>)

Cieľ úlohy

Účelom cvičenia je, aby žiaci porozumeli vývoju hviezd a jeho základným fázam.

Pomôcky

- Bludisko hviezd
- farebná ceruzka

Metodické pokyny pre učiteľov

Toto cvičenie ukáže žiakom, ako sa budú vyvíjať hviezdy. Žiaci majú nasledovať šípky a označenia PRAVDA a NEPRAVDA, pričom cieľom je dosiahnuť správny KONIEC bludiska. Výstupy 1, 2, 3 a 4 sú nesprávne a ak sa tam žiaci dostanú, musia sa vrátiť späť a nájsť svoju chybu, resp. chyby. Cieľom je prísť až na KONIEC.

Pokyny pre žiakov

Pomocou svojich vedomostí o vývoji hviezd prejdite bludiskom. Začnite v štartovacom rámečku, pozorne si prečítajte výroky v súvisiacich rámečkoch a rozhodnite sa, čo je pravda a čo nie. Prejdite k ďalšiemu rámečku (označte svoju cestu farebnou ceruzkou) podľa šípkov a pokynov P – PRAVDA, N – NEPRAVDA. Postupujte podľa šípkov, kým nedosiahnete správny koniec bludiska K – KONIEC. Ak sa dostanete na niektorý z ďalších východov (1, 2, 3 alebo 4), ktoré sú nesprávne, vráťte sa späť podľa predchádzajúcich krokov a zistite, kde ste odbočili mimo správny smer.

Príloha: BLUDISKO HVIEZD

Začnite tu:



7. Slnko a hviezdy

Bludisko hviezd – odpovede

1. Novozrodené hviezdy sa nazývajú protohviezdy alebo prahviezdy. SMEROM K(U)
2. Vyprodukovaná jadrová energia spôsobuje žiarenie hviezd. SMEROM K(U)
3. Stredne veľké hviezdy sa stávajú čiernymi dierami. SMEROM K(U)
4. Pulzary sú bieli trpaslíci. SMEROM K(U)
5. Čierni trpaslíci neprodukujú energiu. SMEROM K(U)
6. Jadrové reakcie prebiehajú, zatiaľ čo sa hviezda ochladzuje. SMEROM K(U)
7. Iba veľké hviezdy sa menia na čierne diery. SMEROM K(U)
8. Jadrové reakcie prebiehajú pri teplote vyššej ako 15 000 000 °C. SMEROM K(U)
9. Bieli trpaslíci sú väčšie než hviezdy Hlavnej postupnosti. SMEROM K(U)
10. Všetky hviezdy sa stávajú červenými obrami. SMEROM K(U)
11. Neutrónové hviezdy vysielajú rádiové vlny. SMEROM K(U)
12. KONIEC

SLNKO AKO HVIEZDA: EVOLÚCIA SLNKA

1. ÚVOD

Slnko je k nám najbližšia hviezda. Závisí od nej život ľudí na Zemi. Preto je ľuďmi už od staroveku najviac študovaná. Stále však existuje množstvo otázok, na ktoré veda neodpovedala. V tejto časti sa zoznámime so základnými fyzikálnymi charakteristikami Slnka, jeho stavbou a prejavmi jeho činnosti, ktoré ovplyvňujú život na Zemi.

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

Slnko

Hviezda

stavba Slnka

prejavy slnečnej aktivity

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

Slnko je najbližšia hviezda k nám. Je vo vzdialenosti približne 149 600 000 km, čo sa v astronómii prijíma ako jednotka mierky vzdialenosti – 1 AU. Svetlo prejde túto vzdialenosť za 8 minút, t. j. ak sa stane udalosť na Slnku, uvidíme ju o 8 minút. Hmotnosť Slnka sa rovná 330 000 zemským masám a jeho polomer je asi 110-krát väčší ako ten zemský.

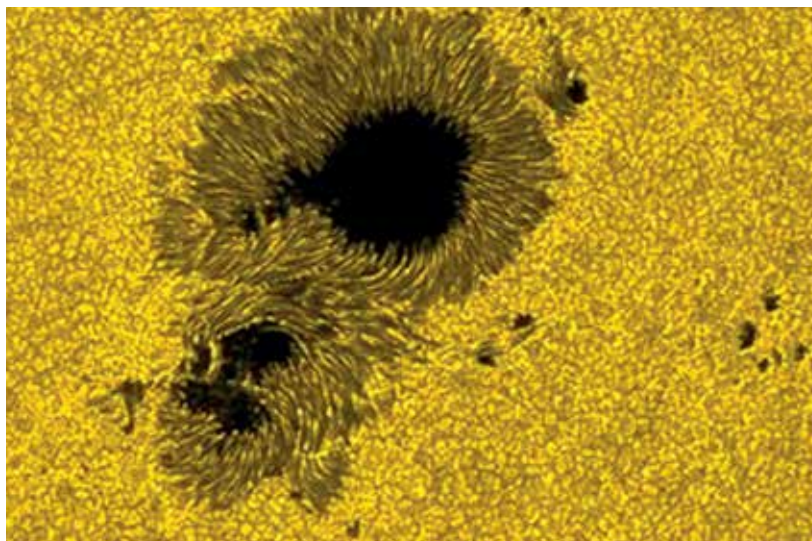
Podľa akceptovanej spektrálnej klasifikácie hviezd je naše Slnko žltým trpaslíkom spektrálnej triedy G2 a je vo veku 4,6 miliardy rokov. Slnko je tiež najväčším telesom v našej slnečnej sústave. Obsahuje viac ako 99,8 % hmotnosti celej slnečnej sústavy. Rovnako ako ostatné hviezdy, aj Slnko je plynová guľa, ktorá pozostáva z asi 75 % vodíka a 25 % hélia, pričom ostatné prvky predstavujú iba asi 0,2 % slnečnej hmoty.

Slnko sa netočí ako tuhé teleso – oblasť okolo slnečného rovníka sa točí najrýchlejšie (asi 25 dní) a oblasti okolo pólů sa točia najpomalšie (asi 30 dní). Takéto otáčanie sa nazýva **diferenciálna rotácia** a je spôsobené skutočnosťou, že Slnko je plynová guľa, a nie pevná hmota. **Stavba Slnka je nasledovná: jadro, radiačná zóna, konvektívna zóna, slnečná atmosféra.**

V jadre Slnka, ktoré predstavuje asi 25 % jeho celkového polomeru, sú podmienky extrémne: teplota dosahuje 15,6 milióna stupňov Kelvina a tlak je okolo 250 miliárd atmosfér. V jadre sa odohrávajú termonukleárne reakcie, ktoré udržiavajú slnečné žiarenie a život na Zemi. Nad jadrom sa nachádza radiačná zóna, ktorá predstavuje 75 % polomeru samotného Slnka. V tejto zóne sa energia vyprodukovaná v jadre Slnka prenáša na slnečný povrch prostredníctvom žiarenia.

Konvektívna zóna Slnka Po tejto zóne nasleduje konvektívna zóna, v ktorej sa energia prenáša prúdením tzv. konvekcie hmoty. Konvekcia predstavuje proces miešania teplejších a chladnejších vrstiev hmoty. V dôsledku toho horúci plyn stúpa na povrch Slnka a ochladzuje sa. Takto sa stáva hustejším a znova klesá, kde sa znova zohrieva. Tento proces veľmi pripomína vriacu vodu v kanvici. Týmto spôsobom sa energia prenáša z horúcich vnútorných vrstiev do chladnejších vonkajších vrstiev Slnka, pričom čas na vzostup jednej tzv. konvekčnej bunky na povrch trvá niekoľko desaťročí.

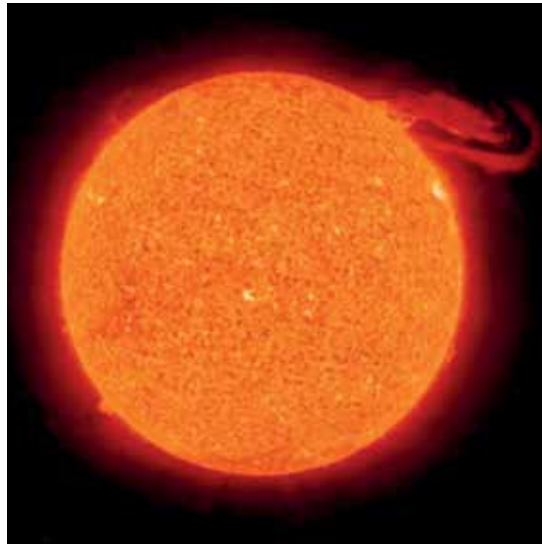
Slnečná atmosféra Nad konvekčnou zónou sa nachádza slnečná atmosféra. **Je rozdelená do niekoľkých vrstiev: fotosféra, chromosféra, koróna.** To, čo vidíme zo Slnka vo viditeľnej oblasti spektra, je jeho **fotosféra**. Jej teplota je okolo 5 800 K a je všeobecne najchladnejšou časťou Slnka. Je veľmi tenká – asi len 300 km. Fotosféra sa skladá z granúl s priemernou veľkosťou (asi 1 000 – 2 000 km), ktoré sa nepretržite objavujú a miznú v priebehu 5 – 10 minút. Sú výsledkom konvekčných procesov prebiehajúcich pod fotosférou, v konvekčnej oblasti. **Najcharakteristickejšou črtou fotosféry sú slnečné škvrny.** Sú to jasne ohraničené tmavé oblasti vo fotosfére s teplotou nižšou ako ich okolitá oblasť – je to okolo 1 000 K (obrázok nižšie zobrazuje granuláciu a slnečné škvrny). V oblasti slnečných škvŕn je magnetické pole Slnka veľmi silné – približne 1 000 G (priemerné efektívne magnetické pole Slnka je 1 G). Škvŕny sa zvyčajne objavujú v skupinách.



Obrázok 10: Granulácia a slnečné škvrny

Nad fotosférou sa nachádza **chromosféra**, v ktorej je plyn tenší a transparentnejší. Chromosféra má hrúbku asi 10 000 – 15 000 km a jej hustota je tisíckrát menšia ako hrúbka fotosféry. Teplota sa výškou prudko zvyšuje v dôsledku magnetického poľa a žiarenia pochádzajúceho z konvekčnej zóny. Plazmové výbuchy sa vyskytujú v chromosfére, pričom sa vylučuje obrovské množstvo hmoty a energie. Tieto javy sa nazývajú chromosférické slnečné erupcie a môžu ovplyvňovať magnetické pole Zeme, čo môže ďalej spôsobiť až kolaps energetických sietí na Zemi.

Bez zjavnej hranice po chromosfére nasleduje **slnečná koróna**, ktorá je väčšia než desiatky slnečných polomerov a prechádza do medziplanetárneho prostredia. Najpôsobivejšími útvarmi v slnečnej koróne sú **protuberancie** (obrázok nižšie zobrazuje protuberancie v pravej hornej časti slnečného disku). Ide o obrovské plazmové útvary v tvare dúhy s teplotami asi 20 000 K, ktoré sa týčia vysoko nad slnečnou chromosférou vo výškach nad 400 000 km. Protuberancie sa tvoria v oblastiach so silným magnetickým poľom, nad oblasťami slnečných škvŕn. Teplota koróny je veľmi vysoká – rádovo milióny stupňov aj rýchlosť častíc v nej je veľmi vysoká. V dôsledku toho ich gravitačné pole Slnka nedokáže udržiavať a preto opúšťajú Slnko rýchlosťou niekoľko stoviek až tisícov kilometrov. **Táto vonkajšia časť koróny sa nazýva slnečný vietor.**



Obrázok 11: Protuberancie na slnečnom disku

Evolúcia Slnka Evolúcia Slnka je obzvlášť zaujímavá, pretože je to jediná hviezda, pre ktorú sú nám známe základné fyzikálne parametre – jej presný polomer, hmotnosť, svietivosť a teplota. Jej chemické zloženie je nám tiež známe so spoľahlivou presnosťou. Aká je životná cesta nášho Slnka? Rovnako ako iné hviezdy, Slnko sa zrodilo z oblaku prachu a plynu. Po gravitačnom zrútení sa stalo protohviezdou a so zvyšujúcou sa teplotou začali v jeho jadre prebiehať fúzne reakcie, čím sa stalo hviezdou. Po tejto chvíli sa začalo štádium Hlavnej postupnosti, kde sa teraz Slnko nachádza. Bude tam asi ďalšiu miliardu rokov a potom začne zvyšovať svoju svietivosť, pričom opustí Hlavnú postupnosť a presunie sa do oblasti červených obrov. Dôvodom bude vyčerpanie vodíka v jeho jadre. Jeho polomer sa zvýši a tým aj jeho jas. Odhaduje sa, že sa Slnko o približne 5 miliárd rokov stane červeným obrom. V tomto momente sa jeho veľkosť už dostane na obežnú dráhu Marsu, Zem bude pohltená, čo zničí aj život na Zemi. Po fáze červeného obra budú nasledovať posledné fázy života nášho Slnka – zrod planetárnej hmloviny a asi po 7,5 miliárd rokoch Slnko nakoniec skončí svoj život ako biely trpaslík.

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY A TESTY PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Sledovanie slnečných škvŕn

Vyobrazenia Slnka boli prevzaté zo stránky slnečného a heliosférického observatória SOHO: <https://soho.nascom.nasa.gov/gallery/Movies/sunspots.html>

Cieľ úlohy

V tomto cvičení budú žiaci pracovať s ozajstnými vyobrazzeniami Slnka, ktoré urobili profesionálni astronómovia z celého sveta. Žiaci budú môcť sledovať zmeny slnečných škvŕn, aj keď len na krátku dobu, a budú môcť určiť aj rýchlosť, ktorou sa pohybujú po povrchu Slnka.

Pomôcky

V aplikáciách nájdete vyobrazenia Slnka, získané v slnečnom a heliosférickom observatóriu SOHO v priebehu 5 dní. Tiež mapa Slnka so súradnicami – dĺžka a šírka.

Metodické pokyny pre učiteľov

Rozdeľte triedu na dvojice. Nechajte každú dvojicu sledovať jednu alebo viac skupín škvŕn na vyobrazeniach Slnka.

Pokyny pre žiakov

1. Každá dvojica musí sledovať zmenu povrchu Slnka, teda zmenu jednej alebo viacerých skupín škvŕn – A, B alebo C.
2. Jeden z dvojice si pre každý deň musí všimnúť polohu skupiny škvŕn, ktorú skúma na mape Slnka so súradnicami. Druhý člen dvojice musí zaznamenať do tabuľky jednu súradnicu (dĺžku) skupiny škvŕn pre príslušný deň. Napríklad skupina škvŕn A sa nachádza na súradnici (na dĺžke) -75 stupňov dňa 28.03. Vyobrazenia boli zhotovené v rovnakom čase každý deň okrem 31.03, čo pre tento deň spôsobí malú chybu.

7. Slnko a hviezdy**3. Výsledok cvičenia:**

1. Nakoniec by ste mali mať tabuľky v tejto podobe:

Skupina škvŕn

	A	C	C
dátum	dĺžka v stupňoch		
28.03			
29.03			
30.03			
31.03			
01.04			

2. A mapa znázorňujúca polohu skupiny/skupín škvŕn na povrchu Slnka:

4. Ďalšou úlohou je zistiť, o koľko stupňov sa pohybujú škvrný za jeden deň. Aby sme to dokázali, musíme vidieť začiatočnú a koncovú polohu škvrn – prvý deň (28.03) a posledný deň (01.04). Potom musíme rozdeliť rozdiel v dĺžke 5 (piatimi dňami). Aby sme to urobili, musíme použiť mapu, na ktorej sme si všimli polohu skupiny škvrn. Výsledkom je rýchlosť, ktorou sa škvrný pohybujú na povrchu Slnka v stupňoch. Súhlasia všetky dvojice so stanovenou rýchlosťou? Existuje rozdiel medzi rôznymi skupinami škvrn?

(Odpoveď: Aj pri určitej chybe pri meraniach jednotlivých dvojíc výsledky by mali byť rovnaké: priemerná rýchlosť, ktorou sa škvrný pohybujú, je približne 12 stupňov za deň.)

Otázka: Menia škvrný svoju tvar a veľkosť?

(Odpoveď: Áno, pretože to sú aktívne formácie.)

5. Posledná otázka v tomto cvičení je: Za aký čas urobí Slnko 360° okruh? Môžeme to určiť na základe údajov o škvrnách, ktoré sme dostali? Musíme mať na pamäti, že Zem sa tiež pohybuje okolo Slnka rovnakým smerom a rýchlosťou približne 1 stupeň za deň. Takže pre naše výpočty musíme k viditeľnému pohybu Slnka pridať 1 stupeň za deň (zdá sa, že sa Slnko pohybuje pomalšie, ako v skutočnosti).

(Odpoveď: Výsledok výpočtov ukazuje, že sa každých 27 dní Slnko otáča okolo svojho rovníka, kde sú pozorované škvrný.)

Je potrebné poznamenať, že Slnko sa netočí ako pevná hmota, takže jeho rýchlosť na rovníku a v pólach nie je rovnaká.

MERANIE VZDIALENOSTÍ VO VESMÍRE (SVETELNÝ ROK, PARSEK, PARALAXA)

1. ÚVOD

Jednotky dĺžky, ktoré používame pri väčšine fyzikálnych meraní, sú vhodné pre meranie predmetov, s ktorými sa bežne stretávame – maximálne rozmery balíka, ktorý ešte pošta pošle meriame v centimetroch, vzdialenosť do školy a do práce v kilometroch a tak ďalej. **Pre meranie vo vesmíre potom potrebujeme zodpovedajúce jednotky.** Vzdialenosť Mesiaca od Zeme môžeme vyjadriť v kilometroch – táto vzdialenosť sa pohybuje približne medzi 363 300 a 405 500 km. Vzdialenosť Slnka **už ale vychádza v stovkách miliónov kilometrov a vzdialenosti najbližších hviezd by boli v biliónoch kilometrov!** Preto sa v astronómii zavádzajú také jednotky dĺžky, ktoré sú pre meranie vesmírnych vzdialeností vhodné.

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

astronomická jednotka

svetelný rok

paralaxa

parsek

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

Astronomická jednotka (1 au) je definovaná ako **stredná vzdialenosť stredov Zeme a Slnka**. Jedna astronomická jednotka je približne 150 miliónov kilometrov. Podľa definície Medzinárodnej astronomickej únie sa astronomická jednotka chápe ako polomer ničím nerušenej kruhovej dráhy, po ktorej obehne teleso so zanedbateľnou hmotnosťou okolo Slnka uhlovou rýchlosťou $0,017\ 202\ 098\ 95$ radiánov za deň. Jej v súčasnosti najpresnejšia hodnota je stanovená rezolúciou Medzinárodnej astronomickej únie z r. 2009 ako **1 au = (149 597 870,700 ± 0,003) km**.

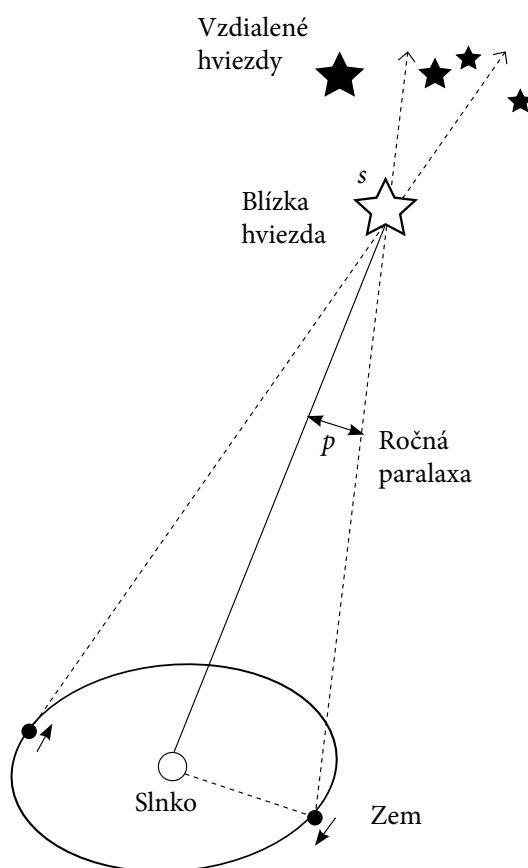
Astronomická jednotka

Svetelný rok je vzdialenosť, ktorú prejde svetlo za jeden Juliánsky rok vo vákuu: $1\text{ ly} = 299\ 792\ 456\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 365,25\ \text{dní} \cdot 24\ \text{hodín} \cdot 60\ \text{minút} \cdot 60\ \text{sekúnd} = 9,461 \cdot 10^{12}\ \text{km}$.

Svetelný rok

Paralaxa je uhol, pod ktorým z hviezd vidíme nejakú definovanú dĺžku, napr. paralaxa rovníková je uhol, pod ktorým by sme videli priemer Zeme. Paralaxa ročná p je uhol, pod ktorým by sme z danej vzdialenosti videli dĺžku 1 au (pozri Obr. 1).

Paralaxa



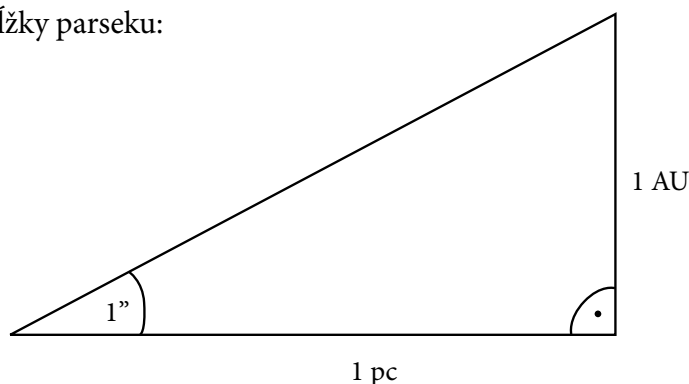
Obrázok 1: Ročná paralaxa

Paralaxa hviezd sa väčšinou meria tak, že sa určí uhol, pod ktorým vidíme túto hviezdu, vzhľadom na vzdialené hviezdy. Potom sa ten istý uhol zmeria za pol roka a rozdiel sa vydolí dvoma. Táto metóda však funguje len pre blízke hviezdy.

8. Naša Galaxia a iné galaxie

Parsek Z astronomickej jednotky vychádza jednotka *parsek* (**1 pc, niekedy aj parsec, z *paralactic second, slovensky paralaktická sekunda***). Ide o vzdialenosť, pod ktorou je vidieť jedna astronomická jednotka pod uhlom jednej oblúkovej sekundy.

Na odvodenie dĺžky parseku:



Obrázok 2: Odvodenie dĺžky parseku

Môžeme zapísať, že:

$$\operatorname{tg} 1'' = \frac{1 \text{ au}}{1 \text{ pc}} \Rightarrow 1 \text{ pc} = \frac{1 \text{ au}}{\operatorname{tg} 1''} = 3,09 \cdot 10^{12} \text{ km.}$$

Jeden parsek je asi 3,2 ly.

Ak poznáme ročnú paralaxu p_{\max} hviezdy (zmeranú podľa Obr. 1), jej vzdialenosť r určíme ako

$$\{r\} = \frac{1}{\{p_{\max}\}},$$

kde r i p_{\max} sú v zložených zátvorkách, pretože táto rovnica nesedí rozmerovo; v menovateli nie je funkcia tangens, pretože ak budeme p_{\max} dosadzovať v radiánoch, tak pre takto malé uhly sa hodnota tangensa rovná priamo uhlu v radiánoch a nie je potrebné do toho pliesť trigonometrické funkcie.

3. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽA

Úloha 1: Paralaxa

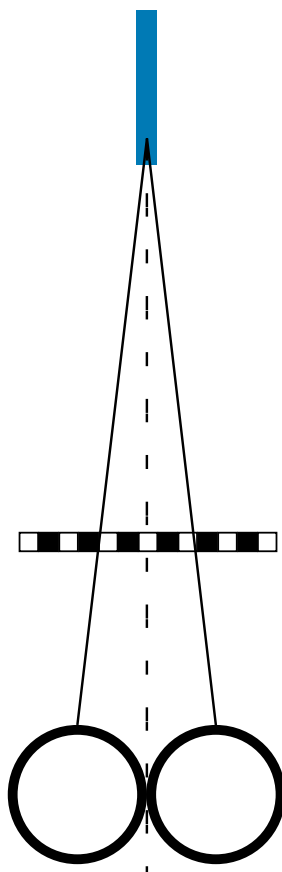
Popísaná aktivita má oboznámiť žiakov s pojmom paralaxy a jej využitím na meranie vzdialenosti.

Pomôcky

- vhodný vzdialený objekt (strom, lampa a podobne),
- dve obruče hula-hop (prípadne iné dve pomôcky na vyznačenie dvoch bodov, odkiaľ sa bude pozorovať),
- dĺžkové meradlo (napr. veľký drevený meter),
- stolík alebo laboratórny stojan, zvinovací meter.

Postup

1. Zostavte sústavu podľa obrázka. Stred dreveného metra musí byť v osi obručí a vzdialeného objektu, ktorého vzdialenosť chceme zmerať a vo vhodnej výške, aby bol za ním objekt vidieť (napr. na stolčeku alebo v stojane). Vzdialenosť stolčeka s metrom od obručí zvolte dva metre.



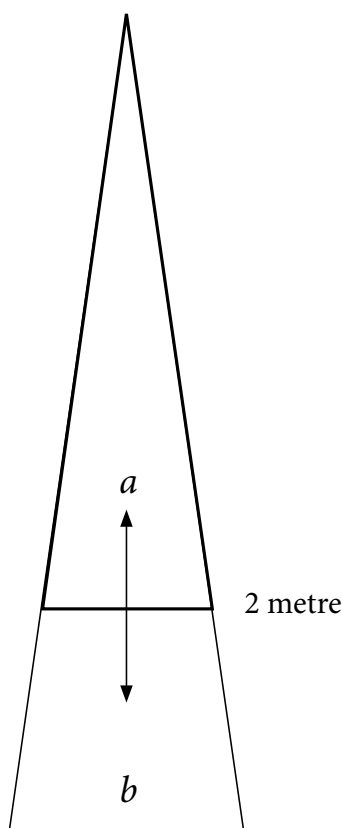
Obrázok 3: Sústava

8. Naša Galaxia a iné galaxie

2. Podľa toho, ako vysoko je meter, postavte sa alebo si sadnite do ľavej obruče a zapíšte, za akým číslom na metri vidíte vzdialený objekt.
3. To isté urobte aj pri pohľade z pravej obruče.
4. Následne presuňte stolček s metrom o dva metre bližšie k objektu (vzdialenosť zmerajte zvinovacím metrom).
5. Opakujte meranie z bodov 2 a 3 a všetky výsledky zapíšte do tabuľky:

Vzdialenosť blízkeho objektu (stolčeka s metrom)	Číslo na metri, s ktorým sa kryje vzdialený objekt VĽAVO	Číslo na metri, s ktorým sa kryje vzdialený objekt VPRAVO
2 metre		
4 metre		

Z hodnôt v tabuľke vypočítajte základne trojuholníkov a a b podľa obrázka a určte vzdialenosť pozorovaného objektu:



Obrázok 4: Výpočet

Následne by mali žiaci odpovedať na nasledujúce otázky:

- a) Aký je vzťah medzi vzdialenosťou objektu a zdanlivou zmenou polohy, keď ho pozorujeme z rôznej perspektívy?
- b) Kde a ako sa v astronómii táto metóda používa?

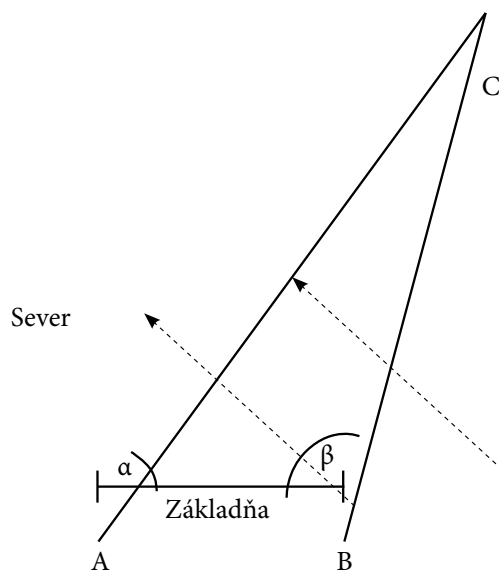
Úloha 2: Meranie vzdialenosti

V tejto úlohe si vyskúšate meranie vzdialenosti objektu podobne, ako sa vzdialenosti merajú v astronómii. Vyberte si dobre viditeľný objekt, napríklad radničná veža, vysoký komín a podobne. Na meranie budete potrebovať pásmo a buzolu alebo kompas (v najhoršom prípade stačí aj kompas v mobilnom telefóne).

Postup:

1. Vymedzte základňu merania (body A a B na Obrázku 3). Tá by nemala byť príliš malá – ak odhadujete, že je objekt vzdialený rádovo kilometre, základňa by mala byť v stovkách metrov. Čím menšia by bola základňa, tým horšia by bola presnosť merania. Za jeden z bodov je dobré vybrať napr. zákrutu alebo kríženie ulíc, aby bolo možné meranie overiť pomocou satelitnej mapy.

Poznámka: Základňu je možné najľahšie vymedziť krokováním: Pomocou pásma zmerajte dĺžku desiatich krokov. Výpočtom zistíte dĺžku jedného kroku v metroch a tento prepočet môžete využiť na zistenie dĺžky základne v metroch.



Obrázok 5: Výpočet

2. Pomocou kompasu v bode A určte, kde je sever. Následne zmerajte, pod akým uhlom α vidíte objekt, ktorého vzdialenosť chcete zmerať (pozri Obr. 3).
3. Rovnako určte severný smer a uhol β v bode B.
4. So známou dĺžkou základne $|AB|$ a uhlami α a β podľa vety *usu* zostrojte trojuholník ABC, kde bod C zodpovedá objektu, ktorého vzdialenosť chcete určiť. Obrázok je vhodné rysovať napr. v mierke 1:500 a vzdialenosť objektu je možné v trojuholníku ABC zmerať.

8. Naša Galaxia a iné galaxie

5. Otvorte si vhodnú online mapu (príklad je na Obr. 6) a overte:
 - a) dĺžku základne,
 - b) vzdialenosť objektu.
6. Vypočítate chybu merania podľa vzorca

$$\delta l = \frac{\text{zmeraná vzdialenosť} - \text{skutočná vzdialenosť}}{\text{skutočná vzdialenosť}} \cdot 100 \%$$



Obrázok 6: Online mapa (príklad)

Úloha 3: Mierky vzdialeností planét v Slnčnej sústave

Táto aktivita upevňuje znalosť astronomickej jednotky. Úlohou je zistiť z vhodných zdrojov (učebnice, tabuľky, internet) stredné vzdialenosti planét od Slnka a vytvoriť model vo zvolenej mierke. Na realizáciu vonku, v okolí školy, možno zvoliť mierku 1 au = 1 meter, na realizáciu v triede mierku 1 au = 10 cm. Oba varianty sú v tabuľke:

Planéta	Vzdialenosť od Slnka v au	Vzdialenosť (1 au = 1 meter)	Vzdialenosť (1 au = 10 cm)
Merkúr	0,4	0,4 m	4,0 cm
Venuša	0,7	0,7 m	7,0 cm
Zem	1,0	1,00 m	10 cm
Mars	1,5	1,5 m	15,0 cm
Jupiter	5,2	5,2 m	52,0 cm
Saturn	9,5	9,5 m	95,0 cm
Urán	19,2	19,2 m	192,0 cm
Neptún	30,1	30,1 m	301,0 cm

Žiaci druhého stupňa by nemali mať problémy s jednotkami dĺžky a s meraním pomocou pravítka, metra a posuvného meradla, rovnako ako s používaním kalkulačky. Po zopakovaní potrebných znalostí je veľmi vhodné nechať žiakov pracovať v skupinách vlastným tempom a vlastnou metódou, čo vedie k posilneniu čitateľskej gramotnosti a schopnosti samostatnej práce podľa zadania.

Žiaci by sami mali dôjsť k poznaniu, že bežné jednotky nie sú na meranie vzdialeností vo vesmíre vhodné. Pomôže napr. to, že na hodine budú k dispozícii rôzne mapy s rôznou mierkou (mapa štátu/mapa sveta).

Úloha 4: Mierky veľkostí planét v Slnecnej sústave

Podobne ako v predchádzajúcej aktivite aj tu ide o tvorbu modelu, tentoraz planét v slnecnej sústave. Úlohou je nájsť priemery alebo polomery planét a vypočítať, koľkokrát sú ostatné planéty väčšie alebo menšie ako Zem:

Planéta	Priemer (km)	Mierka
Merkúr	4 880	0,40
Venuša	12 103	0,95
Zem	12 756	1,00
Mars	6 794	0,53
Jupiter	142 984	11,23
Saturn	120 536	9,46
Urán	51 118	4,06
Neptún	49 532	3,88

V nižších triedach nie je problém planéty v tejto mierke nakresliť alebo vymodelovať z farebnej plastelíny. V spojení s Úlohou 2 je možné pripraviť planetárny chodník, napr. na chodbu školy. V takom prípade je však potrebné zdôrazniť, že mierka veľkosti planét je iná ako mierka vzdialeností – ak by sme zvolili mierku 1 au = 1 meter, bol by priemer Jupitera v tomto modeli necelý jeden milimeter!

Po absolvovaní týchto aktivít by mali byť žiaci schopní povedať, že:

- kilometre používame napr. na meranie vzdialenosti medzi planétami a ich mesiacmi,
- astronomické jednotky používame na meranie vzdialeností medzi planétami alebo medzi centrálnou hviezdou a planétami v planetárnych sústavách,
- svetelné roky napr. na meranie vzdialeností medzi hviezdami,
- parseky na meranie vzdialeností medzi galaxiami.

4. PRACOVNÉ LISTY PRE ŽIAKOV

Názov úlohy	Predpokladaná doba trvania	Náročnosť úlohy	Vek detí, pre ktorý je úloha vhodná	Pomôcky a použitý materiál	Cieľ úlohy
Úloha 1	1 vyučovacia hodina	stredná	14 – 15 rokov	drevený meter, stolík alebo laboratórny stojan, zvinovací meter	zoznámenie s pojmom paralaxy
Úloha 2	2 vyučovacie hodiny	vyššia	12 – 14 rokov	pásmo, buzola, rysovacie potreby, kalkulačka	zoznámenie s metódami merania vzdialenosti vo vesmíre
Úloha 3	1 vyučovacia hodina	stredná	12 – 14 rokov	–	zoznámenie s mierkami vzdialenosti v slnečnej sústave
Úloha 4	1 vyučovacia hodina	stredná	12 – 14 rokov	–	zoznámenie s mierkami planét v slnečnej sústave

Úloha 1: Paralaxa

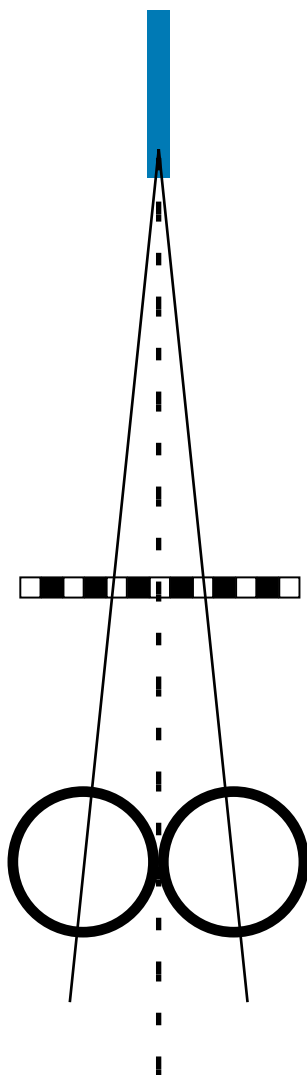
Popísaná aktivita má oboznámiť žiakov s pojmom paralaxy a jej využitím na meranie vzdialenosti.

Pomôcky

- vhodný vzdialený objekt (strom, lampa a podobne),
- dve obruče hula-hop (prípadne iné dve pomôcky na vyznačenie dvoch bodov, odkiaľ sa bude pozorovať),
- dĺžkové meradlo (napr. veľký drevený meter), stolík alebo laboratórny stojan,
- zvinovací meter.

Postup

1. Zostavte sústavu podľa obrázka. Stred dreveného metra musí byť v osi obručí a vzdialeného objektu, ktorého vzdialenosť chceme zmerať a vo vhodnej výške, aby bol za ním objekt vidieť (napr. na stolčeku alebo v stojane). Vzdialenosť stolčeka s metrom od obručí zvolte dva metre.

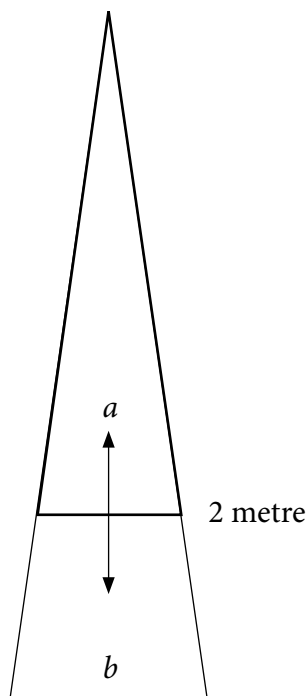


2. Podľa toho, ako vysoko je meter, postavte sa alebo si sadnite do ľavej obruče a zapíšte, za akým číslom na metri vidíte vzdialený objekt.
3. To isté urobte aj pri pohľade z pravej obruče.
4. Následne presuňte stolček s metrom o dva metre bližšie k objektu (vzdialenosť zmerajte zvinovacím metrom).
5. Opakujte meranie z bodov 2 a 3 a všetky výsledky zapíšte do tabuľky:

Vzdialenosť blízkeho objektu (stolčeka s metrom)	Číslo na metri, s ktorým sa kryje vzdialený objekt VĽAVO	Číslo na metri, s ktorým sa kryje vzdialený objekt VPRAVO
2 metre		
4 metre		

8. Naša Galaxia a iné galaxie

Z hodnôt v tabuľke vypočítajte základne trojuholníkov a a b podľa obrázka a určte vzdialenosť pozorovaného objektu:



Miesto na výpočty:

Odpovedzte na nasledujúce otázky:

- aký je vzťah medzi vzdialenosťou objektu a zdanlivou zmenou polohy, keď ho pozorujeme z rôznej perspektívy?
- Kde a ako sa v astronómii táto metóda používa?

Úloha 2: Meranie vzdialenosti

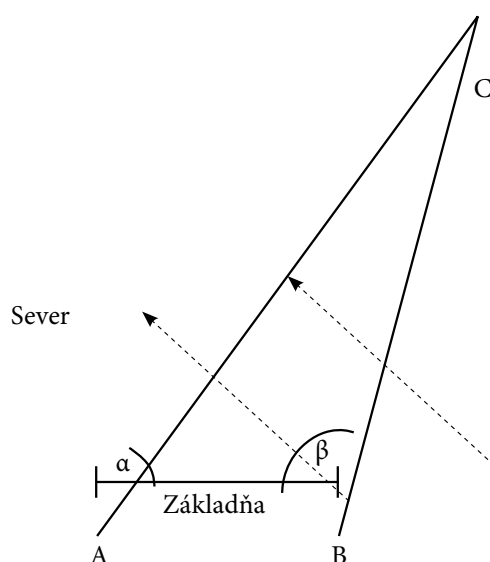
V tejto úlohe si vyskúšate meranie vzdialenosti objektu podobne, ako sa vzdialenosti merajú v astronómii. Vyberte si dobre viditeľný objekt, napríklad radničná veža, vysoký komín a podobne. Na meranie budete potrebovať pásmo a buzolu alebo kompas (v najhoršom prípade stačí aj kompas v mobilnom telefóne).

Postup

- Vymedzte základňu merania (body A a B na Obrázku 3). Tá by nemala byť príliš malá – ak odhadujete, že je objekt vzdialený rádovo kilometre, základňa by mala byť v stovkách metrov. Čím menšia by bola základňa, tým horšia by bola presnosť merania. Za

jeden z bodov je dobré vybrať napr. zákrutu alebo križenie ulíc, aby bolo možné meranie overiť pomocou satelitnej mapy.

Poznámka: Základňu je možné najľahšie vymedziť krokováním: Pomocou pásma zmerajte dĺžku desiatich krokov. Výpočtom zistíte dĺžku jedného kroku v metroch a tento prepočet môžete využiť na zistenie dĺžky základne v metroch.



2. Pomocou kompasu v bode A určte, kde je sever. Následne zmerajte, pod akým uhlom α vidíte objekt, ktorého vzdialenosť chcete zmerať (pozri Obr. 3).
3. Rovnako určte severný smer a uhol β v bode B.
4. So známou dĺžkou základne $|AB|$ a uhlami α a β podľa vety *usu* zostrojte trojuholník ABC, kde bod C zodpovedá objektu, ktorého vzdialenosť chcete určiť. Obrázok je vhodné rysovať napr. v mierke 1:500 a vzdialenosť objektu je možné v trojuholníku ABC zmerať.
5. Otvorte si vhodnú online mapu (príklad je na obrázku) a overte:
 - a) dĺžku základne,
 - b) vzdialenosť objektu.
6. Vypočítate chybu merania podľa vzorca

$$\delta l = \frac{\text{zmeraná vzdialenosť} - \text{skutočná vzdialenosť}}{\text{skutočná vzdialenosť}} \cdot 100 \%$$

Príklad merania vzdialenosti pomocou leteckej mapy:



Úloha 3: Mierky vzdialeností planét v Slnечnej sústave

Z vhodných zdrojov (učebnice, tabuľky, internet) zistíte stredné vzdialenosti planét od Slnka a vytvoríte model vo zvolenej mierke. Na realizáciu vonku, v okolí školy, možno zvoliť mierku 1 au = 1 meter, na realizáciu v triede mierku 1 au = 10 cm. Oba varianty sú v tabuľke:

Planéta	Vzdialenosť od Slnka v au	Vzdialenosť (1 au = 1 meter)	Vzdialenosť (1 au = 10 cm)
Merkúr			
Venuša			
Zem			
Mars			
Jupiter			
Saturn			
Urán			
Neptún			

Skúste so spolužiakmi v triede alebo v okolí školy vytvoriť jednoduchý model slnečnej sústavy – pomocou pásma odmerajte vzdialenosti podľa tabuľky a postavte sa v rovnakých vzdialenostiach, v akých sú planéty od Slnka. Možno bude užitočné pre tento účel vypočítať vzdialenosť planét od seba – Venuše od Merkúru, Zeme od Venuše atď.

Úloha 4: Mierky veľkostí planét v Slnecnej sústave

Z vhodných zdrojov (učebnice, tabuľky, internet) zistíte priemery, prípadne polomery planét a priemery dopočítajte. Následne vypočítajte, koľkokrát sú väčšie planéty väčšie ako Zem a koľkokrát sú menšie planéty menšie (zapíšte pomocou desatinného čísla, ktorým treba vynásobiť priemer Zeme).

Planéta	Priemer (km)	Mierka
Merkúr		
Venuša		
Zem		1,00
Mars		
Jupiter		
Saturn		
Urán		
Neptún		

Planéty vo vhodnej mierke (napr. Jupiter s priemerom 5 cm) možno vymodelovať z farebnej plastelíny, prípadne každú planétu v správnej mierke nakresliť na jednu štvrtinu formátu A4. V spojení s úlohou 2 je tak možné pripraviť planetárny chodník, napr. na chodbu školy.

VZDIALENOSTI VO VESMÍRE

1. ÚVOD

Priestor... je veľký. Naozaj veľký. Neverili by ste, ako obrovsky a nesmierne úžasne je veľký.

(Douglas Adams, Stopárov sprievodca Galaxiou)

1.1 Vesmír je nepredstaviteľne veľký

Vesmírny priestor je obrovský a podľa bežných ľudských meradiel je ťažké si predstaviť už vzdialenosti v rámci slnečnej sústavy, nieto medzi hviezdami alebo galaxiami. Meranie vzdialeností vo vesmíre je navyše všeobecne pomerne ťažké a ako bolo povedané v predchádzajúcich častiach, aby sme mohli pracovať s „rozumne“ veľkými číslami, používame na rôznych škálach rôzne jednotky. Zatiaľ čo na Zemi a v jej okolí si vystačíme so stovkami a tisíckami kilometrov, v rámci slnečnej sústavy je najnázornejšia astronomická jednotka, za hranicami slnečnej sústavy svetelné roky alebo parseky a ich násobky (kly, Mly, Gly, kpc, Mpc). **Obvykle kozmický priestor delíme na medziplanetárny (v rámci slnečnej sústavy, popr. podobných sústav exoplanét v okolí iných hviezd), medzihviezdny a medzigalaktický.**

Nielen známeho nemeckého filozofa **Immanuela Kanta** (1724 – 1804) naplňalo hviezdne nebo úžasom. Ľudia odpradáva vnímali obrovskú veľkosť (aj keď si ju len ťažko dokázali predstaviť a od staroveku po dnešok opakovane zisťovali, že je vesmír oveľa väčší, než si mysleli). Obdivovali aj zoskupenie hviezd (dnes označované ako súhvezdia) a vymysleli aj rad mýtov o ich vzniku (aj my si pri pohľade na Persea, súhvezdie Kassiopea alebo Orión pripomíname postavy z antickej gréckej mytológie). Hviezdy zjavne nie sú na oblohe rozmiestnené rovnomerne, ale zhlukujú sa spolu. Moderné ďalekohľady odhalili, že dokonca aj galaxie sa vďaka vzájomnému gravitačnému priťahovaniu zhlukujú do zložitých obrazcov a vytvárajú skupiny, kopy galaxií aj nesmierne dlhé vlákna tiahnuce sa stovky miliónov svetelných rokov.

1.2 KLÚČOVÉ SLOVÁ

svetelný rok

Galaxia

miestna skupina galaxií

kopa galaxií

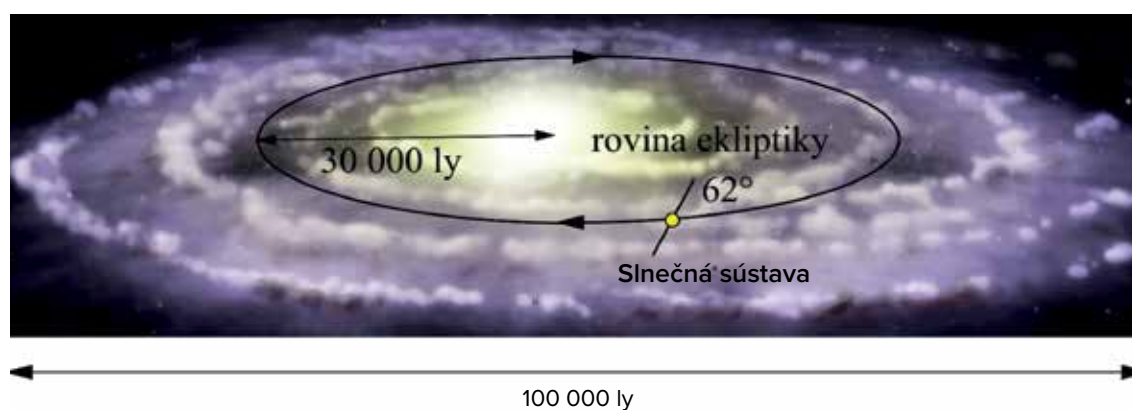
štandardná sviečka

rozpínanie vesmíru

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

Naše Slnko a 200 miliárd ďalších hviezd tvorí našu Galaxiu čiže Mliečnu dráhu. Keby sme sa na ňu mohli pozrieť z veľkej vzdialenosti milióna svetelných rokov, uvideli by sme, že hviezdy sú v nej usporiadané do tvaru disku s priemerom vyše 100 000 ly. Podobný tvar vidíme aj u niektorých iných galaxií, napr. M31 v súhvezdí Andromedy. Naša slnečná sústava je od stredu Galaxie vzdialená približne 30 000 ly (Obr. 1), obieha okolo neho (a tým aj každý z nás) obrovskou rýchlosťou 230 km/s a jeden taký obeh vykoná raz za 240 miliónov rokov.

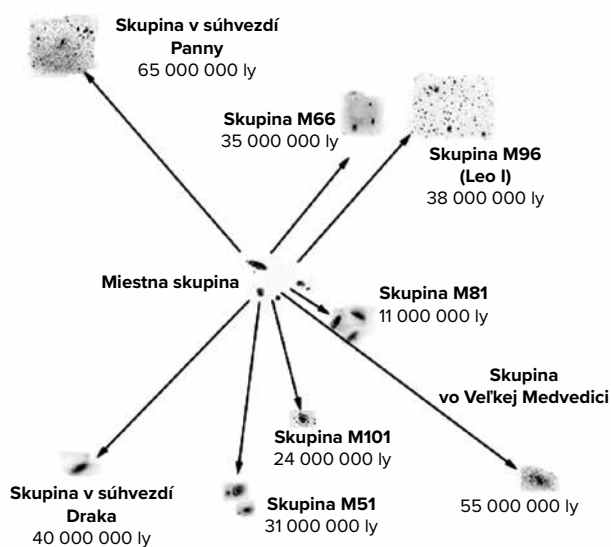
Galaxia
Mliečna dráha



Obrázok 7: Schéma s rozmermi našej Galaxie (Mliečnej dráhy), veľkosť slnečnej sústavy neodpovedá mierke – je zväčšená, aby bola viditeľná; rovina ekliptiky zvierá s galaktickou rovinou uhol 62° (upravené podľa http://cococubed.asu.edu/pix_pages/astro101.shtml)

8. Naša Galaxia a iné galaxie

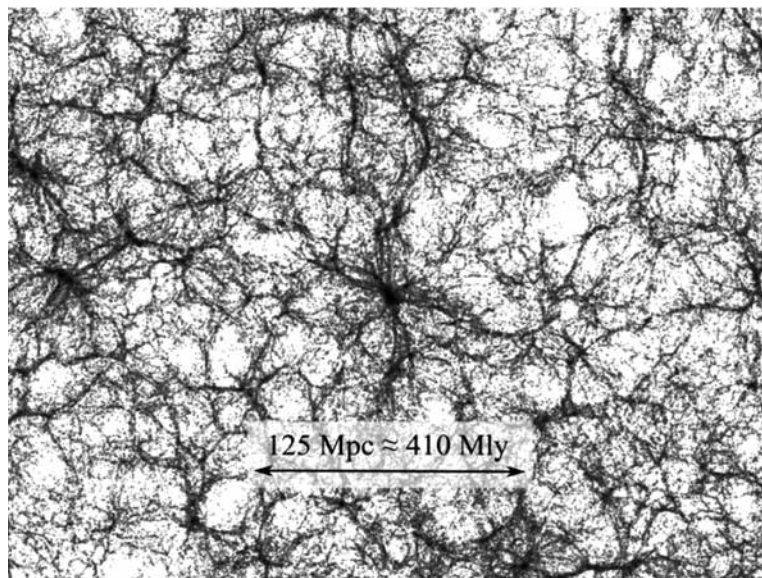
Podobne ako hviezdy, aj galaxie sa združujú do väčších celkov. Naša Galaxia spolu s Veľkou galaxiou M31 v Andromede, galaxiou v M33 v Trojuholníku a tromi desiatkami ďalších menších galaxií tvorí osamotenú sústavu, tzv. Miestnu skupinu galaxií. Galaxia M31 sa k našej Galaxii približuje rýchlosťou 200 km/s a približne za miliardu rokov sa zrazí s Mliečnou dráhou. Ďalšími známymi „členmi“ našej miestnej skupiny sú nepravidelné galaxie Veľké a Malé Magellanovo mračno, trpasličie nepravidelné galaxie vzdialené od našej Galaxie asi 200 000 ly. Niekedy miestnu skupinu nazývame Miestnou kopou galaxií (Obr. 8), najväčší zástupcovia v nej sú naša Galaxia a galaxia M31 v Andromede.



Obrázok 8: Vzdialenosti k niektorým galaxiám v „okolí“ našej miestnej skupiny (upravené podľa <https://imagine.gsfc.nasa.gov>)

Obria kopa galaxií v súhvezdí Panny je od našej Mliečnej dráhy vzdialená asi 60 000 000 ly. Tvorí **stred miestnej superkopy galaxií**, ktorej niekedy hovoríme **supergalaxia**. Tá obsahuje rádovo 100 000 galaxií v priestore s rozmermi 100 miliónov ly. Dnes sú známe desiatky supergalaxií, ktoré sa nachádzajú v uzloch rozmiestnenia galaxií (na Obr. 9 vidíme, že štruktúra rozmiestnenia tak trochu pripomína spleť siete hubových vlákien).

Dnes sme schopní nahliadnuť do veľmi vzdialených oblastí vesmíru (a tým aj hlboko do jeho minulosti). Príkladom je **Hubbleove extrémne hlboké pole** (*eXtreme Deep Field*, alebo *XDF*), snímka malej oblasti hlbokého vesmíru v súhvezdí Pec (Fornax) zložená z údajov nameraných v rokoch 2003 – 2004. Ide o obraz veľmi vzdialeného vesmíru, ktorý dovoľuje nahliadnuť až o 13 miliárd rokov späť do minulosti a hľadať galaxie (celkovo viac ako 5 000 tisíc v malej oblasti oblohy), z ktorých niektoré existovali už medzi 400 a 800 miliónmi rokov po veľkom tresku (Obr. 10).



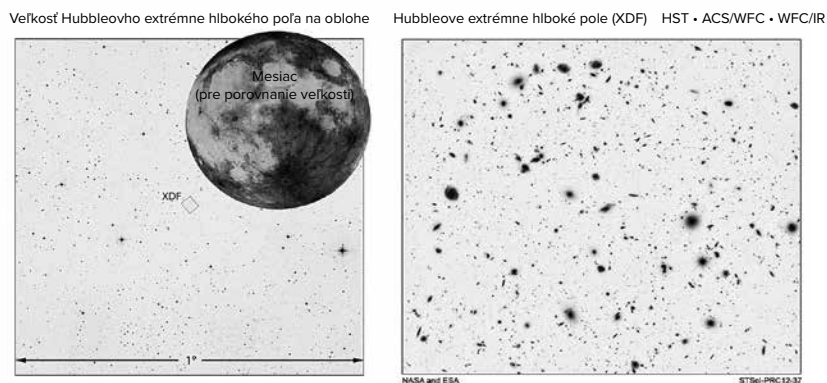
Obrázok 9: Počítačová simulácia rozloženia galaxií vo vesmíre s typickou „vláknitou štruktúrou“

(zdroj: *The Millennium Simulation Project*,

<https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/galform/virgo/millennium/index.shtml>)

Pre rôzne vzdialenosti používame aj iné princípy merania. Už pred viac ako 2 200 rokmi *Eratosthenes z Kyrény* určil obvod Zeme (a tým aj jej polomer). Približne v rovnakom čase *Aristarchos zo Sama* pomocou dômyselnej úvahy odhadol, že Mesiac má polomer 3,7-krát menší ako Zem a jeho vzdialenosť od Zeme zodpovedá asi šesťdesiatnásobku zemského polomeru. Presnejšie určenie vzdialenosti Zem – Slnko bolo už náročnejším problémom. Aj keď sa k dnešnej hodnote pomerne blízko dopočítal už *Christian Huygens* v roku 1659, k všeobecnej zhode sa dospelo až v 2. polovici 19. storočia. V roku 1838 *Friedrich Wilhelm Bessel* zmeral prvú paralaxu hviezdy 61 Cygni (zvolil ju kvôli veľkému vlastnému pohybu po oblohe 5,2“ za rok, z čoho usudzoval, že ide o hviezdu blízku; podľa dnešných meraní sa nachádza vo vzdialenosti asi 11 ly). Ďalší povestný krok do vzdialeného vesmíru urobil v roku 1925 americký astronóm *Edwin Hubble*, keď odhadol vzdialenosť galaxie M31 na milión ly (podľa dnešných meraní je to dokonca 2 500 000 Mly).

História merania vzdialeností vo vesmíre



Obrázok 10: Hubbleove extrémne hlboké pole, pohľad do najvzdialenejších oblastí vesmíru

(zdroj: NASA, ESA, <http://hubblesite.org/images/news/release/2012-37>)

8. Naša Galaxia a iné galaxie

Menšie vzdialenosti v rámci slnečnej sústavy meriame pomocou radaru alebo laseru, vzdialenosť Zem – Mesiac poznáme vďaka tomu s presnosťou na niekoľko milimetrov. Približne do vzdialenosti 1 000 ly možno použiť paralaxu. Družica *Hipparchos*, nazvaná po slávnom antickom gréckom astronómovi premerala v rokoch 1989 – 1993 paralaxy 120 000 hviezd. Prebiehajúce meranie družice *Gaia* vypustenej v roku 2013 by malo určiť s veľkou presnosťou vzdialenosti asi jednej miliardy hviezd.

Na určenie väčších vzdialeností využívame zákonitosti, že vzdialenejšie hviezdy sú pre nás menej jasné – z inak rovnakej hviezdy nachádzajúcej sa v dvojnásobnej vzdialenosti zachytíme na rovnakej ploche štyrikrát menej energie žiarenia. Potrebujeme ale zistiť, akú svietivosť hviezda má (t. j. koľko energie za sekundu vyžiari). Pre Slnko je hodnota svietivosti obrovská: $4 \cdot 10^{26}$ W (JE Temelín má výkon $2 \cdot 10^9$ W). **Taký zdroj, pri ktorom poznáme alebo vieme spočítať svietivosť, označujeme ako štandardná sviečka (Obr. 11).**



Obrázok 11: Princíp štandardnej sviečky – rovnaká sviečka ďalej od nás svieti z nášho pohľadu slabšie, na rovnakej ploche ďalekohľadu zachytíme menej vyžiarenej energie; princíp poznáme aj z nočného pozorovania napr. pouličných lúčok na dlhej ulici – vzdialenejšie pre nás svietia slabšie (zdroj: NASA, https://www.nasa.gov/mission_pages/galex/pia14095.html)

Cefeidy a supernovy

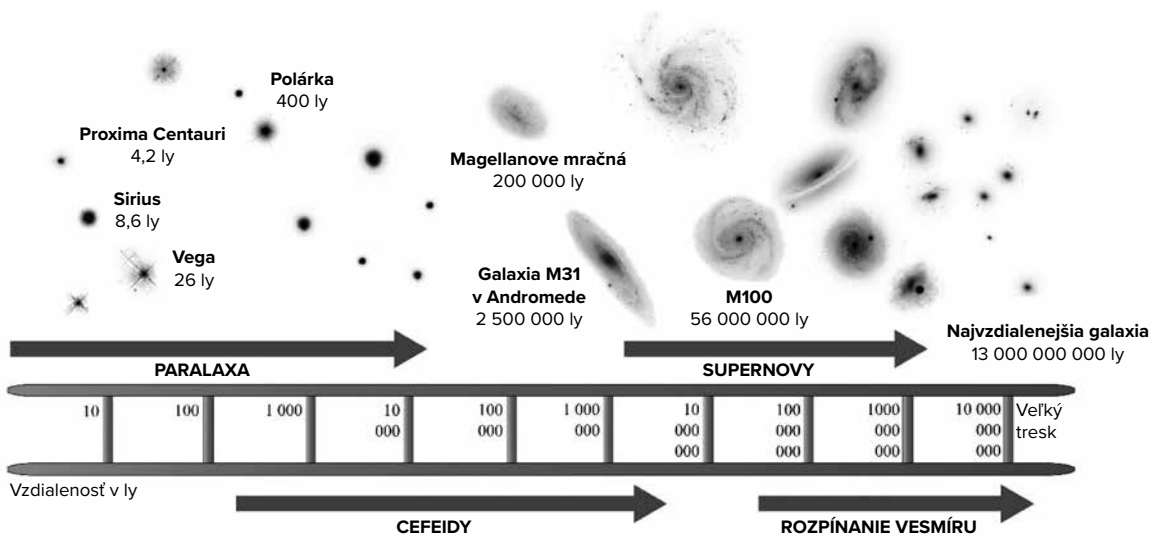
Ako štandardné sviečky môžeme použiť cefeidy, pulzujúce premenné hviezdy, u ktorých môžeme ľahko zmerať periódu zmien ich jasnosti na oblohe, ktorá súvisí so svietivosťou cefeid. Ak zmeriame periódu kolísania jasnosti, môžeme dopočítať svietivosť cefeidy. **Podľa skutočnej jasnosti a zistenej svietivosti potom môžeme určiť ich vzdialenosť.** Cefeida využila prvýkrát na meranie vzdialenosti *Henrietta Swan Leavittová* v roku 1912. **Za pomoci cefeid objavil aj Edwin Hubble v roku 1929 rozpínanie vesmíru.**

Iným typom štandardných sviečok môžu byť supernovy typu Ia, ktoré môžeme pozorovať na vzdialenosť nielen miliónov, ale dokonca miliárd svetelných rokov. Ide o konečnú fázu tesnej dvojhviezdy, z ktorých jedna je bielym trpaslíkom a druhá obrom (popr.

nadobrom). Ak dochádza k prenosu látky z obrej hviezdy na bieleho trpaslíka, zväčšuje biely trpaslík svoju hmotnosť a keď prekročí hodnotu 1,4 hmotnosti Slnka, dôjde ku gigantickej explózií, pri ktorej sa v priebehu niekoľkých sekúnd uvoľní viac energie, než by vyžiarili stovky miliárd slnk. **Cefeidy a supernovy Ia sú tak dôležitou súčasťou kozmického „rebríka vzdialeností“** (Obr. 12).

Je kozmický priestor nekonečný? Odpoveďou si nie sme istí, predpokladáme však, že vesmír nemá žiadnu hranicu (ťažko si takú značku „koniec vesmíru“ dokážeme predstaviť, aj čo by malo byť za ňou) – musí byť teda buď nekonečný alebo uzavretý podobne ako guľatý povrch Zeme, ktorú možno oboplávať alebo obletieť dookola. Vesmír tiež nepozorujeme celý, ale iba jeho časť, **tzv. pozorovateľný vesmír**. Jeho hranica je daná konečnou rýchlosťou svetla – môžeme pozorovať len takú časť vesmíru, z ktorej k nám svetlo (príp. iné elektromagnetické žiarenie) za dobu existencie vesmíru (asi 14 miliárd rokov) stihlo doletieť.

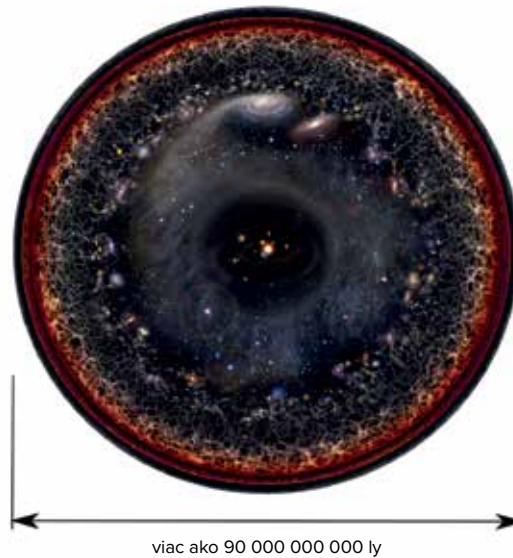
**Nekonečnosť
vesmíru**



Obrázok 12: Na určovanie vzdialeností hviezd a galaxií používame rôzne metódy a techniky. Dôležité je, že sa rôzne metódy vždy pre niektorý interval vzdialeností prekrývajú a určovanie väčších vzdialeností tak môžeme nastaviť podľa merania vzdialeností menších. Postupne tak „šplháme“ až k najvzdialenejším pozorovaným objektom a hovoríme o „rebríku vzdialeností“ (tzv. cosmic distance ladder; upravené podľa http://hetdex.org/images/dark_energy/scaling_the_universe_ladder_hr.jpg)

Zdalo by sa, že polomer pozorovateľného vesmíru bude zodpovedať práve hodnote 14 Gly. V roku 1929 však *Edwin Hubble* objavil ešte jednu **dôležitú vlastnosť nášho vesmíru, priestor v ňom sa rozpína, vzdialenosti medzi galaxiami sa zväčšujú a objekt, ktorý bol napr. pred 13 miliardami rokov vo vzdialenosti 13 Gly sa dnes nachádza oveľa ďalej**. Polomer pozorovateľného vesmíru preto odhadujeme na 45 Gly (Obr. 13).

8. Naša Galaxia a iné galaxie



Obrázok 13: Pokus o znázornenie pozorovateľného vesmíru; pre nás ako pozorovateľa sa v pomyselnom (a zdanlivom) strede nachádza slnečná sústava a v rôznych vzdialenostiach pozorujeme rôzne štruktúry – telesá slnečnej sústavy, hviezdy Mliečnej dráhy, blízke i vzdialené galaxie, zárodky galaxií a... „nakoniec“ reliktné mikrovlnné žiarenie z doby asi 400 000 rokov po veľkom tresku (zdroj: Wikipédia)

Vďaka supernovám Ia sa v 90. rokoch minulého storočia navyše zistilo, že vesmír sa rozpína stále rýchlejšie. Najpravdepodobnejším vysvetlením je, že vo vesmíre je obsiahnuté veľké množstvo tzv. temnej energie (pôsobí opačne ako gravitácia), ktorej podstatu zatiaľ nepoznáme. Za tento objav bola v roku 2011 udelená Nobelova cena za fyziku Američanom Saulovi Perlmutterovi, Brianovi P. Schmidtovi a Adamovi G. Riessovi.

3. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽA

3.1 Vzďialenosti a veľkosti vo vesmíre

Cieľom úloh je podporiť predstavy o pomeroch vzdialeností vo vesmíre, ktoré sú aj pre dospelých ťažko predstaviteľné. Ak sa vzdialenosti vyhľadávajú na internete alebo pomocou rôznych programov, je nutné počítať s tým, že údaje zistené z rôznych zdrojov sa môžu líšiť, rádovo by sa ale mali zhodovať. Je potrebné zdôrazniť, že určovanie vzdialeností je ťažké, a preto nemá zmysel dohadovať sa o 3 a viac platných čísliciach. Aj hodnoty konštánt a veličín v zadaní pracovného listu sú približné (aj keď napr. rýchlosť svetla je podľa definície v rámci sústavy SI stanovená presne na hodnotu 299 792,458 km/s), vypočítané hodnoty by sme preto mali zaokrúhľovať (podľa zadania typicky na 2 platné číslice).

Pri výpočtoch v astronómii a astrofyzike narážame na veľké čísla (a zjednodušene môžeme povedať, že používame rôzne jednotky ako au, ly a Mpc práve preto, aby sme nemuseli písať čísla s množstvom núl). Závisí od matematickej prípravy žiakov, či budeme používať pozičný zápis typu 100 000 000 000 alebo zápis pomocou mocnín desiatky 10^{12} , prípadne slovné vyjadrenie 100 miliárd.

Úloha 1: Vzďialenosť vesmírnych telies od Zeme

Zoradte nasledujúce vesmírne telesá podľa ich vzdialenosti od Zeme od najväčšej po najmenšiu. Ak máte pripojenie na internet, pokúste sa vzdialenosti určiť.

ISS, Polárka, Jupiter, galaxia v Andromede M31, stred našej Galaxie, galaxia NGC 4414 v súhvezdí Vlasy Bereniky, Mesiac

Riešenie: ISS (asi 400 km, t. j. 0,0013 svetelných sekúnd), Mesiac (384 000 km, t. j. 1,3 svetelnej sekundy), Jupiter (5,2 au, t. j. 2600 svetelných sekúnd, 43 svetelných minút), Polárka (približne 400 ly), stred našej galaxie (30 000 ly), galaxia v Andromede M31 (asi 2,5 milióna ly), galaxia NGC 4414 v súhvezdí Vlasy Bereniky (asi 60 miliónov ly).

Údaje na rôznych škálach sa uvádzajú v rôznych jednotkách (km, ly), je vhodné pre porovnanie použiť iba jednu (napr. svetelné sekundy, minúty a roky). Pri niektorých objektoch, napr. Polárky, nie je vzdialenosť presná, v literatúre sa uvádzajú rozmedzia. Ak je k dispozícii viac času, môžeme vyhľadať aj hmotnosti. Aktivitu možno doplniť premietnutím videa alebo animácie (napr. Huang, C. The Scale of the Universe 2 alebo Obreschkow, D. Cosmic Eye).

Úloha 2: Veľkosť vesmírnych telies

Zoradte nasledujúce telesá podľa veľkosti (typického rozmeru) od najmenšieho po najväčšie. Ak máte pripojenie na internet, pokúste sa rozmery doplniť.

planéta Saturn, Slnko, jadro Halleyovej kométy, mesiac Jupitra Io, Galaxia, meteorit, miestna skupina galaxií, planétka Vesta

Riešenie: meteorit (rozmery sú rôzne, od niekoľkých cm alebo desiatok centimetrov – menšie sa hľadajú ťažko – po 2,7 m meteoritu Hoba nájdeného roku 1920 v Namíbií), jadro Halleyovej kométy (asi 10 km), planétka Vesta (stredný priemer asi 525 km), mesiac Jupiteru Io (priemer asi 3600 km, približne 1/4 polomeru Zeme), planéta Saturn (stredný polomer 58 000 km, stredný priemer 116 000 km; asi 9 × väčšia ako Zem), Slnko (stredný priemer skoro 1 400 000 km, 109 × väčšie ako Zem), Galaxia (priemer asi 100 000 ly), miestna skupina galaxií (priemer približne 10 000 000 ly).

Úloha 3: Svetelný lúč

Za ako dlho prejde svetelný lúč vzdialenosť z východu Slovenskej republiky na západ?

planéta Saturn, Slnko, jadro Halleyovej kométy, mesiac Jupitra Io, Galaxia, meteorit, miestna skupina galaxií, planétka Vesta

Riešenie: Označíme zadané veličiny
 $d = 490 \text{ km}$, $c = 300\,000 \text{ km/s}$.
Pre čas t vychádza: $t = d/c = 490/300\,000 \text{ s} \approx 0,0016 \text{ s}$.

Môžeme vyskúšať aj odhad – ak vzdialenosť zaokrúhlime na 500 km, vidíme, že vychádza $5/3 \cdot 0,001 \text{ s}$, čo sa po zaokrúhlení rádovo zhoduje s vypočítanou hodnotou.

Úloha 4: Cesta na Proxima Centauri

Najbližšia hviezda ležiaca mimo našej slnečnej sústavy Proxima Centauri je vzdialená asi 4,2 ly. Ako dlho by cesta k nej trvala:

- vlakovou súpravou Pendolino rýchlosťou 250 km/h;*
- lietadlom Airbus s cestovnou rýchlosťou 800 km/h;*
- sondou Voyager rýchlosťou 17 km/s?*

Riešenie: Vzdialenosť prevedieme na kilometre:

$$d = 4,2 \text{ ly} = 4,2 \cdot 9\,500\,000\,000\,000 \text{ km} \doteq 40\,000\,000\,000\,000 \text{ km}.$$

Na prevod na roky potom použijeme zadanú hodnotu 1 rok \approx 8760 h. Pre jednotlivé časy potom dostávame:

$$t_a = 40\,000\,000\,000\,000 \text{ km} / 250 \text{ km/h} \doteq 160\,000\,000\,000 \text{ h} \doteq 18\,000\,000 \text{ rokov},$$

$$t_b = 40\,000\,000\,000\,000 \text{ km} / 800 \text{ km/h} = 50\,000\,000\,000 \text{ h} \doteq 5\,700\,000 \text{ rokov},$$

$$t_c = 40\,000\,000\,000\,000 \text{ km} / 17 \text{ km/s} \doteq 2\,400\,000\,000\,000 \text{ s} \doteq$$

$$\doteq 650\,000\,000 \text{ h} \doteq 75\,000 \text{ rokov}.$$

Pri sonde Voyager je možné aj vypočítať rýchlosť v km/h $v = 17 \cdot 3\,600 \text{ km/h} = 61\,200 \text{ km/h}$. Potom môžeme podobne ako pri a) a b) písať:

$$t_c = 40\,000\,000\,000\,000 \text{ km} / 61\,200 \text{ km/h} \doteq 650\,000\,000 \text{ h} \doteq 75\,000 \text{ rokov}.$$

Cieľom úlohy je získať predstavu o obrovskej vzdialenosti na základe skúsenosti s cestovaním dnes bežnými prostriedkami (vlak, lietadlo) a doteraz najvzdialenejším ľuďmi vyrobeným objektom slnečnej sústavy, sondou Voyager 1. Tá odštartovala 5. septembra 1977 a za 40 rokov dosiahla vzdialenosť „len“ 140 au (t. j. približne 19 ly; podľa údajov z júna 2018, aktuálne možno dohľadať na internete, aj keď kontakt so sondou zrejme počas niekoľkých rokov stratíme; predpokladá sa, že po roku 2025 už sonda nebude mať dostatok energie na komunikáciu, získavanie a odosielanie akýchkoľvek dát).

Prvé dva časy pritom vychádzajú obrovské – pred 5,7 miliónmi ani 18 miliónmi rokov na Zemi ešte neboli žiadni ľudia ani hominidi rodu Australopithecus. Pritom, samozrejme, neberieme do úvahy obrovské množstvo paliva a energie potrebnej na prevádzku vlaku alebo lietadla počas takej dlhej doby. A to uvažujeme o najbližšej hviezde za humnami Slnečnej sústavy!

Úloha 5: Oortov oblak

Za hranicu Slnečnej sústavy sa niekedy považuje riedka guľovitá obálka zvaná Oortov oblak s priemerom asi 200 000 au. Koľkokrát by sa potom slnečná sústava „vošla“ do priemeru našej Galaxie?

Riešenie: Výpočet možno vykonať takmer naspamäť, pretože priemer Galaxie je 100 000 ly, priemer slnečnej sústavy 200 000 ly a $1 \text{ ly} \approx 63\,000 \text{ au}$. Ako výsledok teda získavame $n = 100\,000 \cdot 63\,000 \text{ au} / 200\,000 \text{ au} = 63\,000 / 2 = 31\,500 \times$.

Rozmery Oortovho oblaku sú približné, vonkajšie hranice Slnečnej sústavy nie sú stanovené jednoznačne. Ak by sme si slnečnú sústavu predstavili ako guľu s polomerom 1 m (asi veľkosť človeka), priemer našej Galaxie by zodpovedal vzdialenosti 31,5 km, približne z centra Bratislavy do Blatného.

Úloha 6: Galaxia GN-z11

Galaxia GN-z11 v súhvezdí Veľkej medvedice objavená v roku 2016 Hubblovým vesmírnym ďalekohľadom je jedným z najvzdialenejších pozorovaných objektov vo vesmíre. Jej súčasnú vzdialenosť odhadujeme na 9 800 Mpc. Koľko je to svetelných rokov? Koľkokrát je táto vzdialenosť väčšia ako priemer Galaxie?

Riešenie: S využitím prevodného vzťahu $1 \text{ pc} \approx 3,26 \text{ ly}$ čiže $1 \text{ Mpc} \approx 3\,260\,000 \text{ ly}$ dostávame

$$d = 9\,800 \cdot 3\,260\,000 \text{ ly} \doteq 32\,000\,000\,000 \text{ ly} = 32 \text{ Gly.}$$

Pri porovnaní s priemerom Galaxie (100 000 ly) zisťujeme, že Mliečna dráha sa do zadanej vzdialenosti vojde 320 000-krát. Ide o ohromné číslo – ak by sme si predstavili celú našu Galaxiu o veľkosti špendlíkovej hlavičky (asi 1 mm), potom by galaxia GN-z11 ležala vo vzdialenosti 320 m, t. j. viac ako troch dĺžok futbalových ihrísk.

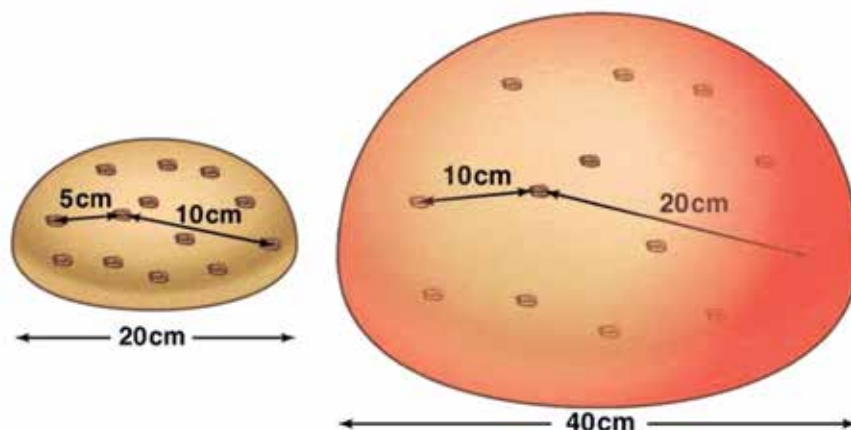
Cieľ úlohy

Cieľom úlohy je pripomenúť jednotku Mpc a prevod na ly, s ktorými pracujeme v tejto kapitole a pracovných listoch najčastejšie. Megaparsek je tiež najčastejšie používanou jednotkou práve pri udávaní vzdialeností medzi galaxiami, aj keď pre vzdialenosti v rámci našej miestnej skupiny ide o jednotku príliš veľkú; napr. pre galaxiu M31 v súhvezdí Andromedy vychádza $2\,500\,000 \text{ ly} \doteq 0,77 \text{ Mpc}$. Pre „cudzie“ galaxie dostávame hodnoty jednotiek až tisíc Mpc, napr. pre skupinu galaxií v súhvezdí Panny $65\,000\,000 \text{ ly} \doteq 20 \text{ Mpc}$, teda „rozumne veľké“ číselné hodnoty.

Zvedaví žiaci môžu položiť otázku, ako je možné pozorovať objekt vo vzdialenosti 32 miliárd ly, ak vek vesmíru dnes odhadujeme na necelých 14 miliárd rokov a svetlo mohlo za dobu existencie vesmíru prejsť vzdialenosť maximálne 14 miliárd ly. Do hry tu vstupuje rozpínanie vesmíru – v okamihu, keď galaxia vyslala pozorovaný signál bola asi vo vzdialenosti 13,4 miliárd ly (a túto vzdialenosť k nám signál skutočne prešiel), sama galaxia sa však medzi tým od nás vďaka rozpínaniu vesmíru „dostala“ do viac než dvojnásobnej vzdialenosti. S týmto javom, ktorý nemusíme brať do úvahy v Slnečnej sústave alebo v rámci Galaxie, musíme pri veľmi vzdialených objektoch počítať. Je naň zameraný aj nasledujúci pracovný list.

Úloha 7: Balónikový model rozpínania vesmíru

Rozpínanie vesmíru nie je vôbec jednoduché si predstaviť. Aj my sa obmedzíme len na základné charakteristiky. Uplatňuje sa len na veľkých vzdialenostiach a medzi objektmi, ktorých vzájomné gravitačné priťahovanie možno zanedbať, typicky medzi galaxiami vo vzdialenostiach desiatok miliónov svetelných rokov a väčších. Naopak, v rámci Slnečnej sústavy, Mliečnej dráhy alebo miestnej skupiny galaxií ich nepozorujeme a nemusíme ani brať do úvahy, tam je rozhodujúca gravitácia (napr. galaxia M31 z našej miestnej skupiny sa od Mliečnej dráhy nevzdaluje, naopak, asi za miliardu rokov sa s ňou zrazí).



Obrázok 14: Model rozpínajúceho sa vesmíru

(zdroj: NASA, https://map.gsfc.nasa.gov/universe/bb_tests_exp.html)

Cieľ úlohy

Cieľom aktivity a pracovného listu je vytvoriť predstavu o vzájomnom vzdalovaní galaxií. Situáciu možno prirovnať k hrozičkam v kysnutom ceste (pozri Obr. 14). Gumový balónik používaný v aktivite je ako pomôcka ľahko dostupný, ale oproti nášmu vesmíru s tromi priestorovými rozmermi sa plocha balónika líši tým, že má len rozmery dva. Na modeli vidíme, že z hľadiska plochy balónika nemá zmysel zaoberať sa nejakým stredom rozpínania, ten na povrchu určite neleží (pri balóniku by sme ho hľadali „vnútri“, pri vesmíre ale žiadne také „vnútri“ vidieť nemôžeme, rovnako ako by ho nevidel mravec na povrchu balónika). Namiesto značiek kreslených fixkou alebo značkovačom môžeme použiť malé samolepky (napr. cenové etikety alebo vianočné samolepky s hviezdčkami; potom by sme ale mali obzvlášť pripomenúť, že rozpínanie sa týka vzdialeností medzi galaxiami, nie medzi hviezdami v rámci galaxie). Určovanie vzdialeností v troch po sebe nasledujúcich krokoch by malo ukázať, že čím sú galaxie (značky na balóniku) ďalej od našej Galaxie, tým sa vzdialenosť po každom dofúkaní zväčšuje (a teda aj rýchlosť vzdalovania).

Ak by sme chceli téme venovať viac času, mohli by sme vzdialenosti vzťahovať k inej značke ako G, zistenú závislosť – vzdialenejšie značky sa vzdalujú viac a rýchlejšie od zvolenej – by sme zistili tiež. V tomto zmysle nie je naša Galaxia žiadnym „stredom vesmíru“, z každej inej galaxie vyzerá rozpínanie rovnako.

Zvedavejším žiakom možno doplniť, že pre rýchlosť vzdalovania galaxií v platí pomerne jednoduchý **Hubbleov zákon**:

$$v = Hd,$$

kde d je vzdialenosť galaxie a H je tzv. Hubbleov parameter, ktorého hodnota sa časom mení. Súčasnú hodnotu označujeme ako **Hubbleovu konštantu H_0** a jej hodnota sa pohybuje okolo 70 km/s na Mpc. V jednotke tak vidíme aj typické jednotky – rýchlosť v km/s a vzdialenosť v Mpc. Rýchlosť vzdalovania dokážeme určiť zo spektra elektromagnetického žiarenia. Pretože nejde o vlastný pohyb galaxií priestorom, ale rozpínanie samotného priestoru, môže dokonca prekročiť rýchlosť svetla (pre veľmi vzdialené gala-

8. Naša Galaxia a iné galaxie

xie). Práve pomocou rýchlosti vzdalovania a Hubbleovej konštanty sa odhadujú najväčšie vzdialenosti vo vesmíre, kedy si už nedokážeme pomôcť žiadnou inou metódou.

Úloha 8: Model súhvezdia Orión

Priestorové modely Slnčnej sústavy sú pomerne častou a osvedčenou metódou budovania predstavy o pomeroch vzdialeností a rozmiestnení jednotlivých telies a nájdeme ich na mnohých miestach (pozri napr. Richterek a Látal, 2013).

Cieľ úlohy

Cieľom aktivity je vytvoriť priestorový model súhvezdia, na ktorom môžeme ukázať, že hviezdy, ktoré na oblohe vidíme blízko seba a patria do jedného súhvezdia, v skutočnosti ležia v rôznych vzdialenostiach od nás. Navyše si môžeme súhvezdie prezeráť z rôznych strán a ukázať, že usporiadanie, ktoré vidíme na oblohe, je len priemetom pri pozorovaní z jedného konkrétneho smeru.



Obrázok 15: Inštalácia pred budovou SŠ vo Veľkej Británii (prevzaté z Brown, 2013).

Kamene značia „nový obrys“ súhvezdí pri pohľade zhora.

Model môžeme urobiť v rôznej mierke, ako na lavici v triede, tak aj napr. vonku pred školou v rámci projektového dňa (pozri Obr. 15; v tom prípade potrebujeme priestor aspoň 3 m × 15 m). Žiaci by mali mať predstavu o pojme mierky (ktorý možno zopakovať). Na podobnom princípe môžeme navrhnuť model iného súhvezdia (napr. podľa výberu žiakov), Slnčnej sústavy (napr. v mierke 1 au = 10 cm, model Neptúna potom bude vo vzdialenosti 3 m od modelu Slnka) alebo našej Galaxie (napr. v mierke 100 000 ly = 1 m, Slnčná sústava potom bude znázornená vo vzdialenosti 30 cm od stredu disku, ktorý má v centrálnej časti hrúbku 15 cm). Opäť pripomeňme, že ak pracujeme s viacerými zdroj-

mi, môžu sa údaje o vzdialenostiach hviezd líšiť, dôležitý je tak predovšetkým poriadok (desiatky, stovky, tisíce ly) ako hodnota na 3 a viac platných cifier.

Práca na modeli ponúka príležitosť na využitie predmetových vzťahov (pracovné vyučovanie, výtvarná výchova, dejepis, slovenský jazyk a literatúra). Ak sa na vytvorený model pozeráme z iných strán, môžeme využiť fantáziu žiakov a navrhnúť iný názov súhvezdia pre pozorovateľa v iných častiach Galaxie (môžeme zdôrazniť, že hviezdy, ktoré jednotlivu na oblohe rozlíšime sú súčasťou práve našej Galaxie, nie iných). Pomenovanie súhvezdí je tiež možnosťou pripomenúť príbehy z antických bájí a mýtov.

Na modeli možno ukázať, že svetlo hviezd, ktoré teraz pozorujeme, bolo vyslané v rôznych časoch; podľa mierky navrhnutej v pracovnom liste prejde 1 cm v našom modeli za 10 rokov. Čas vyslania svetla, ktoré teraz pozorujeme, tak môžeme spojiť s historickými udalosťami pred 450, 650 alebo 1 300 rokmi.

Na hviezdach Oriónu možno tiež okomentovať rôzne fázy „života“ a vývoja hviezd. Ich vek väčšinou nedosahuje geologický vek Zeme 4,5 miliárd rokov. Najmladšie hviezdy Oriónu sa nachádzajú v emisnej hmlovine M42, ich vek odhadujeme na 10 000 – 300 000 rokov (sformovali sa teda v čase, kedy na Zemi žili neandertálci, prípadne prví predkovia rodu *Homo sapiens*). Vek hviezd Oriónovho pásu Mintaka a Alnilam sa pohybuje v rozmedzí 3 – 6 miliónov rokov a zodpovedá dobe, kedy na Zemi žili hominidi rodu *australopithecus*. Vek červeného obra Betelgeuse sa pohybuje okolo 10 miliónov rokov, v čase jeho vzniku neboli na Zemi ešte žiadni hominidi, ani napr. trávnaté lúky a savany, ako ich poznáme dnes.

Doplňujúce úlohy môžu žiaci vykonať samostatne, môžeme ich splniť spoločne s celou triedou alebo zadať ako domáce cvičenie. Pomocou počítačových programov dnes môžeme pomerne ľahko pozorovať zmenu vzájomnej polohy hviezd v čase (Obr. 16) a uvedomiť si, že aj keď z hľadiska života niekoľkých ľudských generácií ide o „stálice“, v dlhšom časovom úseku sa ich vzájomná poloha aj vzdialenosť mení (hoci len „trochu“). Rôzne počítačové programy môžu vykresľovať čiary spájajúce hviezdy v súhvezdí s istými odlišnosťami.



Obrázok 16: Súhvezdie Orión v čase (generované programom SkyChart/Cartes du Ciel, upravené)

4. PRACOVNÉ LISTY PRE ŽIAKOV

Názov úlohy	Predpokladaná časová náročnosť	Náročnosť úlohy	Vek detí, pre ktorý je úloha vhodná	Pomôcky a použitý materiál	Cieľ úlohy
1. Vzďialenosti a veľkosti vo vesmíre (úlohy 1 – 6)	20 – 30 minút	nenáročná až stredne náročná	13 – 15	encyklopédia, atlas alebo internet/ počítačový program typu Stellarium/Star chart, kalkulačka	pripomenutie typických vzdialeností a rozmerov vesmírnych objektov, jednoduché výpočty rôznych vzdialeností
2. Balónikový model rozpínania vesmíru	20 – 30 minút	stredne náročná	14 – 15	gumový nafukovací balónik, fixa (alebo samolepiace dekoračné hviezdičky), papierové meradlo/krajčírsky meter, kalkulačka	modelovanie rozpínania vesmíru a určovanie vzdialeností v ňom
3. Model súhvezdia Orión	1 – 2 hodiny	časovo náročnejšie, závisí od dôslednosti prevedenia	13 – 15	špajdľa, papier, lepidlo alebo izolepa, zvinovací meter, pásmo, farebný papier alebo pastelky/fixky, lepidlo, polystyrénová doska prípadne internet alebo počítačový program typu Stellarium/Star chart	vytvorenie priestorového modelu súhvezdia, hviezdy v ňom nie sú v rovnakej vzdialenosti od nás

Úloha 1: Vzďialenosti a veľkosti vo vesmíre

- Zoradte nasledujúce vesmírne telesá podľa ich vzdialenosti od Zeme od najväčšej po najmenšiu. Ak máte pripojenie na internet, pokúste sa vzdialenosti určiť.



(zdroj obrázkov: Wikipédia)

ISS _____
_____Polárka _____
_____Jupiter _____
_____galaxia v Andromede M31 _____
_____stred našej Galaxie _____
_____galaxia NGC 4414 v súhvezdí Vlasy Bereniky _____
_____Mesiac _____

2. Zoradte nasledujúce telesá podľa veľkosti (typického rozmeru) od najmenšieho po najväčšie. Ak máte pripojenie na internet, pokúste sa rozmery doplniť.

planéta Saturn _____	mesiac Jupitra Io _____
Slnko _____	Galaxia _____
jadro Halleyho kométy _____	meteorit _____
miestna skupina galaxií _____	planétka Vesta _____

V nasledujúcich úlohách počítajte s nasledujúcimi približnými hodnotami jednotiek a konštánt:

- rýchlosť svetla $c \approx 300\,000\text{ km/s}$, $1\text{ rok} \approx 8760\text{ h}$,
- $1\text{ ly} \approx 63\,000\text{ au} \approx 9\,500\,000\,000\,000\text{ km}$, $1\text{ au} \approx 150\,000\,000\text{ km}$
- $1\text{ pc} \approx 3,26\text{ ly} \approx 206\,000\text{ au}$

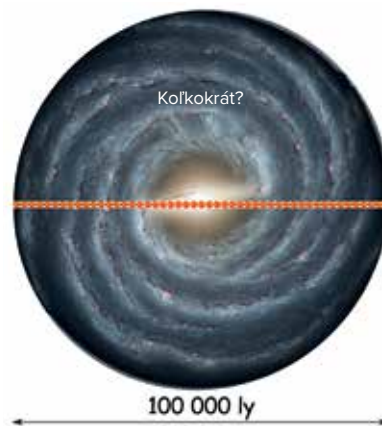
3. Za ako dlho prejde svetelný lúč vzdialenosť z východu Slovenskej republiky na západ?

8. Naša Galaxia a iné galaxie

4. Najbližšia hviezda ležiaca mimo našej slnečnej sústavy Proxima Centauri je vzdialená asi 4,2 ly. Ako dlho by cesta k nej trvala:
- vlakovou súpravou Pendolino rýchlosťou 250 km/h;
 - lietadlom Airbus s cestovnou rýchlosťou 800 km/h;
 - sondou Voyager rýchlosťou 17 km/s?



5. Za hranicu Slnečnej sústavy sa niekedy považuje riedka guľovitá obálka zvaná Oortov oblak s priemerom asi 200 000 au. Koľkokrát by sa potom slnečná sústava „vošla“ do priemeru našej Galaxie?



6. Galaxia GN-z11 v súhvezdí Veľkej medvedice objavená v roku 2016 Hubblovým vesmírnym ďalekohľadom je jedným z najvzdialenejších pozorovaných objektov vo vesmíre. Jej súčasnú vzdialenosť odhadujeme na 9 800 Mpc. Koľko je to svetelných rokov? Koľkokrát je táto vzdialenosť väčšia ako priemer Galaxie?

Úloha 2: Balónikový model rozpínania vesmíru

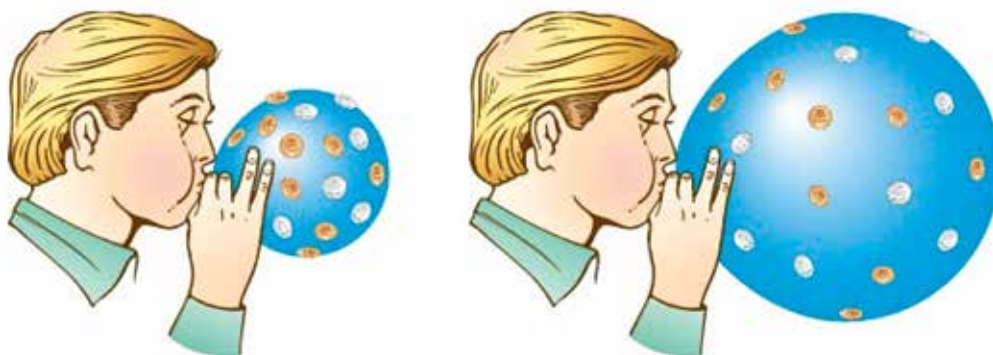
Cieľ úlohy

Vytvoriť model ilustrujúci rozpínanie vesmíru.

Pomôcky

- gumový nafukovací balónik
- fixka (alebo samolepiace dekoračné hviezdičky)
- papierové meradlo/krajčírsky meter
- kalkulačka

Na prvý pohľad vôbec nie je zrejmé, že by sa mal vesmír rozpínať. Nezväčšujú sa rozmery triedy alebo školy ani vzdialenosti medzi miestami na Zemi. Ale pri veľkých vzdialenostiach je to iné – vzdialenosti vo vesmíre (aspoň niektoré) sa zväčšujú. V dvadsiatych rokoch 20. storočia americký astronóm Edwin Hubble zistil, že sa takmer všetky galaxie od našej Mliečnej dráhy vzdalujú. To ale vôbec neznamená, že by naša Galaxia mala byť akýmsi stredom vesmíru.



Obrázok 17: Model znázorňujúci rozpínanie vesmíru pomocou nafukovacieho balónika.

(zdroj: <https://astronomy.stackexchange.com/questions/17965/>

is-the-universe-moving-through-infinite-space-time-as-it-expands)

Postup

1. Pracujte vo dvojiciach alebo trojiciach.
2. Nafúknite balónik na priemer okolo 10 cm. Koniec pevne držte rukou, aby vzduch z balónika neunikal, ale nezaväzujte ho.
3. Fixkou urobte na balónik šesť značiek, jednu z nich označte G (ako naša Galaxia), ostatné číslicami 1 – 5 (označujú iné galaxie vo vzdialenom a mladom vesmíre). Dávajte pozor, aby značky neležali na jednej priamke!

8. Naša Galaxia a iné galaxie

4. Pomocou papierového meradla alebo krajčírskeho metra zmerajte vzdialenosti d_1 od „galaxie“ G k ostatným značkám 1 – 5 a zaznamenajte do tabuľky ako Meranie 1. Dajte pritom pozor, aby vzduch z balónika neunikal. Pomocou meradla určte aj obvod balónika v najširšej časti.



5. Dofúkajte balónik tak, aby mal približne dvojnásobnú veľkosť (t. j. asi 20 cm v priemere).
6. Zmerajte vzdialenosti d_2 „galaxie“ G k značkám 1 – 5 aj obvod balónika v najširšom mieste a hodnoty zaznamenajte do tabuľky ako Meranie 2.
7. Ešte raz, naposledy, dofúkajte balónik na priemer okolo 30 cm.
8. Zmerajte vzdialenosti d_3 „galaxie“ G k značkám 1 – 5 aj obvod balónika v najširšom mieste a hodnoty zaznamenajte do tabuľky ako Meranie 3.
9. Do posledných stĺpcov tabuľky vypočítajte rozdiely $d_2 - d_1$ a $d_3 - d_2$ pre každú zo značiek 1 – 5.

Meranie

Vzdialenosť od „galaxie“ G/cm	Meranie 1 d_1 /cm	Meranie 2 d_2 /cm	Meranie 3 d_3 /cm	Rozdiel $(d_2 - d_1)$ /cm	Rozdiel $(d_3 - d_2)$ /cm
Značka 1					
Značka 2					
Značka 3					
Značka 4					
Značka 5					
Obvod balónika/cm				X	X

Otázky na záver

1. Ako sa zmenila vzdialenosť od „galaxie“ G k zostávajúcim značkám 1 – 5 po každom nafúknutí balónika?

2. Vzďaľovali sa viac značky, ktoré boli na začiatku bližšie alebo ďalej od G?

3. Povedzme, že dofúkanie balónika trvá vždy rovnaký čas t (napr. 10 s). Z rozdielov $d_2 - d_1$ a $d_3 - d_2$ môžeme spočítať „rýchlosti“ vzdáľovaní $v_1 = (d_2 - d_1)/t$ a $v_2 = (d_3 - d_2)/t$ (naše rýchlosti sú malé, pri galaxiách vo vesmíre vychádzajú v km/s!).

	Rýchlosť $v_1 = (d_2 - d_1)/t$ v cm/s	Rýchlosť $v_2 = (d_3 - d_2)/t$ v cm/s
Značka 1		
Značka 2		
Značka 3		
Značka 4		
Značka 5		

Závisia rýchlosti na vzdialenosti d_1 ? Ak áno, ako?

Úloha 3: Model súhvezdia Orión

Cieľ úlohy

Vytvoriť priestorový model súhvezdia Orión vo vhodnej mierke.

Pomôcky

- špajdľa
- papier
- lepidlo alebo izolepa prípadne taviaca pištoľ
- zvinovací meter (na väčšie modely pásmo)
- farebný papier alebo pastelky/fixky
- mäkká ceruzka

8. Naša Galaxia a iné galaxie

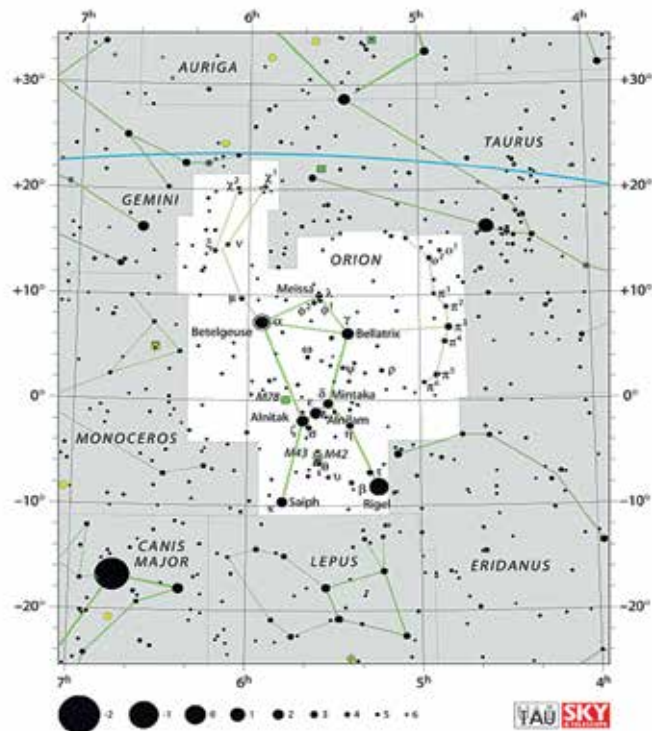
- vreckový nožík
- polystyrénová doska s rozmermi 30 cm × 150 cm prípadne internet alebo počítačový program typu Stellarium/Star chart

Toto známe súhvezdie podľa gréckej mytológie predstavuje mytologického lovca Orióna, ktorý bol synom Poseidóna, boha morí, a lovkyně Euryaly, ktorá patrila k družine bohyně lovu Artemis. Podľa jednej z verzií sa na oblohu dostal tak, že urazil bohyňu Hérú, ktorá na neho poslala obrovského škorpióna, bodnutiu ktorého Orión podľahol. Bohyňa Artemis dosiahla aspoň to, aby sa Orión aj so svojimi dvoma psami dostal na oblohu (súhvezdie Veľký pes a Malý pes). Škorpióna, ktorý Orióna zahubil, môžeme na oblohe nájsť tiež, ale aby sa nemohli na oblohe stretnúť, umiestnili ich podľa povesti bohovia na opačné strany oblohy. Preto keď sa Škorpión dostane na oblohu, Orión sa schová pod obzor.



Obrázok 18: Zobrazenie lovca Orióna v atlase z prvej polovice 19. storočia
(zdroj: Wikipédia)

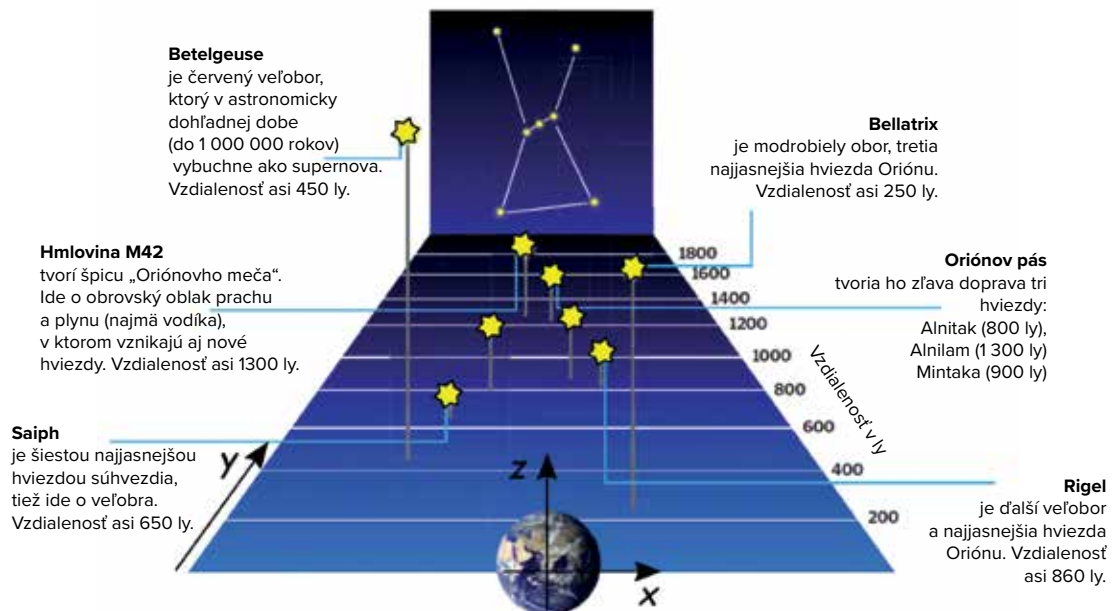
Hviezdy, ktoré tvoria súhvezdia Orión, ležia v skutočnosti v rôznych vzdialenostiach od Slnka. Ich podobnosť s ľudskou postavou je preto daná smerom pohľadu zo Slnčnej sústavy, z iných smerov by hviezdy súhvezdia pripomínali úplne iný obrazec. Aby sme si to ukázali, môžeme vytvoriť trojrozmerný model. Dodajme, že názvy hviezd Orióna sú vlastne arabského pôvodu (napr. *Betelgeuse* v preklade znamená ruka obra alebo podpazušie, *Rigel* noha).



Obrázok 19: Mapa súhvezdia Orión

(zdroj: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Orion_IAU.svg&oldid=306677181)

Popis siedmich najjasnejších hviezd Orióna s ich vzdialenosťami od Slnecnej sústavy:




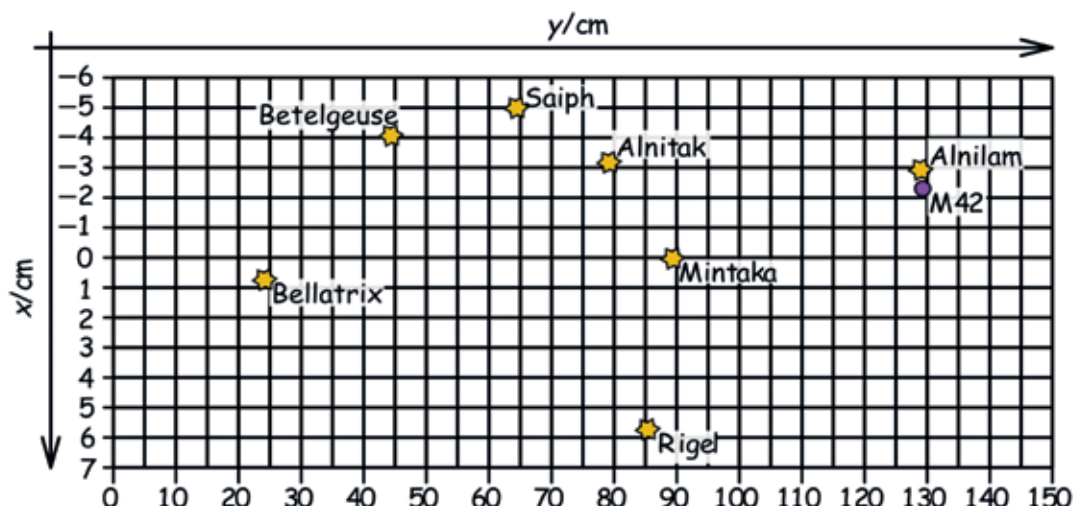
8. Naša Galaxia a iné galaxie

Tabuľka vzdialeností hviezd a možných súradníc v našom modeli v mierke, v ktorej 1 cm zodpovedá vzdialenosti 10 ly.

Hviezda	Vzdialenosť r/ly	x/cm	y/cm	z/cm
Betelgeuse	450	- 4,1	45	21
Rigel	860	5,7	86	8,4
Bellatrix	250	0,7	25	16
Mintaka	900	0,0	90	21
Alnilam	1 300	- 2,9	130	24
Alnitak	800	- 3,2	80	17
Saiph	650	- 5,0	65	6,6
M42	1 300	- 2,3	130	14

Postup

1. Pracujte v skupinách po 3 – 6.
2. Najprv pripravíme modely hviezd ako guľôčok z farebného (napr. žltého) papiera s priemerom okolo 0,5 cm až 1 cm. Pre hmlovinu M42 môžeme zvoliť inú farbu. Namiesto guľôčok môžete použiť šablónu hviezdy (pre každú hviezdu v Tabuľke 2, jednu „spredu“ a jednu „zozadu“). 
3. Pripravte si špajdle s dĺžkou zodpovedajúcej veľkosti súradnice z v pravom stĺpci tabuľky. Jeden koniec špajdlí môžeme nožíkom zaostriť, aby sa lepšie zapichoval do dosky.
4. Na špajdle (na nezaostrený koniec) nasunieme a nalepíme guľôčky (alebo vystrihnuté hviezdičky) znázorňujúce hviezdy súhvezdia.
5. Na polystyrénovú dosku nakreslíme ceruzkou súradnicovú sieť x a y (napr. v smere x po 1 cm a v smere y po 10 cm).
6. Zapichneme špajdle s modelmi hviezd na správne miesta, dbáme na to, aby boli všetky zapichnuté približne rovnako hlboko (na špajdle si na zaostrom konci môžeme urobiť ceruzkou značku, vždy je potrebné 1 cm od konca a zapichnúť špajdlu po túto značku). Jednotlivé hviezdy popíšete menami buď fixkou na dosku, alebo pomocou papierových štítkov.
7. Nájdite miesto, z ktorého uvidíte hviezdy v rovnakom alebo podobnom usporiadaní ako na oblohe. Potom prezerajte model súhvezdia z rôznych strán a pokúste sa navrhnuť, čo pripomína pri pohľade zhora, z boku a z opačnej strany.



Doplňujúce úlohy:

1. Pomocou počítačového programu (napr. Stellarium alebo Skychart) zistíte tvar súhvezdia Orión v roku 100 000 pr. n. l. a v roku 100 000 n. l. Líši sa nejako od dnešného?
2. Vyberte si iné známe súhvezdie (Malý/Velký voz, Kassiopea, Labuť, Lýra a pod.) a pomocou atlasu, internetu alebo počítačového programu zistíte vzdialenosti 5 hviezd tohto súhvezdia.

Použité zdroje

- *Balloniverse. Big Bang Analogy Activity* [online]. Dostupné z: http://www.sciencewithmrjones.com/downloads/astromy/universe/big_bang_analogy.pdf.
- BĚLOUN, F. et al. (2018): *Tabulky pro základní školu*. Praha: Prometheus. ISBN 978-80-7196-346-2.
- BROWN, D. (2013): The Orion Constellation as an Installation: An Innovative Three-Dimensional Teaching and Learning Environment. *The Physics Teacher*. 51(3), 160.
- OBRESCHKOW, D. (2018): *Cosmic Eye* (Original HD Landscape Version 2018) [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=8Are9dDbW24>.
- HERRMANN, J. (1997): *Hvězdy*. Praha: Ikar. ISBN 80-7202-212-1.
- HUANG, C.: *The Scale of the Universe 2* [online]. Dostupné z: <http://htwins.net/scale2/lang.html.52>

8. Naša Galaxia a iné galaxie

- HUGHES, D. W. (2001): Six stages in the history of the astronomical unit. *Journal of Astronomical History and Heritage*. 4, 15 – 28. ISSN 1440-2807.
- KLECZEK, J. (2002): *Encyklopedie Vesmíru*. Praha: Academia. ISBN 80-200-0906-X.
- KLECZEK, J. (2013): *Toulky vesmírem*. Praha: Aldebaran Group for Astrophysics. ISBN 978-80-904582-4-6.
- RICHTEREK, L. a LÁTAL, F. (2013): Výuka astronomie na školách v Olomouci. *Školská fyzika*. (6), 28 – 35.
- *Sizes of the Universe poster* [online]. Dostupné z: <http://www.numbersleuth.org/universe/size/>.
- *Star Chart* [online]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.escapistgames.starchart&hl=cs>.
- *SkyChart/Cartes du Ciel. Free software to draw sky charts* [online]. Dostupné z: <https://www.ap-i.net/skychart/en/start>.
- *Stellarium Astronomy Software* [online]. Dostupné z: <http://stellarium.org/cs/>.
- TEGMARK, M. (2016): *Matematický vesmír: moje pátrání po nejhlubší podstatě reality*. Praha: Argo/Dokořán. ISBN 978-80-7363-697-5.
- *The Universe – The Expanding Universe* [online]. Dostupné z: <http://cas.sdss.org/dr5/en/proj/basic/universe/expanding.asp>.
- *What are constellations?* | How It Works Magazine [online]. Dostupné z: <https://www.howitworksdaily.com/what-are-constellations/>.
- ZENDRI, G., T. ROSI, T. a OSS, S. (2016): The Hubble party balloon and the expanding universe. *European Journal of Physics*. 37(5), 055701. ISSN 0143-0807.

VESMÍR – HISTÓRIA, TEÓRIA VEĽKÉHO TRESKU, RADIÁCIA

1. HISTÓRIA VESMÍRU, TEÓRIA VEĽKÉHO TRESKU, RADIÁCIA

Pre starovekých Grékov mal poriadok, krása, harmónia a dokonalosť – v rámci ich poňatia prírody – veľký význam. **Kozmos je grécke slovo, ktoré znamená „poriadok“, ale aj „harmónia“ a „krása“.** Pod Kozmom starí Gréci chápali Vesmír ako dokonalý, krásny, upravený a harmonicky usporiadaný systém. Chaos bol protikladom Kozmu. Teraz, keď povieme „Kozmos“, chápeme celý hmotný svet, ktorý sa nachádza mimo Zeme a jej atmosféry. Kozmos sa často vzťahuje na Vesmír ako celok, je považovaný za niečo jednotné a podliehajúce spoločným zákonom. „Vesmír“ je však oveľa širší pojem, plný filozofického významu a presahuje samotnú astronómiu – v skutočnosti **Vesmír predstavuje celý svet okolo nás. Vesmírom nazývame všetko, čo existuje a o čom už vieme a čo objavíme v budúcnosti.**

Čo je Vesmír?

Pre astronómov je Vesmír tou časťou sveta, ktorá je nám k dispozícii na štúdium pomocou prírodných vied (dnes aj v budúcnosti). Astronomický Vesmír opisuje celý Kozmos, ktorý zahŕňa všetky známe a neznáme nebeské objekty, ako aj priestor medzi nimi a ktorý je prístupný na pozorovanie v súčasnosti alebo v predvídateľnej budúcnosti.

Naše názory na Vesmír prešli v posledných rokoch výraznými zmenami. Asi sto rokov dozadu sa všeobecne akceptovala predstava o statickom Vesmíre bez zmien, bez začiatku a bez konca, ktorý vždy existoval a bude existovať navždy. Nové objavy a pozorovacie fakty avšak posilňovali predstavu, že Vesmír je neustále sa rozvíjajúcou dynamickou štruktúrou s celou škálou vecných a energetických foriem. Neexistoval naveky a časom sa vyvíja. **Niečo viac – Vesmír, v ktorom žijeme, pravdepodobne nie je jediný a je súčasťou niečoho väčšieho, čo nazývame Multiverzum, multivesmír alebo meta-vesmír.** Podľa moderných názorov asi pred 14 miliardami rokov supermocný **Veľký tresk** položil začiatok pozorovateľného Vesmíru a fyzikálnych zákonov, ktorými sa Vesmír riadi. Odvtedy sa Vesmír rozširuje a pravdepodobne sa bude navždy rozširovať. Túto expanziu, ako aj slabú

Rôzne názory
na Vesmír

9. Vesmír

elektromagnetickú ozvenu z Veľkého tresku, pozorujeme aj teraz. Nie je náhoda, že hovoríme o „pozorovateľnom“ Vesmíre alebo o „pozorovateľnej“ látke – v skutočnosti väčšiu časť celkovej hmoty Vesmíru nie je možné priamo pozorovať, a to ani s najmodernejším vybavením. Túto časť Vesmíru nazývame **skrytou hmotou alebo temnou hmotou** – oba pojmy pochádzajú z nemožnosti ju priamo pozorovať. V súčasnosti neexistuje ani jasná predstava o tom, o aký druh hmoty môže ísť.

**Temná energia
kozmickeho vakuu**

Okrem temnej hmoty vo Vesmíre existuje aj obrovská **temná energia kozmickeho vakuu**, ktorá nie je prepojená s nijakou hmotou a prejavuje sa ako **antigravitácia – teda ako sila, ktorá je v protíváhe ku gravitácii**. Takmer 3/4 Vesmíru sú tvorené temnou energiou. Táto energia spôsobuje, že Vesmír zrýchľuje svoje rozširovanie sa a týmto predstavuje vlastnosť priestoru. Zvyšok Vesmíru väčšinou predstavuje temná hmota, ktorej zloženie je stále nejasné, a iba malá časť Vesmíru predstavuje „obyčajná“ viditeľná hmota, z ktorej sú tvorené planéty, hviezdy a galaxie. **Celkovo Vesmír obsahuje iba 4 % pozorovateľnej obvyčajnej hmoty (ide o atómy a elementárne častice), 23 % tmavej hmoty a až 73 % stále tajomnej, tmavej energie.**

Gravitácia pôsobí na všetky formy hmoty a „antigravitácia“ temnej energie sa prejavuje iba vo veľmi veľkom meradle. Núti Vesmír rozširovať sa so zrýchlením – takýto typ expanzie by bol nemožný, keby gravitácia bola jedinou dominantnou silou. Stopy antigravitáčnych prejavov temnej energie boli však nepriamo spozorované v žiarení supernov na veľké vzdialenosti a ich objavenie viedlo v roku 2011 k Nobelovej cene za fyziku.

1.1 Kozmológia

Kozmológia Veda, ktorá študuje štruktúru a vývoj Vesmíru ako celku, sa nazýva **kozmológia**. Jej úlohou je pochopiť, ako sa rôzne prírodné javy – od najmenších elementárnych častíc po najväčšie štruktúry vo Vesmíre – spájajú do jedného celku pod pôsobením najzákladnejších síl, ktoré poznáme. **Preto otázky, ktorým sa kozmológia venuje, sú jednými z najzákladnejších vedeckých otázok vo všeobecnosti.** Je Vesmír v plienkach alebo je už dospelý? Ako sa bude vyvíjať v budúcnosti? Skončí svoju existenciu alebo bude aj naďalej jestvovať? Objasnenie pôvodu Vesmíru a jeho vývoja v čase súvisí aj s hlavnou otázkou pre ľudstvo samotné: Ako vznikla ľudská civilizácia a ako sa bude vyvíjať v budúcnosti?

Kozmológia je pozorovacia veda, ktorá v súčasnosti skutočne prežíva svoj „zlatý vek“. Až donedávna bola založená iba na dvoch základných pozorovacích nálezoch, čiže objavoch. Jedným z nich bol Hubblov zákon*, ktorý odráža veľmi dôležitý fakt vo vývoji Vesmíru – galaxie s väčším červeným posunom vo svojich spektrálnych líniách sa rýchlejšie vzdalujú. Z toho je zrejmé, že sa Vesmír rozširuje. Druhým objavom bolo tzv. mikrovlnové/mikrovlnné žiarenie pozadia, ktoré je opísané nižšie.

*Na konci roku 2018, po porade so svojimi členmi, zmenila Medzinárodná astronómická únia (angl. International Astronomical Union) názov Hubblovho zákona na Hubble-Lemaîtreov zákon, aby vzdala hold Georgovi Edouardovi Lemaîtreovi za jeho príspevok k objavu rozšírenia Vesmíru.

Vesmír je štruktúrovaný inakším spôsobom, keď sa naň pozeráme z rôznych meradiel. Štruktúry v meradle elementárnych častíc sú jedny, a vo väčšej mierke sú úplne iné. Aby sme pochopili konštrukciu Vesmíru ako celku, kozmológovia sa opierajú o tzv. **kozmo-
logický princíp**. Podľa neho sú fyzikálne zákony v celom Vesmíre rovnaké. Vychádza z dvoch dôležitých faktov, ktoré sa opierajú o naše súčasné poznatky o Vesmíre. Prvým poznatkom je, že Vesmír je vo veľkom meradle homogénny. To znamená, že akákoľvek kocka veľkej veľkosti (napríklad 200 – 300 miliónov svetelných rokov) umiestnená kdekoľvek vo Vesmíre bude obsahovať toľko galaxií, ako akákoľvek iná kocka rovnakej veľkosti, ktorá sa nachádza na inom mieste. Inými slovami, Vesmír sa v takomto meradle javí ako „hladký“. Druhým poznatkom je, že Vesmír je izotropný. To znamená, že vyzerá rovnako, keď sa naň pozeráme z akéhokoľvek jeho bodu. Pozorovateľ nachádzajúci sa kdekoľvek na mieste vo Vesmíre teda uvidí rovnako rozsiahlu štruktúru, akú vidíme my, na Zemi.

Kozmologický
princíp

1.2 Veľký tresk

Teória, ktorá opisuje **moderný pohľad na vývoj Vesmíru**, sa nazýva **Teória horúceho Vesmíru**. Sformuloval ju americký astrofyzik ruského pôvodu George Gamov na základe Einsteinovej teórie relativity.

Veľký tresk

Podľa tejto teórie začala expanzia Vesmíru Veľkým treskom z veľmi kompaktného a veľmi hustého stavu hmoty charakterizovaný extrémne vysokou teplotou (odtiaľ aj termín „horúci Vesmír“). Táto počiatočná konfigurácia hmoty má dve dôležité zvláštnosti, ktoré je ťažké našou logikou, ktorá sa opiera o naše každodenné skúsenosti pochopiť.

Prvá zvláštnosť hmoty súvisí so „začiatkom“. Ak sledujeme vývoj opačným smerom a použijeme parametre rozširovania pozorované dnes a známe fyzikálne zákony, uvidíme, že hustota hmoty by mala byť na začiatku nekonečne veľká. **Zdá sa, že to nie je z fyzikálneho hľadiska možné a pre takú konfiguráciu nefungujú fyzikálne zákony tak, ako ich poznáme. Preto ešte nemáme vhodné prístroje na opísanie počiatočnej konfigurácie.** Navyše, čas sám o sebe nie je presne definovanou veličinou pre neuveriteľne vysoké hustoty, ktoré jestvovali v najskorších okamihoch vytvorenia Vesmíru. Spolu s Vesmírom, s priestorom a so všetkými fyzikálnymi zákonmi, ktorými sa Vesmír riadi, sa v procese Veľkého tresku narodil aj samotný čas. Preto otázke, čo sa stalo „pred“ Veľkým treskom, chýba fyzický význam. Ak položíme takúto otázku, je toto to isté, ako keby sme sa spýtali, kde je Západ, keď sa nachádzame na severnom póle Zeme. Je zrejmé, že na severnom póle smery „východ“ a „západ“ nemajú význam – môžeme ísť iba na juh. Tieto smery sa reálne „zrodia“ prvým krokom, ktorý urobíme, keď sa pohneme od pólu.

Počiatok

Miesto **Druhá zvláštnosť súvisí s „miestom“.** V žiadnom prípade nie je ľahké pochopiť skutočnosť, že **Veľký tresk nemá stred. Uskutočnil sa všade a v tom istom čase. Preto, aj keď sa galaxie dnes od seba vzdalujú, neposúvajú sa z toho istého stredového bodu.** Táto zvláštnosť vyplýva priamo z kozmologického princípu. Ak my na Zemi vidíme, ako sa galaxie navzájom „vyhýbajú“, to isté vidia aj pozorovatelia z inej galaxie. Je to preto, lebo Hubblov zákon musí byť rovnaký všade vo Vesmíre. Na prvý pohľad je tu rozpor. Pozrime sa však na rozšírenie Vesmíru ako na jeden nafukovací balónik s nakreslenými špirálami. V rámci tejto analógie je každá špirála galaxiou z nášho Vesmíru. Po nafúknutí balónika sa každá špirála vzdialila od všetkých ostatných špirál. Ak do jednej špirály vložíme „pozorovateľa“, ten uvidí, ako sa ostatné špirály od neho vzdalujú. Ak presunieme pozorovateľa do inej špirály, uvidí to isté. Preto nemôžeme hovoriť o „strede“ vyhýbania sa galaxie navzájom – sférický povrch balónika nemá ani stred, ani začiatok, ani koniec. Bez ohľadu na smer, ktorým sa po tomto povrchu pohybujeme, my sa nikdy nedostaneme na jeho „koniec“. **V tomto zmysle Vesmír nemá hranice, ale nie je nekonečný – objem pod hladinou balónika vôbec nie je nekonečným.**

1.3 Mikrovlnné žiarenie pozadia

Mikrovlnové/
mikrovlnné
žiarenie pozadia

Podľa teórie horúceho Vesmíru bol Vesmír po počiatkoch Veľkom tresku vysokoteplotnou a veľmi hustou zmesou elementárnych častíc. Tento konkrétny stav hmoty nemá vo fyzickej realite, ktorá nás obklopuje, analógiu.

Asi 370 000 rokov po Veľkom tresku vo Vesmíre vzniklo tzv. **zvyškové alebo pozostatkové žiarenie**. V tom čase to bolo oveľa hustejšie a teplejšie ako dnes. Priemerná teplota horúcej plazmy, ktorá rovnomerne vyplňovala celý Vesmír, bola asi 3000 K, a preto maximum jej žiarenia bolo vo viditeľnom rozsahu spektra. S expanziou Vesmíru sa priemerná teplota hmoty v ňom ustavične znižovala a teraz je asi 1 000-krát nižšia. Preto by sa v súčasnej dobe mali v mikrovlnnom rozsahu rádiového pásma hľadať stopy žiarenia zodpovedajúce tejto teplote.

Predpovedal to Gamow ešte v roku 1946, čo bolo aj zaregistrované, ale až o 20 rokov neskôr. Maximálna hodnota reliktného žiarenia je pri vlnovej dĺžke asi 2 mm. Vyznačuje sa veľmi vysokým stupňom izotropie, t. j. pozoruje sa ako rovnomerný mikrovlnný rádiový signál prichádzajúci zo všetkých smerov s rovnakou intenzitou. **Nazýva sa to aj mikrovlnové/mikrovlnné žiarenie pozadia, pretože zdroj tohto žiarenia, ktoré nás ožaruje zo všetkých strán, leží ďalej (a teda aj späť v čase) od všetkých ostatných objektov vo Vesmíre – asi 14 miliárd svetelných rokov – a javí sa ako ich pozadie.** Jeho spektrum veľmi presne popisuje **Planckov zákon ako žiarenie absolútneho čierneho telesa s teplotou asi 3 K.** Objav reliktného žiarenia priniesol jeho autorom Nobelovu cenu za fyziku v roku 1978. **Ten pozorovateľne potvrdzuje Teóriu horúceho Vesmíru a spolu s objavením „rozutekania“ galaxií bol jedným z najväčších úspechov vedy v 20. storočí.**

Reliktné žiarenie k nám prichádza zo všetkých smerov veľmi rovnomerne – s presnosťou na stotiny percenta. Ale v tomto mikrovlnovom/mikrovlnnom žiarení pozadia sú ťažko viditeľné „vrásky“, ktoré sa objavili v skorších časoch života Vesmíru v dôsledku nevyhnutných výkyvov v dôsledku kvantovej povahy hmoty. Boli objavené počas pozorovaní z obežnej dráhy a ich objavitelia získali Nobelovu cenu za fyziku v roku 2006. Tieto ťažko viditeľné kondenzácie boli v podstate „semienkami“ budúcich štruktúrnych jednotiek vo Vesmíre, ktoré sa postupne zhutňovali vlastnou gravitáciou a v určitom čase „sa oddelili“ od všeobecného kozmologického rozširovania sa. Nakoniec sa stali tými galaxiami a zhlukmi galaxií, ktoré my v súčasnosti pozorujeme. **Prítomnosť „predgalaktických nehomogenít“ v ranom Vesmíre však zanechala jasný odtlačok na mape reliktného žiarenia.**

Reliktné žiarenie

1.4 Budúcnosť vesmíru

Čo sa stane s Vesmírom v budúcnosti, závisí od priemernej hustoty hmoty v ňom. Ak je priemerná hustota Vesmíru príliš nízka, Vesmír sa vždy bude rozširovať, pretože gravitačné sily jeho hmoty nebudú stačiť na zastavenie tohto rozširovania. Takýto Vesmír nazývame „otvoreným“. Ak je priemerná hustota Vesmíru príliš vysoká, gravitačné sily zastavia rozširovanie a nahradia ho zmršťovaním. V tomto prípade hovoríme o „uzavretom“ Vesmíre.

Budúcnosť Vesmíru

S najväčšou pravdepodobnosťou sa však javí variant, v ktorom Vesmír nie je ani otvorený, ani uzavretý. V tomto prípade priemerná hustota jeho hmoty nie ani príliš vysoká, ani príliš nízka, a kozmologická expanzia sa časom zrýchľuje. Tento objav radikálne zmenil naše chápanie stavu Vesmíru. Predtým sa predpokladalo, že celé dejiny kozmického rozširovania sa sú dejinami jeho zániku po Veľkom tresku. Teraz máme dôkazy o tom, že dynamika rozširovania sa prešla z fázy spomaľovania do novej fázy zrýchlenia. Toto zrýchlenie je spôsobené skutočnosťou, že vo Vesmíre prevláda „temná“ energia. **Vytvára kozmickú „antigravitáciu“, ktorá v súčasnosti riadi dynamiku Vesmíru a urýchľuje jeho rozširovanie.**

Preskúmať minulosť a budúcnosť Vesmíru je jednou z najťažších úloh, ktorým čelí ľudská myseľ. Georges Edouard Lemaître, jeden z popredných kozmológov 20. storočia, hovorí o týchto ťažkostiach takto: „Vývoj Vesmíru sa dá prirovnať k ohňostroju, ktorý sa práve skončil – existuje len niekoľko dohorievajúcich zväzkov iskier, popola a dymu. My stojíme na vychladnutom uhlí, sledujeme ako pomaly zhasínajú hviezdy, a snažíme sa predstaviť si zaniknutú nádheru začiatku svetov.“

2. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽOV

Praktické cvičenia pre žiaka:

Cvičenia (zdroj originálu: btc.montana.edu/ceres/html/Universe/uni1.html) pomôžu žiakom hlbšie porozumieť kozmológii. V dôsledku vykonania cvičení žiaci ešte lepšie pochopia rozšírenie Vesmíru vytvorením jeho modelu a poskytovaním dôkazov na podporu teórie Veľkého tresku. Odporúčame vykonávať cvičenia vo dvojiciach. Pokyny pre žiakov sú uvedené po pokynoch pre učiteľov.

Pomôcky pre každú dvojicu žiakov

- vytlačené kópie inštrukcií pre žiakov
- 1 väčší balónik
- 4 kusy papiera s rozmermi 2 × 30 cm
- ohybné pravítko
- 1 zvýrazňovač
- zošit na zaznačovanie výsledkov – tzv. vedecký denník
- nožnice
- ceruzka alebo pero
- väčšie sponky na papier

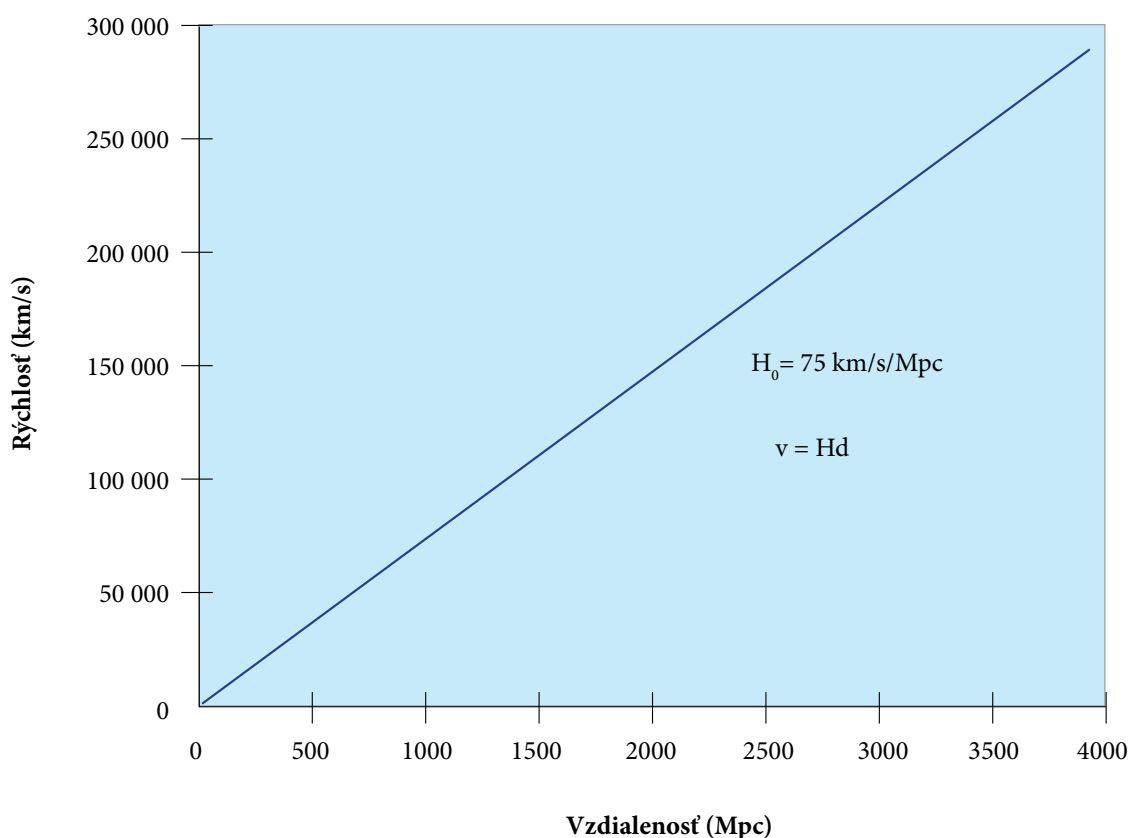
Úloha 1: Hubbleov zákon

Podľa Hubbleovho zákona rýchlosť, ktorou sa vzdialená galaxia od nás vzdaluje, je úmerná vzdialenosti medzi galaxiou a nami. Rýchlosť galaxie sa meria dopplerovským posunom čiar v svetelnom spektre galaxie. Vzdialenosť k nej je ťažšie zmerať, ale dá sa odhadnúť na základe jej zjavnej veľkosti alebo jasnosti niektorých objektov v nej.

Pokyny pre učiteľov

Pomocou grafu nižšie, ktorý ilustruje vzťah medzi rýchlosťou vzdalovania sa a vzdialenosťou galaxií žiaci majú preskúmať osi, čo samotné osi znamenajú a aké tipy o význame grafu môžu nájsť. Konkrétne, os x ukazuje vzdialenosť iných galaxií od našej galaxie. Volá sa Mliečna cesta. Súradnica ukazuje rýchlosť galaxií, ktoré sa od nás vzdalujú. Všimnite si skutočnosť, že existuje jasná proporcionalita medzi vzdialenosťou a rýchlosťou vzdalovania sa. Táto proporcionalita sa nazýva Hubbleov zákon. Vzťah medzi rýchlosťou a danou vzdialenosťou sa nazýva Hubbleova konštanta. Potom veličina, ktorá sa rovná jednej vydelenej Hubbleovou konštantou bude mať rozmer času a môže odhadnúť vek Vesmíru.

Hubbleova konštanta



Úloha 2: Rozširujúci sa vesmír

Pokyny pre učiteľov

Žiaci vytvoria model rozširujúceho sa Vesmíru. Potrebne materiály sú uvedené v Pokynoch pre žiakov. Rozdajte ich žiakom – najmenej 1 kópia pre každú dvojicu. Uistite sa, že každá dvojica má potrebné materiály k vypracovaniu cvičenia. Nechajte žiakom 20 minút, aby vyplnili praktickú časť a vyplnili tabuľku uvedenú v pokynoch. Po uplynutí tohto času nechajte ďalších 10 minút na diskusiu o výsledkoch.

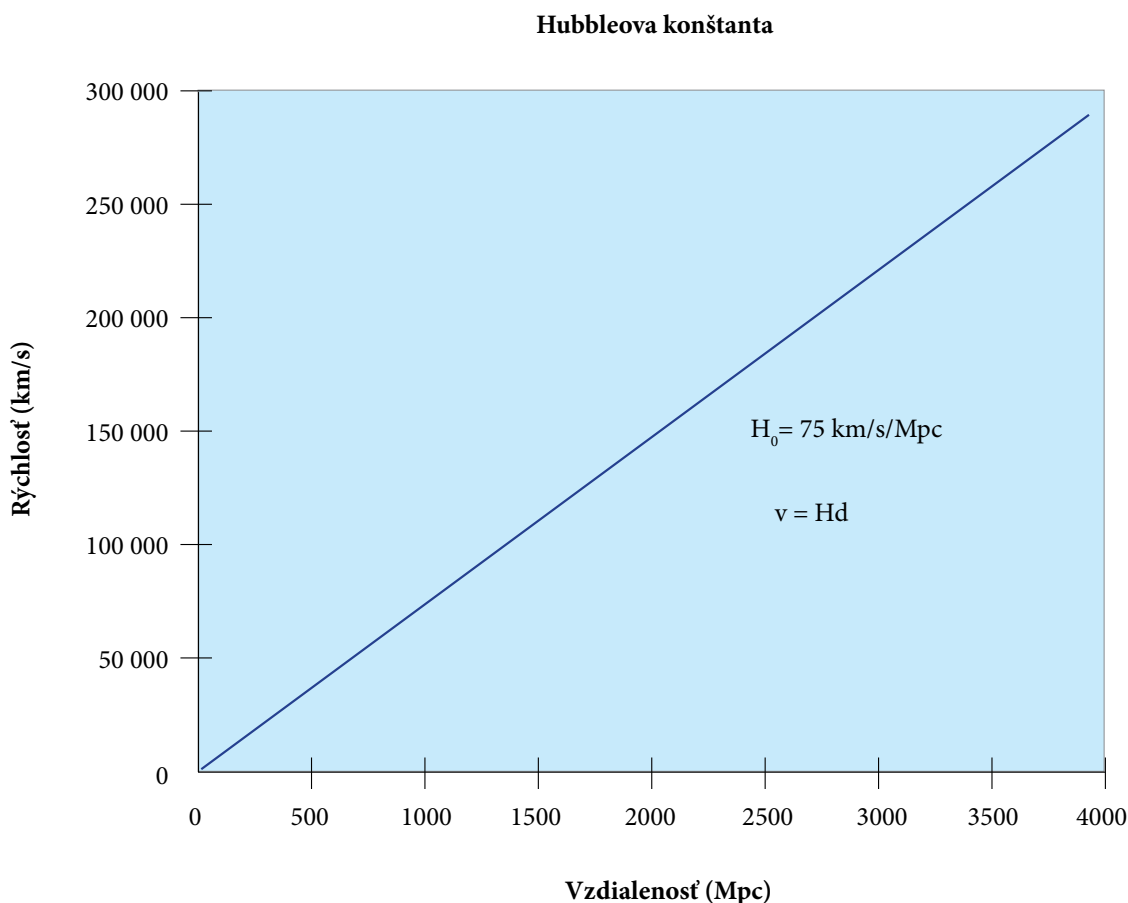
3. PRACOVNÉ LISTY PRE ŽIAKOV

Pomôcky pre každú dvojicu žiakov

- 1 väčší balónik
- 4 papierové pásy alebo hrubá niť s dĺžkou najmenej 30 cm (papier má mať šírku približne 2 cm)
- ohybné pravítka
- 1 zvýrazňovač
- zošit na zaznačovanie výsledkov – tzv. vedecký denník
- nožnice
- ceruzka alebo pero
- 4 – 5 gumičiek alebo niť na zaviazanie balónika
- väčšie sponky na papier

Úloha 1: Hubbleov zákon

Nasledujúci graf používajú astronómovia, ktorí študujú Vesmír a zaoberajú sa kozmológiou. Viete zistiť, čo tento graf ilustruje? Použite usmerňujúce otázky z tabuľky pod grafom a vyplňte odpovede do prázdnych políčok v druhom stĺpci.



USMERŇUJÚCE OTÁZKY	ODPOVEDE
<p>Aké hodnoty sú zobrazené na súradnici x? Aké sú merné jednotky? Ako (akým spôsobom) môžu vedci zmerať tieto hodnoty?</p>	
<p>Aké hodnoty sú zobrazené na súradnici y? Ako (akým spôsobom) môžu vedci zmerať tieto hodnoty?</p>	
<p>Podľa vás, ktorá z týchto dvoch hodnôt je ťažšie merateľná?</p>	
<p>Aká je hodnota sklonu vyobrazenom na grafe?</p>	
<p>Čo si myslíte, čo predstavuje sklon vyobrazený na grafe?</p>	
<p>A aká by bola hodnota veličiny, ktorá je nepriamo úmerná sklonu na grafe? Môžeme použiť túto novú veličinu na získanie lepšej predstavy o Vesmíre? Ak áno – prečo, ak nie – prečo?</p>	

Úloha 2: Model rozširujúceho sa vesmíru

Cieľom tejto úlohy je ilustrovať myšlienku rozširujúceho sa Vesmíru:

1. K tomu je potrebné pri sebe mať: balónik, ohybné pravítko, zvýrazňovač, kus papiera na merania a kópiu týchto inštrukcií.
2. Pomocou zvýrazňovača na povrch balónika nakreslite cca 11 – 15 bodiek, a to ešte pred jeho nafúknutím a potom zľahka nafúknite balón a očísľujte 11 z nich.
3. Nafúknite balónik, až kým nedosiahne veľkosť päste. Nenaľufujte balónik príliš veľmi!
4. Zviažte balónik pomocou gumičky, resp. nite.
5. Podrobne a celými vetami popíšte, čo sa stalo s bodmi (a ich relatívnou polohou).
6. Pomocou pravítka zmerajte vzdialenosti medzi bodom 1 (to je váš „počiatočný bod“) a bodmi, ktoré sú k nemu najbližšie, a zaznamenajte ich do príslušného stĺpca v tabuľke nižšie (Čiastočne nafúknutý balónik, meranie pomocou pravítka). Počas merania nesmiete ohýbať povrch balónika!
7. Pomocou papiera, resp. nite zmerajte vzdialenosti medzi bodom číslo 1 a ostatnými číslovanými bodmi. Aké sú rozdiely oproti predchádzajúcej metóde merania? Zaznamenajte ich do príslušného stĺpca v tabuľke nižšie (Čiastočne nafúknutý balónik, meranie pomocou papiera, resp. nite).
8. Pomalým nafúknutím dvakrát zväčšite veľkosť balónika. Nepreháňajte to s nafukovaním!
9. Zopakujte vyššie uvedené dve metódy na meranie vzdialenosti na nafúknutom balóniku a zaznamenajte ich do tabuľky v stĺpcoch „Nafúknutý balónik“ .
10. **Odpovedzte na nasledujúce otázky:**
 - a) Ak body na balóniku predstavujú galaxie, zväčšujú sa pri nafúknutí balónika? Prečo si myslíte, že je to tak, alebo nie je to tak?
 - b) Aký je vzťah medzi rýchlosťou galaxií vzdalujúcich sa od seba a pôvodnou vzdialenosťou medzi nimi? Ako sa volá tento zákon?
 - c) Ktorá z vyššie uvedených dvoch metód merania vzdialenosti bola presnejšia? Prečo?
 - d) Čo je ťažšie vymerať pre astronóma – červený posun galaxie (odrážajúci rýchlosť, ktorou sa galaxia vzdaluje), alebo vzdialenosť Zeme od galaxie? Prečo? Vysvetlite svoju odpoveď.

ČIASTOČNE NAFÚKNUTÝ BALÓNIK				NAFÚKNUTÝ BALÓNIK				
BOD	Počiatková vzdialenosť od bodu 1 vymeraná pomocou pravítka.	Počiatková vzdialenosť od bodu 1 vymeraná pomocou papiera, resp. nite.	Rozdiel medzi oboma meraniami.	BOD	Počiatková vzdialenosť od bodu 1 vymeraná pomocou pravítka.	Počiatková vzdialenosť od bodu 1 vymeraná pomocou papiera, resp. nite.	Rozdiel medzi oboma meraniami.	Rozdiel medzi čiastočne nafúknutým balónikom a úplne nafúknutým balónikom.
2				2				
3				3				
4				4				
5				5				
6				6				
7				7				
8				8				
9				9				
10				10				
11				11				

ASTRONOMICKÉ OBSERVATÓRIÁ

1. ÚVOD

Astronomické observatórium sa nazýva akákoľvek infraštruktúra, ktorá disponuje ďalekohľadmi a podporným súborom nástrojov na pozorovanie a monitorovanie nebeských telies. Môžu byť rozdelené do rôznych kategórií v závislosti od toho, ktorá časť elektromagnetického spektra je hlavným cieľom výskumov, ktoré sa uskutočňujú v laboratóriách. Najviac je **optických observatórií**, t. j. sú to observatória, ktoré skúmajú prevažne svetlo nebeských telies viditeľné pre ľudské oko. Iné pozemské observatóriá sú určené na štúdium vesmírnych rádiových vln. Existujú tiež **vesmírne observatóriá**, z ktorých väčšina má špeciálne teleskopy a detektory na štúdium zdrojov kozmického žiarenia, ktoré sa nedostanú na zemský povrch, ako sú napríklad vysoko energetické gama a röntgenové lúče, a nízkoenergetické infračervené lúče. Existujú aj **podzemné/podvodné observatóriá**, ktoré sa snažia objaviť ešte exotickejšie častice a žiarenie. Táto téma popisuje rôzne typy astronomických observatórií a pridali sme obrázky rôznych observatórií. Ponúkame tiež praktické cvičenia pre žiakov rôzneho veku.

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

observatórium –

pozemské

kozmičné

stratosférické

podzemné/podvodné

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

Astronomické observatóriá sa vo všeobecnosti delia do štyroch kategórií v závislosti od toho, kde sa nachádzajú: pozemské, kozmické, stratosférické (lietajúce balóny a lietadlá) a podzemné/podvodné.

2.1 Pozemské observatóriá

Klasické pozemské astronomické observatóriá sú stacionárne vedecké zariadenia s pokročilou infraštruktúrou, ktoré sú vybavené vedeckými nástrojmi na systematické pozorovanie rôznych objektov (nebeských telies) a javov vo Vesmíre. Majú jeden alebo viac ďalekohľadov rôznych veľkostí – sú to buď optické, alebo aj pracujúce v iných oblastiach elektromagnetického spektra (hlavne v rádiovom pásme, ale aj v blízkej infračervenej alebo milimetrovej oblasti).

Väčšina moderných optických pozemských observatórií je vybudovaná ďaleko od veľkých miest, aby sa predišlo tzv. svetelnému znečisteniu. **Ideálne miesta pre moderné observatóriá sú vysoké pohoria s tmavou oblohou, suchým vzduchom, vysokým percentom jasných nocí a uvoľnenou atmosférou s minimálnymi turbulenciami, čo vedie k lepším astronomickým vyobrazeniam.** Najlepšie miesta na Zemi sú pohoria na Havai a Kanárskych ostrovoch, vyvýšeniny v púšte Atacama v Čile, Arizona v USA a ďalšie. Boli tam vybudované najsilnejšie optické pozemské observatóriá na svete. Pod medzivládnu organizáciu venujúcu sa vede a technológiám v oblasti astronómie, Európske južné observatórium (European Southern Observatory – ESO), alebo tiež Európsku organizáciu pre astronomický výskum na južnej pologuli, spadá Paranal observatórium v púšti Atacama v Čile (Paranal Observatory). Ďalej je to Observatórium Roque de los Muchachos na Kanárskych ostrovoch (Roque de los Muchachos Observatory) a Observatóriá Mauna Kea na Havaii (Mauna Kea Observatories). Na pohorí Cerro Armazones (najvyšší bod 3046 m n.m.) v púšti Atacama sa buduje najnovšie observatórium ESO s budúcim najväčším pozemským ďalekohľadom určený na pozorovania v optickom a infračervenom diapazóne spektra, ktorého priemer zrkadla bude 39,3 m – Mimoriadne veľký ďalekohľad (Extremely Large Telescope – ELT).

Optické
pozemské
observatóriá

Najväčšie observatóriá na Slovensku, Českej republike a v Bulharsku sú:

- Skalnaté Pleso (Slovensko, Observatórium Skalnaté Pleso: <https://www.astro.sk/l3.php?p3=spo>),
- Ondřejov (Česká republika, Observatórium Ondřejov: <http://www.asu.cas.cz/en/about/about-the-institution>),
- Národné observatórium Rozhen (Bulharsko, Národné astronomické observatórium Rozhen – číta sa «Rožen»): http://nao-rozhen.org/index_en.html).

10. Hvezdárne

Na štúdium žiarenia nebeských telies boli vybudované observatóriá v rádiovom pásme, v ktorých hlavným prístrojom je rádioteleskop. **Rádioteleskop, podľa svojho spektrálneho rozsahu, patrí medzi astronomické prístroje na štúdium elektromagnetického žiarenia.** Ďalekohľady na štúdium tepelného/infráčerveného, viditeľného, ultrafialového, röntgenového a gama žiarenia sú s vyššou frekvenciou.

Rádiové ďalekohľady Rozmery, konfigurácia a konštrukcia rádiových ďalekohľadov sú mimoriadne rozmanité. Je to spôsobené tým, že frekvenčný rozsah rádiového úseku elektromagnetického spektra je veľmi široký. Rádiové ďalekohľady pre frekvencie 10 – 100 MHz (30 – 3 m vlnovej dĺžky) predstavujú nasmerované antény podobné televíznym anténam alebo veľké stacionárne reflektory z kovového pletiva s mobilným fokusom. Pre vyššie frekvencie sa vyrábajú parabolické „tanieré“. Aby bolo dosiahnuté dobré rozlíšenie, veľkosť rádiových ďalekohľadov musí byť veľmi veľká. Napríklad pre frekvencie od 100 MHz do 1 GHz (3 m – 30 cm vlnovej dĺžky) majú taniere priemer približne 100 m. Často sa pre ešte vyššie rozlíšenie používajú tzv. rádiointerferometre pozostávajúce z množstva špeciálne zosieťovaných individuálnych ďalekohľadov, ktoré kombinujú signály z mnohých antén do jedného tak, aby simulovali veľkú anténu s oveľa lepším rozlíšením.

Rádiové observatóriá sa spravidla nachádzajú ďaleko od ľudských obydli, aby sa minimalizoval vplyv elektromagnetického rušenia z rádiových a televíznych vysieláčov, radarov a ďalších vysielacích zdrojov. Na rozdiel od optických observatórií sú rádiové observatóriá umiestnené v dolinách alebo nížinách, kde sú najlepšie chránené pred tzv. technogénnym hlukom.

Najväčšími rádiovými teleskopmi s jednou anténou sú tieto dva:

1. Päťsto metrový ďalekohľad so sférickou apertúrou, teda otvorom, ktorý sa nachádza v Číne – FAST alebo Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope.
2. Tristopäť metrový rádiový ďalekohľad umiestnený v kráteri vyhasnutej sopky Arecibo v Portoriku – Arecibo Observatory.

Najväčšími ďalekohľadmi s nasmerovanými taniermi sú:

1. Sto metrový ďalekohľad Green Bank Telescope v Západnej Virgínii v USA.
2. Sto metrový rádioteleskop v Effelsbergu neďaleko Bonnu v Nemecku.

Najznámejším rádiový frekvenčným interferometrom je Very Large Array (VLA, Sokoro, Nové Mexiko, USA), ktorý kombinuje signál 27 samostatných parabolických rádiových teleskopov súčasne. Koláž vyobrazení pozemských observatórií je uvedená v Prílohe 1.

2.2 Vesmírne observatória

Vesmírne observatória sú ďalekohľady a ich sprievodné zariadenia umiestnené v kozmickom priestore a obiehajúce okolo Zeme. Hlavnou výhodou vesmírnych teleskopov je ich umiestnenie nad zemskou atmosférou, ktoré ich chráni pred účinkami atmosférických turbulencií. Výsledkom je, že rozlíšenie týchto ďalekohľadov je omnoho lepšie ako rozlíšenie pozemských. Najslávnejším vesmírnym teleskopom, ktorý funguje už od roku 1990, je **Hubbleov vesmírny teleskop** (Hubble Space Telescope – HST).

Ďalšou dôležitou výhodou vesmírnych teleskopov je **schopnosť pozorovať javy v oblastiach elektromagnetického spektra, ktoré sú neprístupné z povrchu Zeme**. Atmosféra Zeme nie je priehľadná pre ultrafialové, röntgenové a gama žiarenie, ani pre niektoré infračervené lúče. Tieto rozsahy sú dostupné na pozorovanie len z obežnej dráhy nad zemskou atmosférou. Najproduktívnejšie röntgenové observatória sú Chandra agentúry NASA a XMM Newton Európskej vesmírnej agentúry (ESA).

Doposiaľ najväčším vesmírnym ďalekohľadom je infračervený ďalekohľad Herschel Európskej vesmírnej agentúry. Cena, ktorú platíme za výhody vesmírnych observatórií, je ich vysoká cena a nemožnosť ich priebežnej údržby. Jedinou výnimkou je ďalekohľad HST, kde sa v priebehu rokov uskutočnili 4 servisné misie. Koláž obrázkov vesmírnych observatórií je uvedená v Prílohe 2.

2.3 Stratosférické observatória

Stratosférické observatória majú výhody podobné vesmírnym observatóriám v porovnaní s pozemskými observatóriami, pretože prevažne fungujú na väčšej časti zemskej atmosféry. Pretože sú umiestnené v lietadlách alebo balónoch, ich nástroje sa môžu opravovať a aktualizovať častejšie a za oveľa nižšie náklady než vesmírne teleskopy. **Najznámejším stratosférickým observatóriom je SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy), ktoré je namontované na lietadle Boeing 747 a je prevádzkované v nadmorskej výške 12 km.** Obrázky stratosférických observatórií sú uvedené v Prílohe 3.

2.4 Podzemné/podmorské observatória

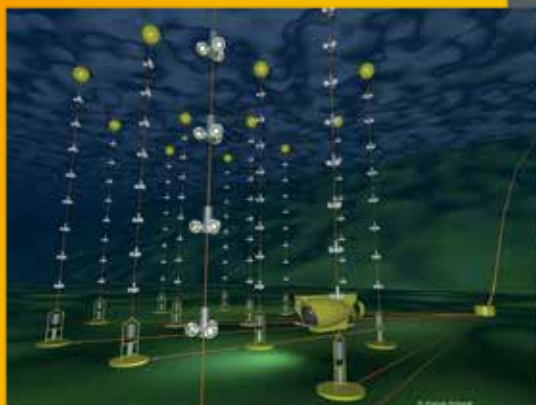
Sú to **neutrínové observatória, ktoré študujú neelektromagnetické okno do Vesmíru, teda neutrínové žiarenie z Kozmu.** Najväčšie je observatórium **IceCube Neutrino**, ktoré bolo vybudované na stanici Amundsen-Scott v Antarktíde, ktorá sa nachádza na Južnom póle (Amundsen-Scott South Pole Station, Antarctica). Jeho tisíce detektorov sú rozmiestnené v objeme jedného kubického kilometra pod hustým polárnym ľadom. A najväčšie podvodné neutrínové observatórium je **ANTARES (Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environmental RESearch)** so stovkami senzorov umiestnených v hĺbke asi 2,5 km v Stredomorí.

Obrázky podzemných/podvodných observatórií sú uvedené v Prílohe 3.

PRÍLOHY

Podzemné, podvodné a stratosférické observatória

1. **ANTARES** – podvodné observatórium na registráciu neutrín (nižšie). Nachádza sa v hĺbke 2,5 km v Stredomorí. zdroj: Jmarino na de.wikipedia



3. **IceCube** – pozostáva z tisícov detektorov, ktoré sú distribuované v objeme jedného kubického kilometra pod hustým polárnym ľadom. Zdroj: IceCube Spolupráca/NSF



2. **Kamioka observatórium** – podzemné laboratórium pre neutrínové a gravitačné vlny, ktoré sa nachádza pod zemou v bani Mozumi v Japonsku. Obrázok: Inn (z Wikipédie)



Credit: NASA/Jim Ross

Credit: NASA/Tony Landis



Credit: NASA

4. **SOFIA** – Infračervené stratosférické observatórium Astronómia namontované na lietadle Boeing 747 a funkčné v nadmorskej výške 12 km/n.m. Pod ním sú zobrazené ďalekohľady (jeho chrbát) a jeden z nástrojov, ktoré sú na nich namontované.

Pozemské observatóriá

1. Mauna Kea – Havaj. Teleskopy Subaru sú viditeľné (vľavo), Keck (vľavo uprostred) a infračervený teleskop agentúry NASA (vpravo).
(Foto: <https://www.flickr.com/photos/35188692@N00>).



2. Paranal – Čile. Štyri ďalekohľady Very Large Telescope (vľavo), VLT zapnutý; Európske južné observatórium.
(foto: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Uživatel:Fmillour>)

3. Roque de los Muchachos – Kanárske ostrovy (foto dole)
Teleskopy sú viditeľné (zľava doprava): Carlsberg Meridian, William Herschel, Dutch Open, Mercator, švédsky Solar Telescope, Isaac Newton a Jacobus Kapteyn.
Foto: Bob Tubbs



4. Rádioteleskop Arecibo – (vľavo), Portoriko - má rádiovú anténu s priemerom 305 metrov. Foto: Arecibo Observatory/NSF

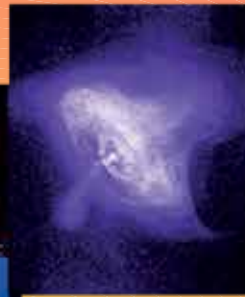
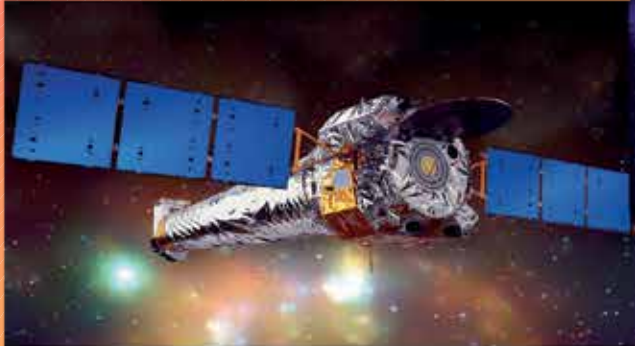


5. Rádio interferometer ALMA – (vľavo), Čile - má 66 samostatných rádiových antén a pozorovania v milimetroch a rozsah submilimetrov.
Foto: ALMA

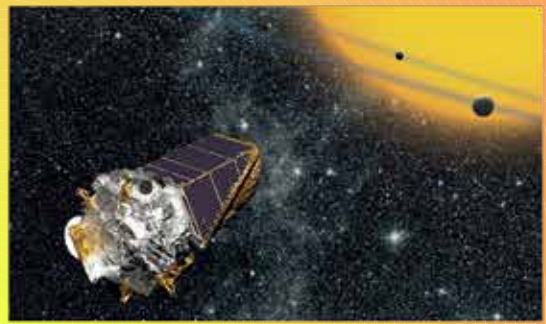


Kozmické teleskopy

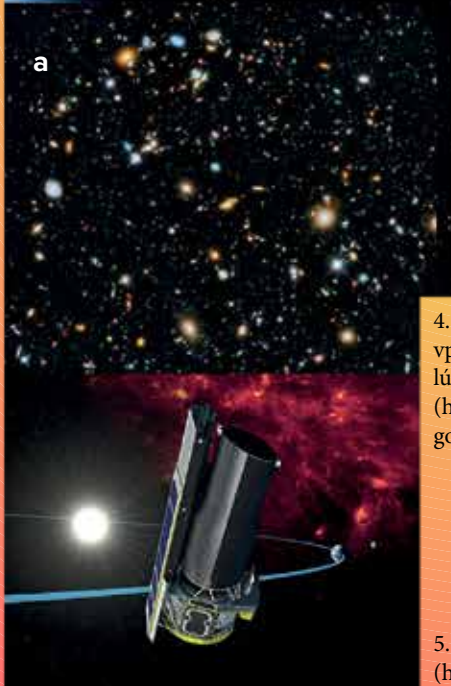
1. Chandra a jej röntgenové snímky zvyškov erupcií supernovy: kôrovce hmlovina – vľavo a Vela – vpravo (NASA/CXC/NGST (NASA/CXC/NGST))



2. Kepler, optický, ktorý hľadá planéty okolo iných hviezd (W Stenzel/NASA Ames)



3. Optický ďalekohľad Hubble (dole) a hĺbka, kde vidíte všetky galaxie, motýlia hmlovina b) a stĺpy zrodzenia hviezd c). (https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/main)



b



c



4. SWIFT, vpravo – registruje lúče gama. (https://swift.gsfc.nasa.gov/about_swift/)



5. Spitzer (vľavo) – infračervený ďalekohľad. (<http://www.spitzer.caltech.edu/>)

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY A TESTY PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Model vesmírneho observatória pre slnečné pozorovanie SOHO



Cvičenie je najvhodnejšie pre žiakov 6. až 8. triedy.

Cieľ úlohy

Oboznámiť žiakov a ručne zostaviť model vesmírneho observatória SOHO.

Informácie pre učiteľov a žiakov

Trochu informácií o vesmírnom observatóriu SOHO:

Názov SOHO je skratkou anglickej frázy „The SOLar and Heliospheric Observatory“, čo znamená „Slnečné a helioférické observatórium“. Je to medzinárodný projekt realizovaný spoločne Európskou vesmírnou agentúrou ESA a Americkou vesmírnou agentúrou NASA. **Hlavným poslaním SOHO je umožniť vedcom vyriešiť niektoré z najviac mäťúcich záhad o Slnku, vrátane vnútornej štruktúry Slnka, mechanizmov zahrievania jeho veľkých vonkajších vrstiev atmosféry a pôvodu slnečného vetra.** SOHO bolo vystrelené 2. decembra 1995. Je jednou z najambicióznejších vesmírnych misií ľudstva všetkých čias. Súbor 12 sofistikovaných nástrojov na palube SOHO bol vyvinutý európskymi a americkými vedcami. **Práca nástrojov a observatória, ako aj analýza ich údajov, si vyžadujú veľké inžinierske a vedecké tímy, do ktorých sú zapojené stovky vedcov z celého sveta.** Veľké rádiové antény umiestnené po celom svete, ktoré sú súčasťou siete Deep Space NASA, sledujú cestu vesmírneho observatória za orbitou Zeme. Centrum kontroly misií sa nachádza na území vesmírneho mestečka Goddard v Spojených štátoch amerických. Schopnosť SOHO pozorovať Slnko bez prerušenia je daná jeho polohou, ktorá je vo vzdialenosti 1,6 milióna kilometrov od Zeme k Slnku, kde gravitačné sily Slnka a Zeme držia observatórium na konštantnej, stabilnej obežnej dráhe. Neustále pozorovanie Slnka po viac ako dve desaťročia spoločnosťou SOHO nám tiež pomohlo lepšie porozumieť interakcii medzi Slnkom a životným prostredím na Zemi.

Viac informácií o observatóriu SOHO, ako aj zaujímavé a krásne snímky Slnka, urobené pomocou jeho nástrojov, nájdete tu: <https://sohowww.nascom.nasa.gov/>.

Model:

Tento model (strany 1 až 3 vrátane modelu_SOHO.pdf) je možné vytlačiť farebne alebo čiernobielo. Veľkosť hárku by mala byť 22 × 28 cm (formát US Letter) a papier by mal byť hrubší ako obyčajný, aby bol model stabilnejší. Zloženie trvá asi 25 minút. Prílohy obsahujú aj obrázky observatória (na získanie predstavy o tom, ako vlastne vyzerá SOHO), obrázok zostaveného modelu a dve vyobrazenia Slnka.

10. Hvezdárne**Pomôcky**

- Lepidlo,
- nožnice,
- špáradlo na zuby a
- kus hliny alebo tvrdšej plastelíny pre základňu, na ktorú sa má model umiestniť.

Pokyny pre zloženie

Body ohybu sú označené červenými čiarami. Prvky majú byť starostlivo orezané pozdĺž obrysov, ktoré sú miestami označené prerušovanými čiarami a miestami plnými čiarami – sú to časti obrysov prvkov.

Veľký prvok na strane 1 má byť vyrezaný, ohnutý, ako je to znázornené, a zalepený. Toto sú solárne panely. Teleso SOHO (veľký čierny prvok na strane 2) je nastrihané a prilepené tak, aby tvorilo škatuľu, ktorá sa má prilepiť k určenému miestu prvku s modrými solárnymi panelmi (biela oblasť označená ako „strana A“).

Časti označené latinskými písmenami A, B, C, D, E, F a G majú byť opatrne orezané pozdĺž obrysov. Všetky prvky (bez prvku A, ktorý musí byť cylindrický, keď je pripravený), musia po ich zložení a zlepení tvoriť obdĺžnikové škatule. Keď sú hotové, prilepia sa primerane k miestam označeným rovnakým písmenom na tele zariadenia k veľkému čiernemu prvku na strane 2. Mali by ste ich orientovať správnou stranou nahor, napríklad pozrite, ako je orientovaný prvok A na obrázku so zostaveným modelom na strane 3.

Kružnica na strane 3 má byť vyrezaná v celku, potom treba urobiť rez pozdĺž bodkovaných čiar smerom do stredu a zlepiť tak, aby sa vytvoril kužeľ. Špáradlo na zuby sa potom vloží do stredu kužeľa (to je komunikačná anténa) a do kruhu označeného písmenom „X“ prvku solárneho panela.

Úloha 2: Zostavte si maketu vesmírneho observatória sami

Cvičenie je najvhodnejšie pre žiakov 4. až 6. triedy. Originál (v anglickom jazyku) je prevzatý z NASA Space Place a nájdete ho tu: <https://spaceplace.nasa.gov/build-a-spacecraft/en/>.

Cieľ úlohy

Oboznámiť žiakov s vesmírnymi observátormi a zostaviť model kozmického observatória/ďalekohľadu pomocou materiálov opísaných nižšie. Je na žiakoch, aby rozhodli, ako bude maketa vyzerať, ale musí obsahovať prvky uvedené v pokynoch.



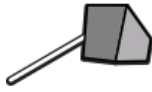


Pomôcky sú zobrazené na obrázku

- malá škatuľa (napríklad od džúsu)
- pevný papier
- špáradlá na zuby
- skrutky, svorníky, matice

10. Hvezdárne

1. Máte 5 minút na to, aby ste sa rozhodli, aký bude účel observatória a zostavili plán jeho montáže. Avšak, aby observatórium fungovalo, musí mať niekoľko základných prvkov:



	<p>Základný prvok: Vaše observatórium musí mať základný prvok, ku ktorému sú pripojené ďalšie prvky a ktoré chráni nástroje.</p>
	<p>Zdroj energie: Aby ste mohli pracovať s prístrojmi na palube, budete potrebovať niečo na napájanie observatória (elektrinu). Máte dve možnosti – buď solárne panely (ako na obrázku), alebo špeciálne batérie.</p>
	<p>Vedecké prístroje: Sú dôvodom na spustenie vesmírneho observatória. Prístroje môžu byť navrhnuté tak, aby snímali objekty zo Slnčnej sústavy alebo z vonkajšieho priestoru, študovali chemické prvky alebo monitorovali slnečnú aktivitu. Vy rozhodujete.</p>
	<p>Komunikačné zariadenie: Budete musieť nájsť spôsob, ako komunikovať so Zemou. Antény (ktoré môžu mať tvar taniera alebo tyče) sú dobrým spôsobom pripojenia.</p>
	<p>Orientačné zariadenie: Musíte mať prístroj, ktorý poskytuje informácie observatóriu o tom, kam smeruje a ako je orientované vo Vesmíre. Takým zariadením môže byť malý ďalekohľad na sledovanie hviezd alebo Slnka.</p>

2. Máte 15 minút na zostavenie observatória. Pamätajte, že by ste mali použiť aspoň 5 z uvedených materiálov.
3. Predstavte svoj projekt do 5 minút – aký je účel observatória a aké sú jeho prvky (ukazujte na prvky makety, keď hovoríte).

Príklad zostaveného modelu je znázornený na obrázku:



Úloha 3: Pozemské observatória

Cvičenie je najvhodnejšie pre starších žiakov.

Cieľ úlohy

Samotní žiaci vyhľadávajú a organizujú informácie o pozemských observatóriách, ktoré si vybrali (alebo ktoré im dal učiteľ), ďalej informácie o ich prístrojoch a o výskume, ktorý nimi robia.

Pomôcky

- tablet/smartfón/počítač;
- prístup k internetu a mapám Google (<https://www.google.com/maps/>).

Zoznam observatórií

(Úplný zoznam astronomických observatórií nájdete tu: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_astronomical_observatories):

1. IceCube Neutrino Observatory – <https://icecube.wisc.edu/>
2. Arecibo Observatory – <http://www.naic.edu/ao/landing>
3. ALMA – <https://www.almaobservatory.org/en/home/>
4. Paranal Observatory – <https://www.eso.org/sci/facilities/paranal.html>
5. Mauna Kea Observatories – <http://www.ifa.hawaii.edu/mko/>
6. Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory – <http://www.ligo.org/>
7. Roque de los Muchachos Observatory – <http://www.iac.es/eno.php?op1=2&lang=en>
8. South African Astronomical Observatory – <http://www.saa.ac.za/>
9. Big Bear Solar Observatory – <http://www.bbso.njit.edu/>
10. Národné observatórium Rozhen v Bulharsku – <http://www.nao-rozhen.org/>
11. Lowell Observatory – <http://www.lowell.edu/>
12. The Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences (SAO RAS) – <http://www.sao.ru/>
13. Australian Astronomical Observatory – <https://www.aao.gov.au/>
14. Giant Metrewave Radio Telescope – <http://www.gmrt.ncra.tifr.res.in/>

Metodické pokyny pre učiteľov

Cvičenie robia skupiny 3 až 6 žiakov, prípadne každý žiak si ho môže spraviť ako domácu úlohu s pomocou rodičov. Po vytvorení skupín si každá skupina vyberie (dostane) pozemské observatórium. Môžete použiť vyššie uvedený zoznam alebo určený článok z Wikipédie. Žiaci potom dostanú tieto úlohy: je potrebné nájsť observatórium pomocou Google Maps a opísať jeho miesto prostredníctvom niekoľkých viet – kde sa nachádza, v akej výške, aké ďalšie zaujímavé informácie o ňom možno nájsť. Druhou úlohou je nájsť a systematizovať informácie o prístrojoch/ďalekohľadoch v tomto observatóriu a na čo sa používajú: v ktorej oblasti elektromagnetického spektra sa robí výskum. Tretou úlohou je nájsť a vysvetliť 3 – 4 vetami 2 – 3 zaujímavé výsledky, ktoré sa tam získajú. Skupina nakoniec zhromaždí informácie (v priebehu 20 minút) a triede spraví 10 minútovú prezentáciu. Časy, ktoré sú tu uvedené, sú približné, podľa uváženia ich môžete znížiť alebo zvýšiť. Po ukončení prezentácií môžete začať diskusiu o tom, čo sa žiaci naučili: ktoré observatórium považovali za najzaujímavejšie a prečo? Ktoré observatórium by chceli navštíviť, prečo? Ktoré observatórium by nechcel navštíviť, prečo? Môžu diskutovať o tom, či niekto bol v Národnom observatóriu v Rozhene v Bulharsku. Čo videli? Čo na nich urobilo najväčší dojem?

Pokyny pre žiakov

Vaša trieda má možnosť navštíviť observatórium z nižšie uvedeného zoznamu. Ale aby sa to stalo, musíte získať čo najviac informácií o týchto observatóriách. Za týmto účelom bude trieda rozdelená do skupín z 3 alebo 6 žiakov, každá skupina musí zhromaždiť (z internetu) a predložiť do 15 minút pred zvyškom triedy informácie o jednom z observatórií.

1. Po vytvorení vašej skupiny vyberiete, resp. dostanete od učiteľa jedno z daných observatórií.
2. Rozdelte si medzi sebou nasledujúce úlohy (jeden alebo dvaja žiaci na úlohu, v závislosti od počtu účastníkov v skupine).

Úlohy sú:

- a) Zhromaždiť informácie o polohe observatória: kde sa nachádza – mesto, krajina atď., v akej nadmorskej výške, v blízkosti ktorých zaujímavých miest (prírodné pamiatky, mestá atď.); je potrebné určiť polohu observatória na mapách Google, napísať súradnice a zobrazíť mapu a/alebo satelitný obrázok observatória.
 - b) Zhromaždiť informácie o prístrojoch/ďalekohľadoch dostupných v tomto observatóriu a aký je ich hlavný cieľ – ktorej oblasti elektromagnetického spektra sa venuje výskum, ako sa vykonáva, atď.; ak je v observatóriu veľa rôznych ďalekohľadov, vyberte aspoň dva.
 - c) Zhromaždiť stručné informácie o dvoch alebo troch zaujímavých výsledkoch získaných pomocou prístrojov tohto observatória (celkom 5 až 6 viet – čo bolo pozorované, ktorým ďalekohľadom, aký bol výsledok).
3. Máte 20 minút na zhromaždenie potrebných informácií.
 4. Máte celkom 15 minút (spolu alebo samostatne) na prezentáciu všetkých zhromažených informácií zvyšku triedy.

ASTRONOMICKÉ ĎALEKOHĽADY

1. ÚVOD

Od úsvitu vekov ľudia pozorujú vesmír, najprv voľným okom (ale aj z týchto pozorovaní bolo možné odvodiť Keplerove zákony), neskôr pomocou neustále sa zdokonaľujúcich ďalekohľadov, ktoré boli v 20. storočí umiestnené aj na obežnú dráhu Zeme. Tento odbor označujeme ako optickú astronómiu.

Typy astronómie **Optická astronómia** teda študuje to, čo je viditeľné ľudským okom a v blízkych oblastiach spektra, teda v ultrafialovej oblasti (UV) a v oblasti infračervenej (IR). Nevýhodou je, že keď príde mrak, tak nie je nič vidieť. Čo sa týka infračerveného pásma, tam ani nemusí prísť mrak a pozorovanie bohato zničí aj vodná para v atmosfére. Preto sa IR observatóriá stavajú najmä na púšťach (napr. ESO – Európske južné observatórium na púšti Atacama v Chile).

Rádiová astronómia študuje vesmír v pásme rádiových vln. Napr. slnečné erupcie sa prejavujú na všetkých frekvenciách a naozaj silné erupcie môžu spôsobiť výpadok rádiových a televíznych prenosov.

Časticová astronómia zachytáva subatomárne častice, ktoré prilietajú z vesmíru. Napr. v hmlovej komore sa čas od času objaví stopa bez toho, aby sme do komory umiestnili nejaký zdroj žiarenia. Hovoríme o tzv. kozmickom žiarení.

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

optika

ďalekohľad

spojka

rozptylka

Keplerov ďalekohľad

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

Historicky najstarším typom ďalekohľadu je ďalekohľad Galileov, čiže holandský, ktorý je zložený zo spojky, ktorá tvorí objektív a rozptylky, ktorá tvorí okulár. Tento ďalekohľad si v roku 1608 nechal patentovať holandský optik Hans Lippershey (niekedy uvádzaný ako Lipperhey). Pomocou tohto ďalekohľadu Galileo urobil niekoľko dôležitých objavov. Objavil štyri najväčšie mesiace Jupitera (ktoré dnes označujeme ako galileovské), fázy Venuše aj slnečné škvrny. **Tento ďalekohľad má ale pomerne malé zorné pole, preto ho dnes nájdeme väčšinou iba v divadelných kukátkach.**

Galileov
ďalekohľad

Dokonalejším ďalekohľadom je ďalekohľad Keplerov, čiže hvezdársky (cca 1611). Ten je tvorený spojkou s väčšou ohniskovou vzdialenosťou, ktorá tvorí objektív a ako okulár je použitá spojka s menšou ohniskovou vzdialenosťou, ktorá je umiestnená tak, aby obrazové ohnisko objektívu splývalo s predmetovým ohniskom okulára. Nevýhodou tohto ďalekohľadu je, že je pomerne dlhý (jeho dĺžka je daná súčtom ohniskových vzdialeností objektívu a okulára) a prevracia obraz stranovo aj výškovo. To nie je problém pre astronomické pozorovania, ale pre pozorovania pozemské (terestriálne) sa ďalekohľad Keplerovho typu upravuje pomocou dvojice navzájom kolmých hranolov, z ktorých jeden prevracia výškovo a druhý stranovo. Zároveň sa vďaka tomu, že lúče časť cesty putujú v opačnom smere, skracuje dĺžka ďalekohľadu. Ak takéto ďalekohľady umiestnime vedľa seba dva, na pozorovanie oboma očami, označuje sa výsledok ako trieder.

Keplerov
ďalekohľad

Spoločnou nevýhodou šošovkových ďalekohľadov je disperzia – rozklad svetla objektívom. Index lomu závisí od vlnovej dĺžky, a preto sa biele svetlo rozkladá na spektrum podobne, ako vzniká dúha na vodných kvapkách. Tento nežiaduci jav sa prejavuje pri jasných objektoch modrým okrajom (pozri Obr. 1), pretože najviac sa láme práve modrá farba. Tento problém je možné čiastočne riešiť napr. konštrukciou **achromatického objektívu**, kde je použitá spojka, na ktorú tesne nadväzuje rozptylka s podstatne väčším indexom lomu.



Obrázok 1: Farebná chyba pri pozorovaní Mesiaca

10. Hvezdárne

Newtonov ďalekohľad Disperzii na objektíve sa dá vyhnúť aj tým, že sa ako objektív použije zrkadlo. **Ďalekohľad Newtonovho typu, ktorý ako objektív využíva parabolické zrkadlo, je v súčasnej dobe najpoužívanejším ďalekohľadom pre astronomické pozorovania, či už profesionálne alebo amatérske.** Objektív reflektoru je teda tvorený primárnym dutým parabolickým, guľovým alebo hyperbolickým zrkadlom. Obraz predmetu sa potom odráža sekundárnym zrkadlom, a nakoniec sa pozoruje okulárom. Duté zrkadlo spája rovnobežné lúče pozorovaného predmetu a sústreďuje ich do jedného bodu, čím vytvára skutočný obraz. Tento obraz je ale v smere dopadajúcich lúčov. Pozorovateľ by priamym pozorovaním obrazu tienil dopadajúce svetlo, preto sa do cesty spájajúcich sa lúčov umiestňuje ploché zrkadlo, ktoré vedie lúče priamo do okuláru a umožňuje pozorovanie.

Výhodou reflektorov je neprítomnosť farebných chýb. Zrkadlový ďalekohľad totiž nemá chromatickú aberáciu, čo je zapríčinené tým, že odraz nerozkladá biele svetlo na jednotlivé farebné lúče. Druhou prednosťou reflektorov je ľahšia výroba skla na zhotovenie zrkadla ako skla na zhotovenie šošovky. To je dané tým, že sklo používané na výrobu zrkadla nemusí byť rovnomerné, lebo ním svetlo neprechádza. Je len podkladom, na ktorý sa nanáša vrstva odrážajúceho kovu. Ďalšou výhodou je usporiadanie tubusu, ktorý je oproti refraktorom menšie, pretože sa v ňom svetlo odráža a ťažké zrkadlo je umiestnené na strane pozorovateľa, zatiaľ čo objektív refraktora je na vonkajšom konci tubusu.

Veľké profesionálne ďalekohľady s niekoľkometrovým priemerom navyše používajú **adaptívnu optiku** – primárne zrkadlo je tvorené zo segmentov, ktorých polohu možno pomocou počítača ovládať. Tak je možné kompenzovať **atmosférický seeing** – rozmazávanie obrazu vplyvom pohybu vzduchu v atmosfére (podobný jav môžeme pozorovať ako chvenie obrazu v rozpálenom vzduchu nad cestou v lete).

3. METODICKÉ POKYNY PRE UČITEĽA

Ak už majú žiaci za sebou tému lúčovej optiky, je možné po nevyhnutnom zopakovaní lomu lúčov spojkou a rozptylkou ako teoretické cvičenie vykonať Úlohu 1:

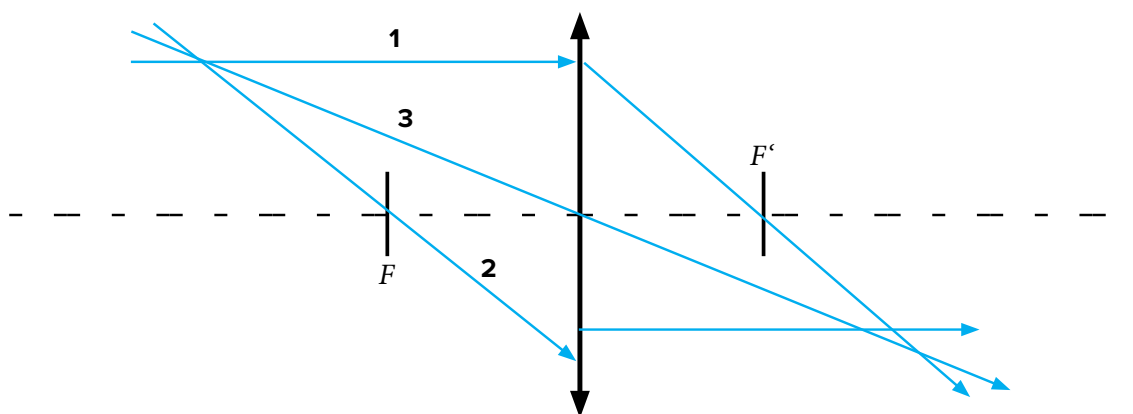
Úloha 1: Konštrukcia chodu lúčov

Ak žiaci vo ôsmej alebo deviatej triede (podľa konkrétneho ŠkVP na škole) preberali chod lúčov šošovkou a významné lúče, možno vykonať konštrukciu chodu lúčov Keplerovým ďalekohľadom, čo je veľmi vhodné aj v prípade, že bude nasledovať Úloha 2 (konštrukcia jednoduchého ďalekohľadu Keplerovho typu). **Aj tak je vhodné zopakovať základné prvky optickej sústavy (optická os, obrazové a predmetové ohnisko spojky) a významné lúče pre konštrukciu obrazu zobrazeného šošovkou:**

Lúč č. 1 prechádza rovnobežne s optickou osou a po prechode šošovkou sa láme do obrazového ohniska šošovky (F').

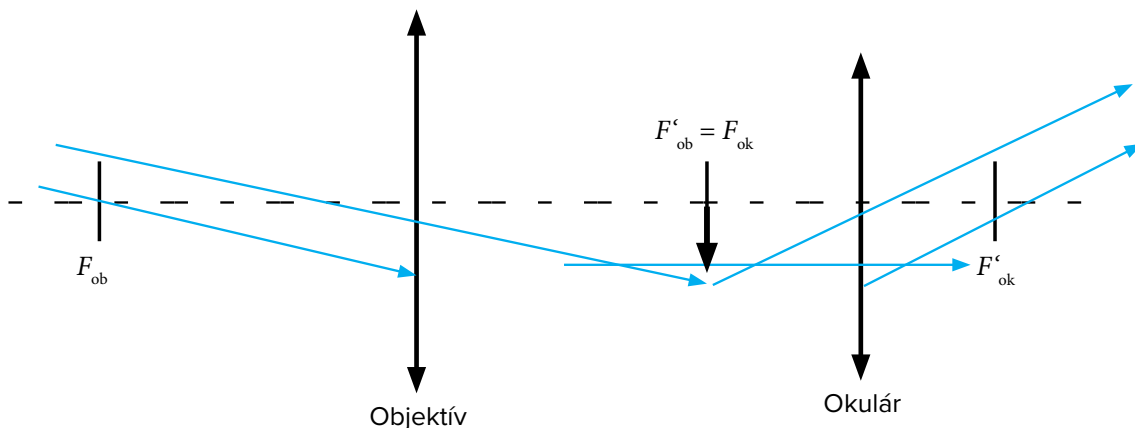
Lúč č. 2 prechádza predmetovým ohniskom (F) a po prechode šošovkou sa láme rovnobežne s optickou osou.

Lúč č. 3 prechádza stredom šošovky a pri prechode sa neláme.



Obrázok 2: Význačné lúče pri zobrazení spojkou

Po tomto cvičení je možné pristúpiť ku konštrukcii chodu lúčov Keplerovým ďalekohľadom. Tu je dobré žiakom spomenúť, že objektív tvorí v najjednoduchšom prípade jedna spojná šošovka s veľkým priemerom a väčšou ohniskovou vzdialenosťou ako má okulár, ako je vidieť aj na obrázku:



Obrázok 3: Chod lúčov v Keplerovom ďalekohľade

Lúče vstupujúce do ďalekohľadu môžeme považovať za rovnobežné, pretože prichádzajú do ďalekohľadu z veľkej vzdialenosti (v optike už päť metrov je skoro nekonečno...) a pod veľmi malým uhlom vzhľadom na optickú os – jeden z dôvodov na použitie ďalekohľadu je, že zväčšuje zorný uhol, pod ktorým vidíme pozorovaný objekt.

Na konštrukciu s využitím význačných lúčov vniká v obrazovom ohnisku objektívu F'_{ob} skutočný obraz pozorovaného predmetu. Ten následne pozorujeme okulárom ako lupou. Z konštrukcie obrazu pomocou význačných lúčov je zrejmé, že lúče vystupujúce z ďalekohľadu, zvierajú s optickou osou väčší uhol ako lúče vstupujúce. Tiež je vidieť, že lúče, ktoré vstupujú zľava zhora nadol, vystupujú zdola nahor. Keplerov ďalekohľad teda prevracia obraz.

V dnešnej dobe nie je múdre stavať ďalekohľady z okuliarových šošoviek, pretože tieto sú zbytočne drahé (ide o zdravotnícky prostriedok). Naopak, lupy dokážete zohnať pomerne lacno. Potom možno zostrojíte jednoduchý ďalekohľad Keplerovho typu.

Úloha 2: Jednoduchý ďalekohľad Keplerovho typu

Jednoduchý ďalekohľad Keplerovho typu možno zostrojiť z dvojice lúp. Väčšie bežne predávané lupy (priemer 9 – 10 cm) majú ohniskovú vzdialenosť okolo 40 cm, stredné (priemer 5 – 6 cm) cca 15 cm a najmenšie lupy majú ohniskovú vzdialenosť okolo 10 cm (pozri Obr. 4). Na konštrukciu ďalekohľadu je potrebná jedna malá lupa a jedna stredná alebo ešte lepšie veľká.



Priemer 5 cm
Ohnisková vzdialenosť
 $f = 9,6 \text{ cm}$

Priemer 7 cm
Ohnisková vzdialenosť
 $f = 14,6 \text{ cm}$

Priemer 9,5 cm
Ohnisková vzdialenosť
 $f = 37,2 \text{ cm}$

Obrázok 4: Dostupné spojné šošovky (lupy)

Postup

1. Určte ohniskovú vzdialenosť použitých šošoviek. To sa najľahšie vykoná tak, že šošovku umiestnite (napr. pomocou laboratórneho stojana, v núdzi stačí aj ruka) pod zdroj svetla a snažíte sa nad šošovkou vytvoriť ostrý obraz zdroja na stole alebo na podlahe. Výška stredu šošovky nad obrazom (stolom, podlahou) sa rovná ohniskovej vzdialenosti šošovky. Zapište namerané hodnoty do tabuľky:

Číslo merania	$\frac{f_{ob}}{\text{cm}}$
1	37,3
2	36,8
3	37,5
4	37,2
5	32,2

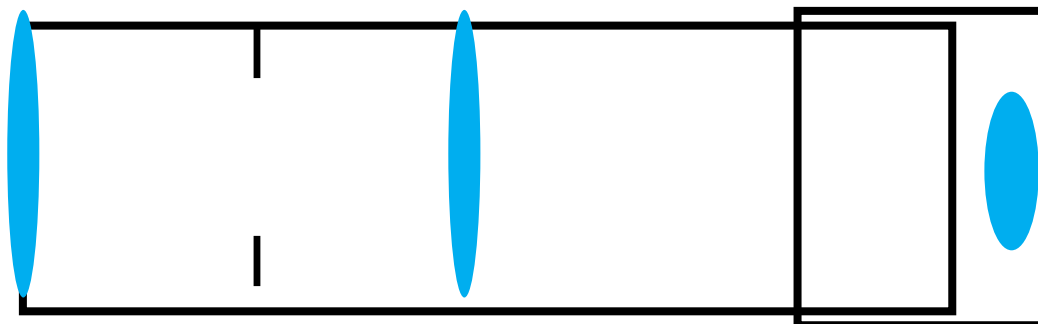
$$f_{ob} = 37,2 \text{ cm}$$

Číslo merania	$\frac{f_{ok}}{\text{cm}}$
1	9,5
2	9,6
3	9,4
4	9,7
5	9,9

$$f_{ok} = 9,6 \text{ cm}$$

10. Hvezdárne

2. Umiestnite objektív a okulár do vhodného tubusu. Výbornou voľbou je papierové puzdro na výkresy, pričom šošovka okuláru sa dá pripevniť k zátku, ktorá tubus uzatvára. Posunom zátky na konci tubusu možno ďalekohľad zaostrovať.



Obrázok 5: Schéma Keplerovho ďalekohľadu a fotografia realizácie

Ďalekohľadom sa nikdy nepozerajte do Slnka! Mohlo by dôjsť k nenávratnému poškodeniu zraku!

3. Ďalekohľadom môžete pozorovať pozemské objekty, pričom sa rýchlo presvedčíte, že obraz je skutočne stranovo aj výškovo prevrátený. Pri pozorovaní napr. Mesiaca v splne tiež zistíte, že skutočne dochádza k disperzii svetla.

Ukážkové riešenie pracovného listu

Dĺžka ďalekohľadu = $f_{ob} + f_{ok} = 37,2 \text{ cm} + 9,6 \text{ cm} = 46,8 \text{ cm}$

$$\text{Zväčšenie ďalekohľadu} = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} = \frac{37,2 \text{ cm}}{9,6 \text{ cm}} \cong 3,9$$

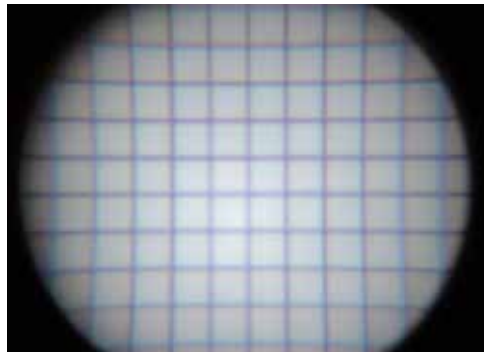
V praxi sa pri astronomických ďalekohľadoch často uvádzajú parametre vo formáte *priemer objektívu/ohnisková vzdialenosť objektívu*.

Zapíšte na záver parametre zhotoveného ďalekohľadu: **90/372 mm**.

Ak je k dispozícii okulár z ďalekohľadu, je možné vykonať priame porovnanie. Pri pozorovaní štvorcovej siete je jasne vidieť, že profesionálne okuláre majú oveľa lepšie kompenzované skreslenie:



a) Okulár z jednej spojky



b) Profesionálny okulár

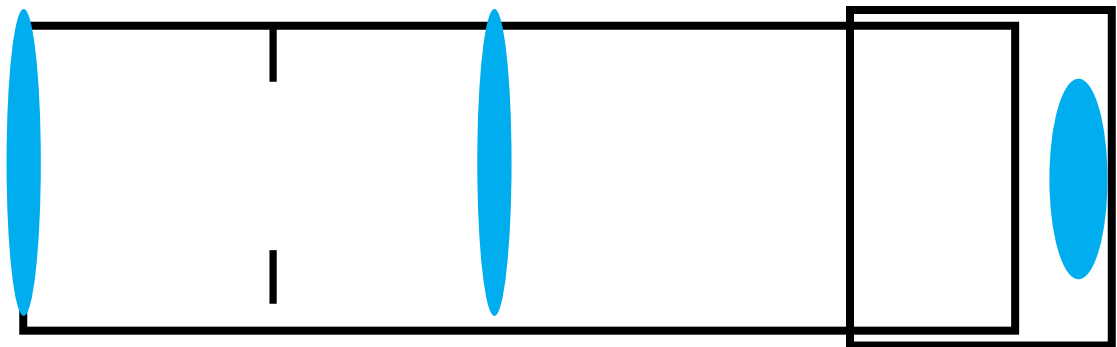
Obrázok 6

Úloha 3: Vylepšený ďalekohľad Keplerovho typu

Farebnú chybu objektívu je možné čiastočne kompenzovať aj bez použitia šošoviek s iným indexom lomu. Popísaná konštrukcia vychádza zo symetrického Grayovho objektívu, používaného predtým v periskopoch a vo fotoaparátach okolo roku 1890. Objektív tvoria dve rovnaké spojné šošovky umiestnené vo vzdialenosti $0,8 f$. Výsledkom nižšie popísanej konštrukcie je celkom slušný ďalekohľad 42/420 mm len s miernymi optickými vadami.

Postup

1. Dve rovnaké šošovky, stredné alebo veľké, zlepte pomocou vhodnej papierovej rúry vo vzdialenosti $0,8 f$. Ak je ohnisková vzdialenosť strednej šošovky 14 cm, pripravte objektív tak, aby boli šošovky vo vzdialenosti 11,2 cm.
2. Doprostred objektívu (presne medzi šošovky) vlepte clonu, ktorá bude mať o desatinu menší priemer než použité šošovky. Teda pre stredné šošovky s priemerom 6,5 cm vlepte doprostred objektívu koliesko tvrdého papiera s otvorom s priemerom približne 5,9 cm.



Obrázok 7: Schéma vylepšeného ďalekohľadu

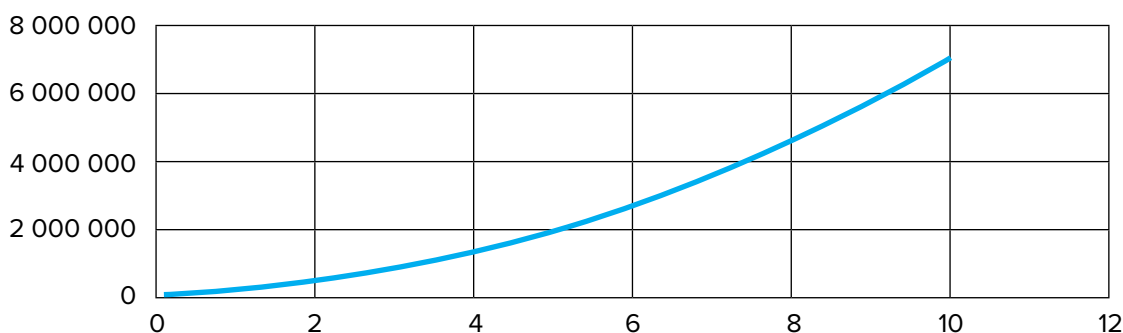
3. Vytvoreným objektívom nahradte jeden šošovkový objektív z Úlohy 1.
4. Ďalekohľadom môžete bez problémov pozorovať krátery na Mesiaci, galaxiu v Andromede, hmlovinu v Orióne, bez väčších detailov planéty (na tie už je potrebný naozajstný ďalekohľad).

Úloha 4: Segmentované zrkadlo

Na konštrukciu naozaj veľkých astronomických ďalekohľadov sa bežne nepoužívajú primárne zrkadlá z jedného kusu, ale zrkadlá segmentované. To jednak z dôvodu použitia adaptívnej optiky, ale najmä z dôvodov konštrukčných, a tým pádom aj cenových – primárne zrkadlo zostavené z menších segmentov je podstatne lacnejšie.

V opísanej aktivite majú k tomuto záveru žiaci dospieť sami počas úvah o konštrukcii zrkadla s desaťmetrovým priemerom. Aktivitu je vhodné uviesť slovami: „Vašou úlohou je navrhnúť desaťmetrové zrkadlo pre nový ďalekohľad lacnejšie ako za 7 miliónov dolárov.“

K dispozícii majú žiaci graf závislosti ceny zrkadla od jeho priemeru:

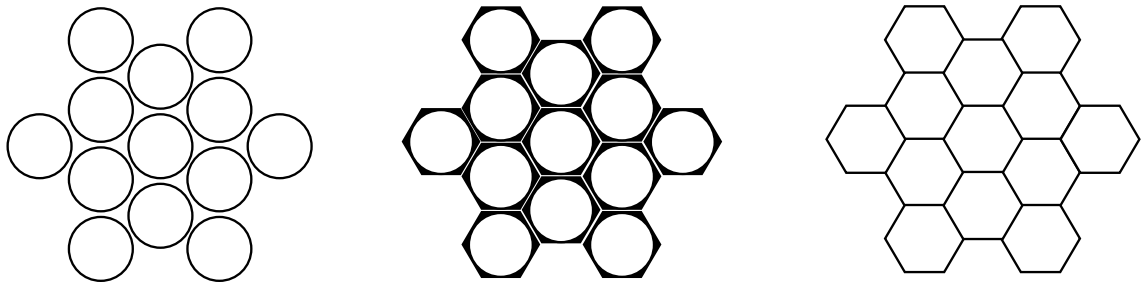


Obrázok 8: Závislosť ceny primárneho zrkadla od priemeru

K dispozícii je aj pracovný list s kolieskami s priermi 1, 2,5, 5 a 10 cm, pričom 10 cm reprezentuje desaťmetrové zrkadlo. Tieto kolieska si môžu vystrihnúť a skúšať rôzne konfigurácie zrkadiel. Počas svojich experimentov by mali prísť na to, že vyjde lacnejšie nahraďiť jedno veľké zrkadlo súpravou zrkadiel menších, ktorých celková plocha v súčte dáva požadovanú plochu zrkadla s priemerom 10 metrov. Celkovú cenu je možné vyjadriť ako

$$c_{\text{celk.}} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\frac{\pi d^2}{4}} c = \frac{D^2}{d^2} c = \frac{100 \text{ m}^2}{d^2} c,$$

kde $D = 10 \text{ m}$ je priemer požadovaného zrkadla, d priemer segmentu a c cena jedného segmentu podľa grafu. Žiaci by mali prísť na to, že veľké množstvo menších zrkadiel cenu znižuje. Na záver môžu skupiny svoje riešenia prezentovať pred triedou. Ak už v tejto chvíli niektorého zo žiakov napadne, že by boli lepšie segmenty šesťuholníkové, žiaka významne pochváľte. V opačnom prípade je možné položiť otázku, prečo v profesionálnych ďalekohľadoch šesťuholníkové segmenty nájde. Je vhodné použiť nasledujúci obrázok (ktorý by však nemal byť súčasťou pracovného listu):



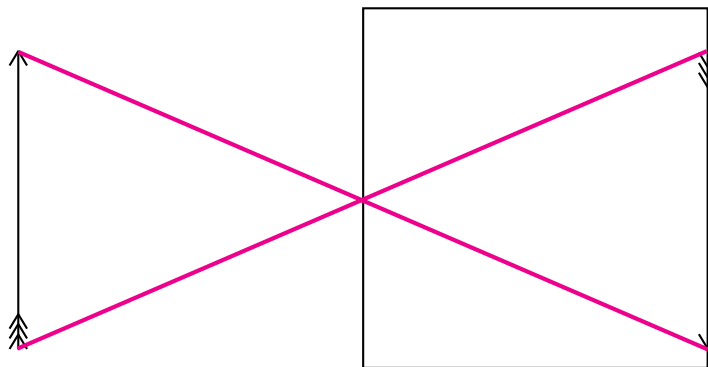
Obrázok 9: Šesťuholníkové segmenty

Šesťuholníky vyplňajú celú plochu, preto napr. včelie plásty majú šesťuholníkový tvar. Aj keď súbor šesťuholníkov zaberie rovnakú plochu ako sústava kruhových zrkadiel, šesťuholníky odrazia viac svetla.

Úloha 5: Dierková komora

Na hodine je možné zostaviť jednoduchú dierkovú komoru na pozorovanie okolia – je možné získať obraz rozsvietenej žiarovky aj ulice osvetlenej jasným Slnkom. Na pozorovanie čiastočného zatmenia je potrebné, aby bolo tienidlo dierkovej komory aspoň meter od dierky – v takom prípade má priemer cca centimeter. Na pozorovanie naozaj veľkých slnečných škvŕn by bola potrebná dierková komora s dĺžkou aspoň dva alebo tri metre, ktorú možno realizovať napr. z rúrky od koberca, ktorú je však potrebné upevniť na vhodnú montáž. Namierenie na Slnko sa potom dosiahne tak, aby bol tieň vrhnutý rúrkou čo najmenší.

Princíp dierkovej komory je veľmi jednoduchý: Dierkou prechádza časť svetelných lúčov (ktoré vychádzajú zo zobrazovaného objektu) a po dopade na tienidlo vytvárajú prevrátený obraz.



Obrázok 10: Princíp dierkovej komory

Jednoduchú dierkovú komoru možno vytvoriť z prakticky akejkoľvek škatuľky, do ktorej sa vyreže väčší otvor, kam sa umiestni pauzovací papier. Ten bude tvoriť tienidlo. Na protilahlej strane sa vyreže otvor približne 3 × 3 centimetre, kam sa prilepí hliníková fólia (alobal), do stredu ktorej sa špendlíkom opatrne prepichne malá dierka.

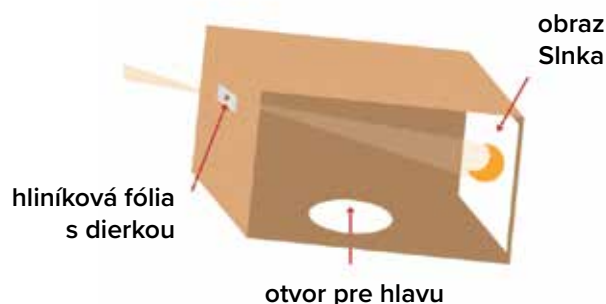
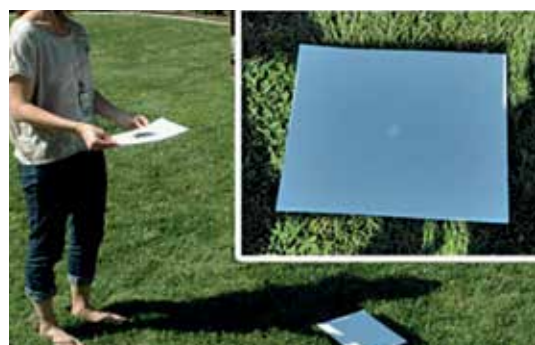
Poznámka: Na ďalšie experimenty, kedy je možné otvor vyrobiť presne (napr. v tenkom hliníkovom plechu, ktorý je možné ešte zoslabiť brúsnym papierom a následne na drevenej podložke prepichnúť ostrou ihlou, ktorú možno s mikrometrom následne použiť aj na meranie priemeru), je možné použiť vzorec:

$$d = 1,9 \sqrt{f\lambda}$$

odvodený lordom Rayleighom, kde f je vzdialenosť od dierky k tienidlu a vlnová dĺžka svetla. Na výpočet v milimetroch je možné použiť vlnovú dĺžku žltozeleného svetla 0,000 55 mm.

Na pozorovanie Slnka je populárny dizajn vytvorený pomocou prepravky, kedy lúče zo Slnka prechádzajú dierkou v zadnej časti a dopadajú na tienidlo v prednej časti (pozri obrázok). Aj tak je ale lepšie experimenty začať s tienidlom vytvoreným pomocou tvrdého papiera a s tienidlom tvoreným listom papiera, umiestneným v tieni.

Z dôvodu veľkej variability obsahuje pracovný list len návrh aktivity, ktorý je potrebné upraviť pre potreby konkrétnej realizácie.



Obrázok 11: Realizácia dierkovej komory

4. PRACOVNÉ LISTY PRE ŽIAKOV

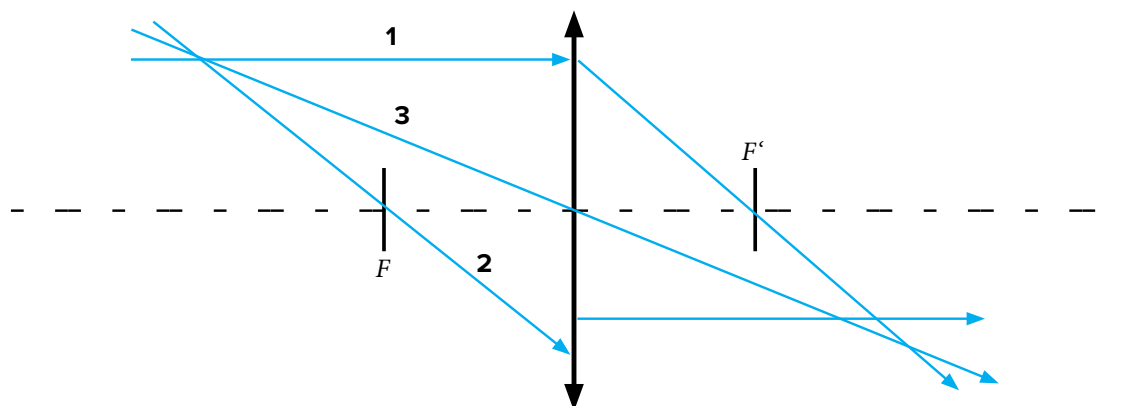
Názov úlohy	Predpokladaná doba trvania	Náročnosť úlohy	Vek detí, pre ktorý je úloha vhodná	Pomôcky a použitý materiál	Cieľ úlohy
Úloha 1	1 vyučovací hodina	stredná	14 – 15 rokov	rysovacie pomôcky	Upevnenie poznatkov geometrickej optiky.
Úloha 2	1 vyučovací hodina	vyššia	12 – 14 rokov	malá a veľká lupa, pravítko, tubus na výkresy, píłka, nožnice, tavná pištoľ, kalkulačka	Upevnenie poznatkov geometrickej optiky a princípu konštrukcie ďalekohľadu.
Úloha 3	1 vyučovací hodina	vyššia	12 – 14 rokov	malá a veľká lupa, pravítko, tubus na výkresy, štvrt papiera, píłka, nožnice, tavná pištoľ, kalkulačka	Upevnenie poznatkov geometrickej optiky a princípu konštrukcie ďalekohľadu.
Úloha 4	1 vyučovací hodina	stredná	12 – 14 rokov	nožnice, pravítko, kalkulačka	Pochopenie princípu konštrukcie zrkadla zo segmentov.
Úloha 5	1 vyučovací hodina	stredná	12 – 14 rokov	dve štvrtky papiera, hliníková fólia, špendlík, rysovacie potreby, nožnice, lepiaca páska	Princíp dierkovej komory.

Úloha 1: Konštrukcia chodu lúčov

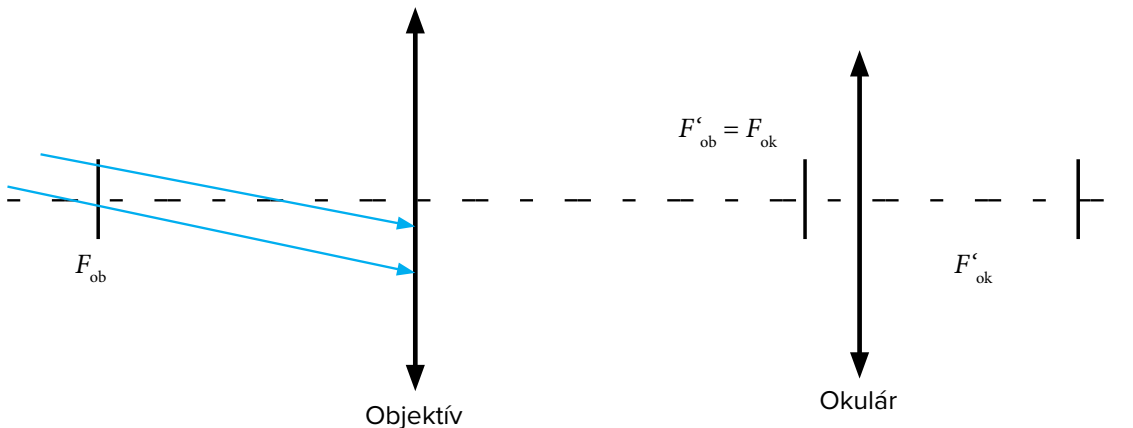
Lúč č. 1 prechádza rovnobežne s optickou osou a po prechode šošovkou sa láme do obrazového ohniska šošovky (F').

Lúč č. 2 prechádza predmetovým ohniskom (F) a po prechode šošovkou sa láme rovnobežne s optickou osou.

Lúč č. 3 prechádza stredom šošovky a pri prechode sa neláme.



Zostrojte obraz vzniknutý ďalekohľadom a popíšte jeho vlastnosti:



Úloha 2: Jednoduchý ďalekohľad Keplerovho typu

V tejto úlohe budete zostavovať jednoduchý astronomický ďalekohľad Keplerovho typu. Objektív tvorí spojná šošovka s väčším priemerom a väčšou ohniskovou vzdialenosťou, okulár, spojná šošovka s menším priemerom a menšou ohniskovou vzdialenosťou. Šošovky umiestnite do tubusu tak, aby obrazové ohnisko objektívu splývalo s predmetovým ohniskom okuláru (pozri schému).

Postup

- Určte ohniskovú vzdialenosť použitých šošoviek. To sa najľahšie vykoná tak, že šošovku umiestnite (napr. pomocou laboratórneho stojana, v núdzi stačí aj ruka) pod zdroj svetla a snažíte sa nad šošovkou vytvoriť ostrý obraz zdroja na stole alebo na podlahe. Výška stredu šošovky nad obrazom (stolom, podlahou) sa rovná ohniskovej vzdialenosti šošovky. Zapište namerané hodnoty do tabuľky:

OBJEKTÍV

Číslo merania	$\frac{f_{ob}}{\text{cm}}$
1	37,3
2	36,8
3	37,5
4	37,2
5	32,2

$$f_{ob} = \text{_____ cm}$$

OKULÁR

Číslo merania	$\frac{f_{ok}}{\text{cm}}$
1	9,5
2	9,6
3	9,4
4	9,7
5	9,9

$$f_{ok} = \text{_____ cm}$$

- Umiestnite objektív a okulár do papierového tubusu. Tubus je potrebné skrátiť pátkou tak, aby bol približne o päť centimetrov kratší, než je súčet ohniskových vzdialeností. Tiež je dobré vnútro tubusu zatmaviť matnou čiernou farbou.
- Objektív pripevnite tavnou pištoľou na jeden koniec tubusu, okulár na otvor v papierovej zátke, ktorá tubus uzatvára. Posunom zátky na konci tubusu možno ďalekohľad zaostrovať.



Obrázok 12: Schéma Keplerovho ďalekohľadu

Ďalekohľadom sa nikdy nepozerajte do Slnka! Mohlo by dôjsť k nenávratnému poškodeniu zraku!

4. Ďalekohľadom môžete pozorovať pozemské objekty, pričom sa rýchlo presvedčíte, že obraz je skutočne stranovo aj výškovo prevrátený. Pri pozorovaní napr. Mesiaca v splne tiež zistíte, že skutočne dochádza k disperzii svetla.

Dĺžka ďalekohľadu = $f_{ob} + f_{ok} =$ _____ cm + _____ cm = _____ cm

Zväčšenie ďalekohľadu = $\frac{f_{ob}}{f_{ok}} = \frac{\text{_____ cm}}{\text{_____ cm}} =$ _____

V praxi sa pri astronomických ďalekohľadoch často uvádzajú parametre vo formáte

ohnisková vzdialenosť objektívu/priemer objektívu.

Zapíšte na záver parametre zhotoveného ďalekohľadu: _____mm

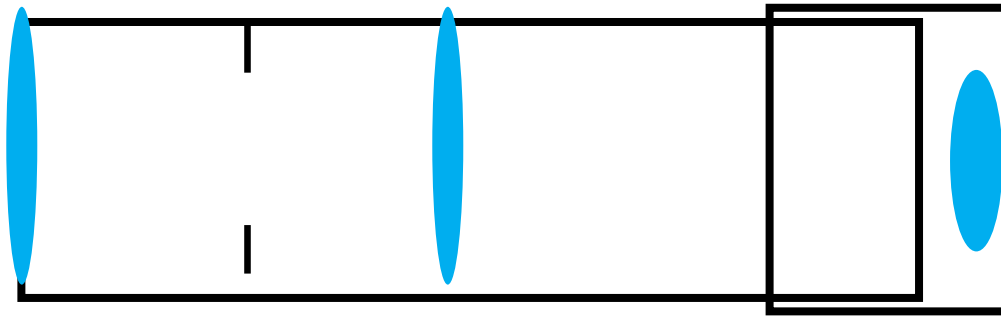
Úloha 3: Vylepšený ďalekohľad Keplerovho typu

Farebnú chybu objektívu je možné čiastočne kompenzovať aj bez použitia šošoviek s iným indexom lomu. Popísaná konštrukcia vychádza zo symetrického Grayovho objektívu používaného predtým v periskopoch a vo fotoaparátoch okolo roku 1890. Objektív tvoria dve rovnaké spojné šošovky umiestnené vo vzdialenosti $0,8 f$. Výsledkom nižšie popísanej konštrukcie je celkom slušný ďalekohľad 42/420 mm len s miernymi optickými vadami.

Postup

1. Dve rovnaké šošovky, stredné alebo veľké, zlepte pomocou vhodnej papierovej rúry vo vzdialenosti $0,8 f$. Ak je ohnisková vzdialenosť strednej šošovky 14 cm, pripravte objektív tak, aby boli šošovky vo vzdialenosti 11,2 cm.

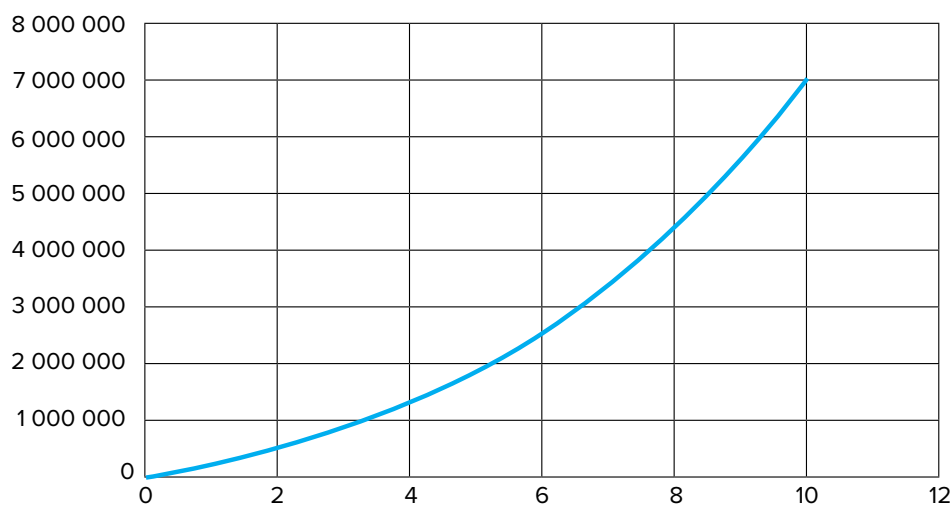
2. Doprastred objektívu (presne medzi šošovky) vlepíte clonu, ktorá bude mať o desatinu menší priemer než použité šošovky. Teda pre stredné šošovky s priemerom 6,5 cm vlepíte doprostred objektívu koliesko tvrdého papiera s otvorom s priemerom približne 5,9 cm.



3. Vytvorený objektív pripevníte tavnou pištoľou na jeden koniec tubusu, okulár na otvor v papierovej zátku, ktorá tubus uzatvára. Posunom zátky na konci tubusu možno ďalekohľad zaostrávať.
4. Ďalekohľadom môžete bez problémov pozorovať krátery na Mesiaci, galaxiu v Andromede, hmlovinu v Orióne, bez väčších detailov planéty (na tie už je potrebný naozajstný ďalekohľad).

Úloha 4: Segmentované zrkadlo

Naozaj veľké astronomické zrkadlá sú drahé. Zrkadlo s priemerom 10 metrov vyjde na 7 miliónov dolárov. Vašou úlohou bude navrhnúť zrkadlo lacnejšie. Závislosť ceny zrkadla od jeho priemeru udáva tento graf:

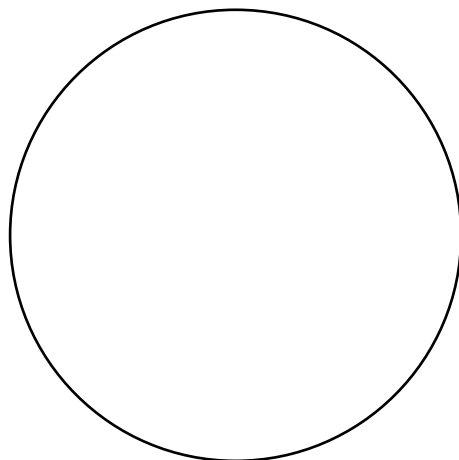


Obrázok 13: Závislosť ceny zrkadla od priemeru

Na osi x je priemer zrkadla, na osi y jeho cena v dolároch. Poslednú časť pracovného listu si môžete postrihať a vyskúšať, ako možno desaťmetrové zrkadlo nahradiť menšími zrkadlami. Menšie zrkadlo vyjde iste lacnejšie, bude ich ale potrebné viac, aby súčet plôch zrkadiel bol opäť 10 metrov.

10. Hvezdárne

Celkovú cenu je možné vypočítať ako



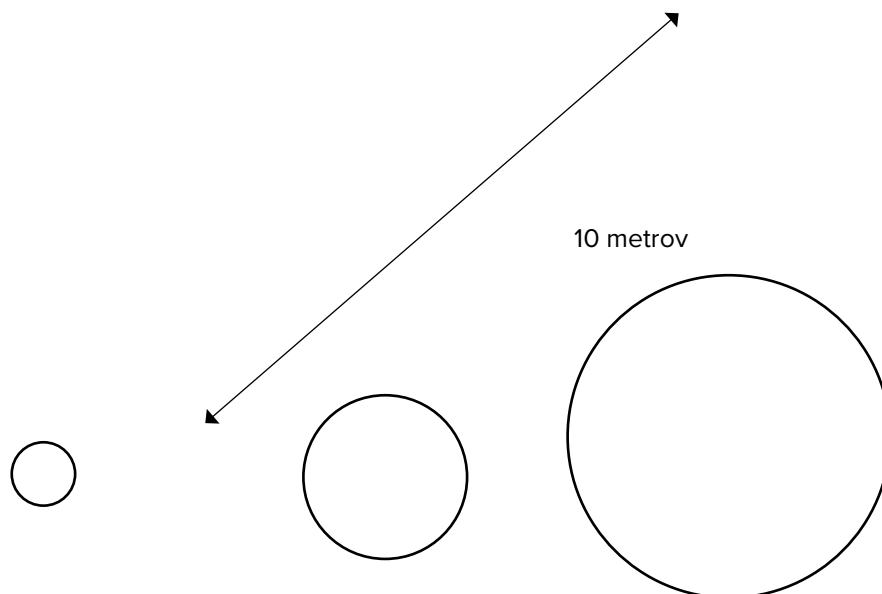
$$C_{celk.} = \text{počet zrkadiel} \cdot \text{cena jedného zrkadla.}$$

Počet zrkadiel (segmentov) určíme ako podiel požadovaného priemeru (10 metrov) a priemeru jedného segmentu. Potom

$$C_{celk.} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\frac{\pi d^2}{4}} c = \frac{D^2}{d^2} c = \frac{100 \text{ m}^2}{d^2} c,$$

kde $D = 10 \text{ m}$ je priemer požadovaného zrkadla, d priemer segmentu a c cena jedného segmentu podľa grafu.

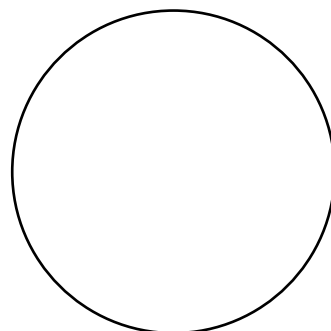
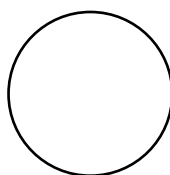
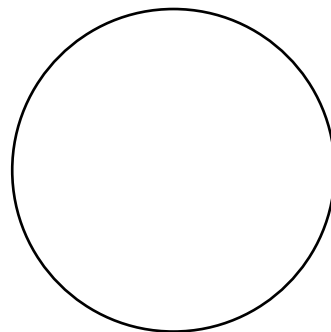
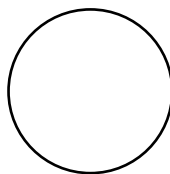
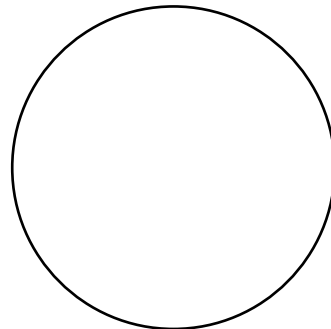
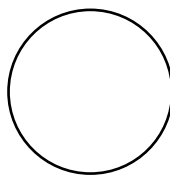
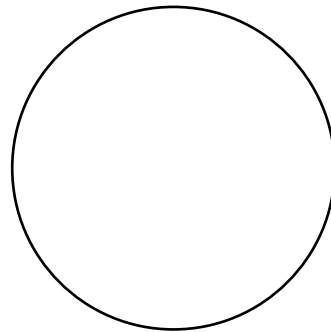
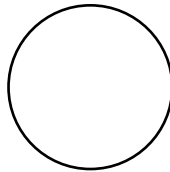
Vyskúšajte rôzne varianty s priermi zrkadiel, ktoré máte k dispozícii po rozstrihaní poslednej časti pracovného listu, prípadne môžete počítať aj s inými priermi segmentov. Na konci aktivity budete svoje riešenie prezentovať pred triedou.



Priemer 1 meter

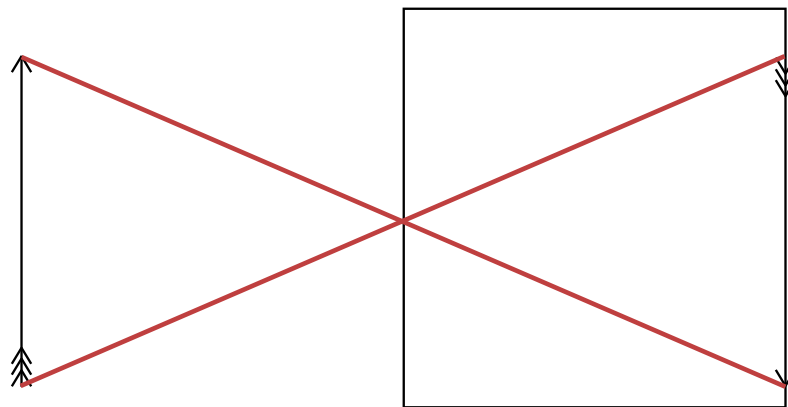
Priemer 2,5 metra

Priemer 5 metrov



Úloha 5: Dierková komora

Dierková komora je veľmi jednoduchý optický prístroj, v ktorom lúče z pozorovaného objektu prechádzajú malým otvorom a vytvárajú obraz na protilahlom tienidle (pozri obrázok). Preto je obraz získaný dierkovou komorou prevrátený.



Postup:

1. Do tvrdého papiera formátu A4 vystrihnite doprostred štvorcový otvor s rozmermi 3×3 centimetre.
2. Do otvoru prilepte štvorec hliníkovej fólie s rozmermi 5×5 centimetrov pomocou lepiacej pásky tak, aby okolo fólie neprechádzalo svetlo.
3. Do stredu štvorca hliníkovej fólie opatrne pomocou špendlíka prepichnete malý otvor.
4. Pokúste sa pomocou vytvorenej dierky zobrazíť na biely papier Slnko (pozri obrázok).



ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM

1. ÚVOD

Elektromagnetické (EM) spektrum nazývame celý rozsah všetkých typov elektromagnetického žiarenia. Elektromagnetické žiarenie možno opísať ako prúd fotónov, ktoré prenášajú energiu a každý z nich sa rýchlosťou svetla pohybuje ako samostatná vlna. Jediný rozdiel medzi rádiovými vlnami, viditeľným svetlom, röntgenovými lúčmi a ďalšími typmi elektromagnetického žiarenia spočíva v energii fotónov. Rádiové vlny sú prenášané fotónmi s najnižšou energiou, mikrovlny majú o niečo viac energie ako rádiové vlny, infračervené žiarenie – ešte viac energie, a za nimi nasledujú viditeľné lúče, UV, röntgenové lúče a gama lúče.

V tejto téme popisujeme elektromagnetické spektrum, jeho rôzne časti, ako aj vlny a fotóny. Vysvetľujeme únik atmosféry. Ponúkame tiež praktické cvičenia pre rôzne vekové skupiny, aby sme žiakom pomohli získať prehľad o elektromagnetickom spektre a jeho oblastiach, dali žiakom informácie o metódach vedeckého výskumu tak, aby zlepšili svoje zručnosti prípravou a uskutočnením vlastného experimentu a prezentáciou jeho výsledkov.

1.1 KLÚČOVÉ SLOVÁ

elektromagnetické spektrum

gama lúče

žiarenie – gama, ultrafialové, optické, infračervené, rádiové

rádiové vlny

fotóny

vlnová frekvencia, dĺžka, energia

Angström (značka Å)

elektrovolt

priehľadnosť atmosféry

2. TEORETICKÁ ČASŤ PRE UČITEĽA

2.1 Elektromagnetické spektrum v skratke

V závislosti od energie prenášanej fotónom sa fotón správa skôr ako vlna (pri nízkej energii), alebo skôr ako častica (pri vysokej energii). Toto je prejavom **tzv. časticovo-vlnového dualizmu** (termín je prevzatý z kvantovej mechaniky) – **fotóny sú aj častice aj vlny**. Fotóny vykazujú buď jednu, alebo druhú svoju stránku v závislosti od určitých fyzikálnych podmienok. Časticovo-vlnový dualizmus sa najvýraznejšie prejavuje pri elementárnych časticách. Tento princíp platí pre väčšie objekty, ale čím väčší je jeden objekt, tým menšie sú jeho vlnové vlastnosti. Nemôžeme hovoriť o fyzickom rozdiely v typoch elektromagnetického žiarenia – neexistuje žiadne, ale iba odlišné správanie spôsobené výlučne energiou fotónov.

Elektromagnetické spektrum je vyjadrené každou z nasledujúcich troch fyzikálnych veličín: vlnovou frekvenciou ν , vlnovou dĺžkou λ , alebo fotónovou energiou E .

Každá z týchto troch veličín súvisí s ostatnými takto:

$$\lambda = c / \nu$$

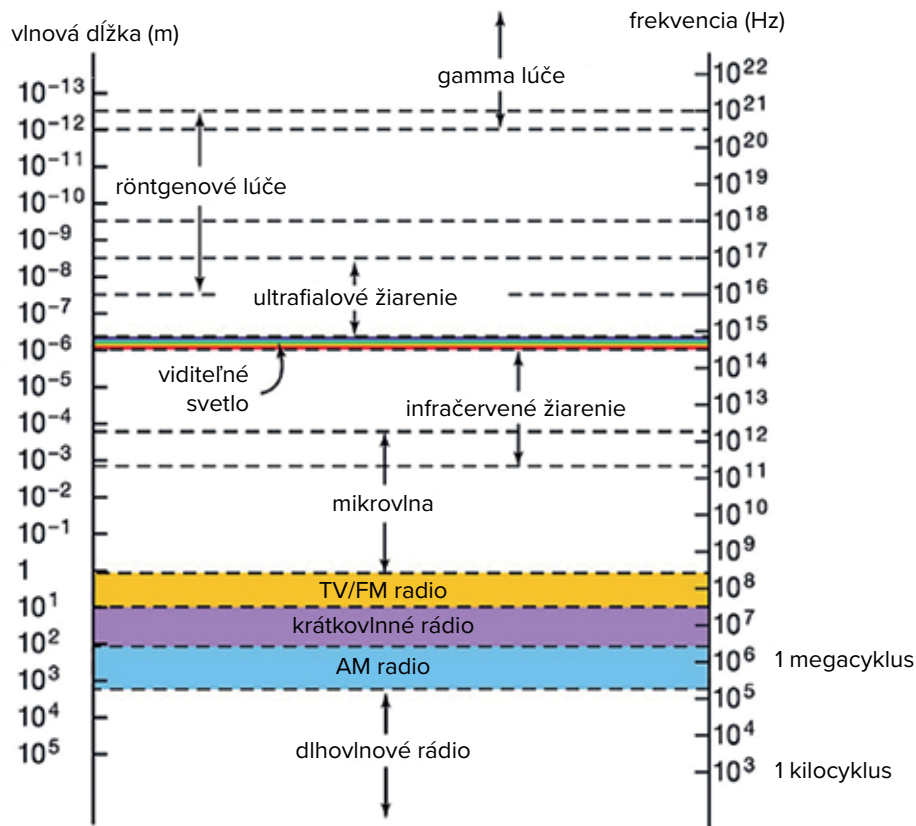
$$E = h \times \nu, \text{ alebo } E = hc / \lambda,$$

kde c je rýchlosť svetla vo vákuu, $c = 299\,792,458$ m/s alebo približne 300 000 km/s, h je Planckova konštanta, $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J · s = 4.136×10^{-15} eV · s.

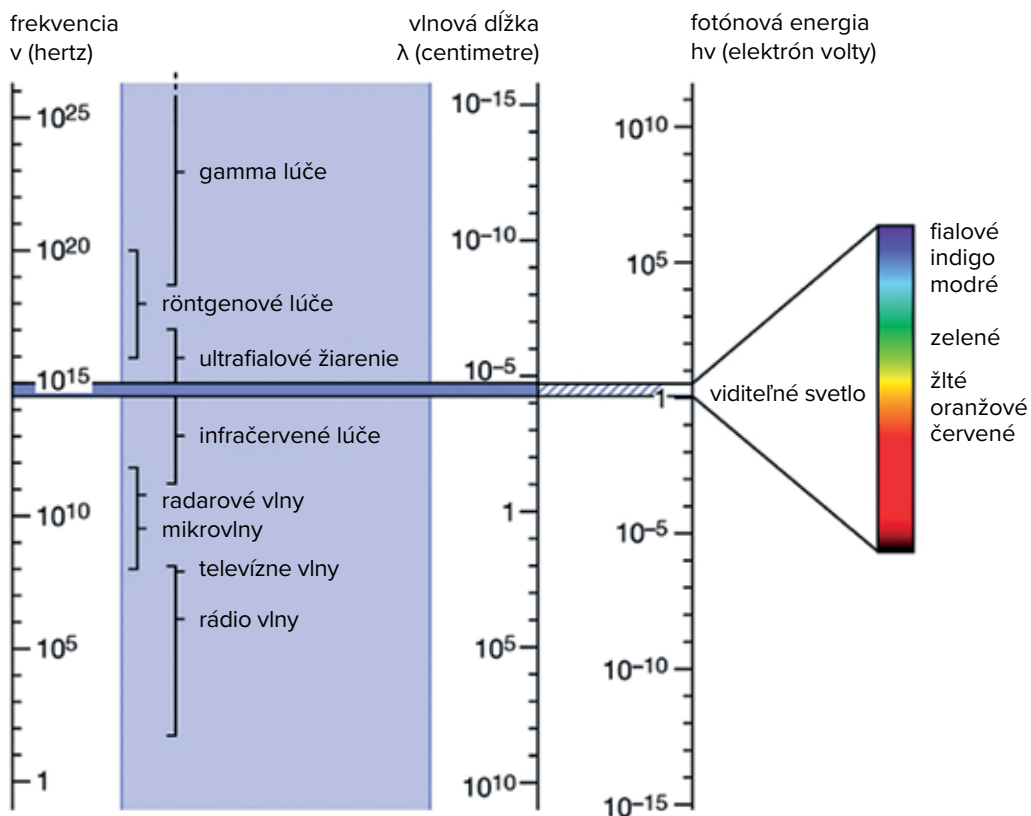
Rýchlosť svetla aj Planckova konštanta sú konštanty, ktoré za žiadnych okolností nemenia svoju hodnotu. Obrázok 1 ukazuje vzťah medzi vlnovou dĺžkou a frekvenciou v závislosti od spektrálneho rozsahu a prevod medzi tromi veličinami uvedenými vyššie je vyobrazený na Obrázku 2.

Frekvencie pozorované v astronómii sa pohybujú od približne 2.4×10^{23} Hz (gama lúče s energiou 1 GeV) do nízkych frekvencií približne 1 kHz (tzv. ionizované medzihviezdne médium). Gama lúče majú veľmi krátke vlnové dĺžky – iba malá časť veľkosti atómu a vlnové dĺžky na konci dlhého vlnového spektra môžu dosiahnuť veľkosť hviezd (teoreticky až veľkosť celého Vesmíru!).

Pokiaľ vlny elektromagnetického spektra prechádzajú cez médium (alebo sú v médiu), v ktorom je hmota (t. j. nie sú vo vákuu), potom sa ich dĺžka skracuje. Ale aj v takýchto prípadoch vedci berú do úvahy vlnové dĺžky vo vákuu a hovoria o vlnových dĺžkach elektromagnetického žiarenia.



Obrázok 14: Elektromagnetické spektrum



Obrázok 15: Elektromagnetické spektrum

2.2 Elektromagnetické spektrum ako celok

Prečo používame tri rôzne spôsoby, ako opísať spektrum s tromi rôznymi fyzikálnymi jednotkami? Pretože je to vhodnejšie – ľahšie je povedať „sto kilometrov“ namiesto „sto tisíc metrov“. Vedci zvyčajne používajú najvhodnejšie jednotky pre rozsah spektra, v ktorom pracujú. Rádioastronómovia teda radšej používajú frekvencie alebo vlnové dĺžky. Väčšina rádiového rozsahu leží medzi 1 cm a 1 km, t. j. ide o frekvencie od 30 GHz do 300 kHz. Tento rozsah predstavuje veľmi širokú časť elektromagnetického spektra.

Vlnová dĺžka V infračervených (IR) a optických oblastiach hlavná pracovná hodnota je vlnová dĺžka. IR astronómia používa mikróny (mikrometre, mcm alebo μm) pre svoj pracovný rozsah od 1 do 100 mcm. V optike sa používajú angströmy ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$) alebo nanometre ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$). Optický rozsah siaha od 400 nm (modro-fialová oblasť) do 700 nm (červená oblasť). Rozsah, na ktorom sú naše oči citlivé, pokrýva veľmi malú časť celého elektromagnetického spektra. Vlnové dĺžky v oblasti ultrafialového žiarenia (UV), röntgenových a gama lúčov (γ -lúče), sú veľmi malé. Preto v týchto rozsahoch astronómovia uprednostňujú charakterizáciu fotónov pomocou energie meranej za pomoci elektrónového napätia (eV). UV žiarenie leží v rozmedzí od niekoľkých eV až po približne 100 eV, rozsah röntgenového žiarenia je od 100 eV až po 100 000 eV (alebo 100 keV) a γ -lúče majú energiu viac ako 100 keV.

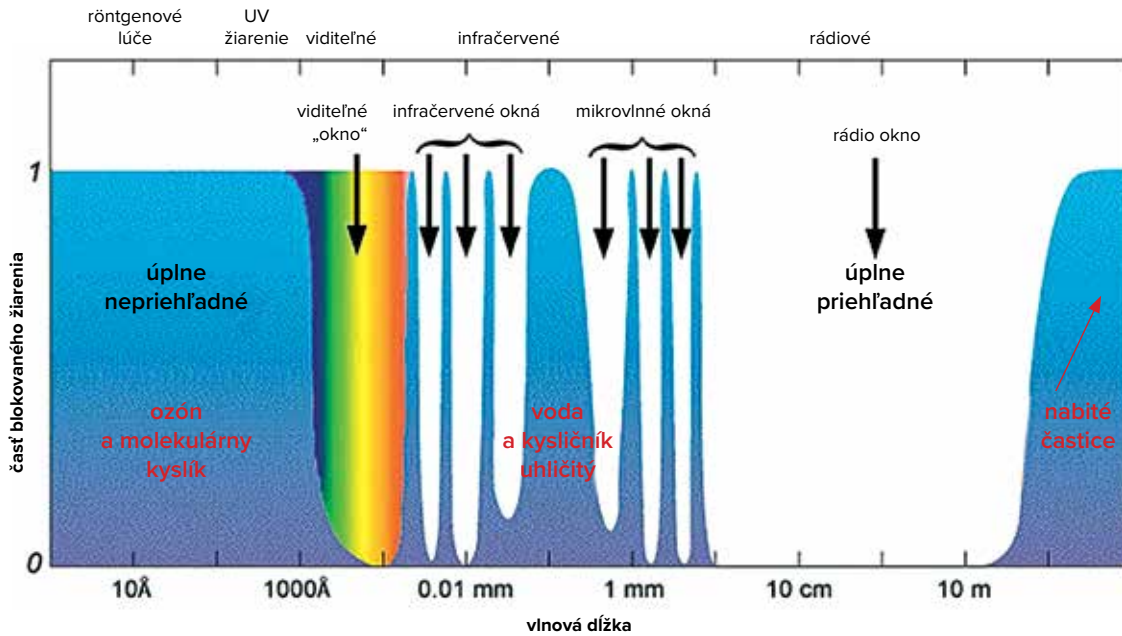
Aj keď je svetlo v celom elektromagnetickom spektre v zásade rovnaké, spôsoby, ktorými ho astronómovia pozorujú, sa menia v závislosti od rozsahu ich pozorovania (pretože nemôžeme pozorovať celé elektromagnetické spektrum naraz, ale musíme ho rozdeliť na menšie časti).

2.3 Transparentnosť zemskej atmosféry (atmosférické „okná“)

Naše Slnko je zdrojom žiarenia vo všetkých rozsahoch elektromagnetického spektra a jeho žiarenie neustále bombarduje našu atmosféru. Gama lúče, röntgenové lúče a krátkovlnná časť ultrafialového žiarenia predstavujú ionizujúce žiarenie, t. j. ich energia je dostatočná na oddelenie elektrónov od atómov a molekúl. Vystavenie takémuto žiareniu ničí bunky organických látok. Atmosféra nás chráni pred život ohrozujúcim vysokoenergetickým žiarením prichádzajúcim zo Slnka a Galaxie. Nie všetky časti spektra prenikajú do zemskej atmosféry a na ich skúmanie musíme použiť vesmírne teleskopy. **Atmosféra, ktorá chráni Zem a robí ju obývateľnou, je tiež prekážkou pri štúdiu zdrojov vysokých energií z Vesmíru.** Senzorové detektory, ktoré sa navzájom radikálne odlišujú svojimi vlastnosťami, sú citlivé na rôzne rozsahy spektra. To si vyžaduje, aby astronómovia používali mnoho rôznych ďalekohľadov a detektorov, pozemských aj vesmírnych.

Atmosféra Zeme je takmer úplne priehľadná pre kozmické žiarenie iba v dvoch relatívne úzkych oblastiach (nazývame ich „okná“): optické pásmo pre vlnové dĺžky od 300 nm do 1,5 – 2 μm (oblasť do 8 μm pozostáva z niekoľkých úzkych pruhov) a rádiové pásmo pre vlnové dĺžky od 1 mm do 30 m (Obr. 3).

Nepriehľadnosť atmosféry pre ostatné rozsahy je daná pohltitím a rozptylom žiarenia atómov a molekúl rôznych plynov (väčšinou vody, oxidu uhličitého CO_2 a ozónu), a tiež odrazom rádiových vln elektrónov v ionosfére (pozri červené nápisy na Obr. 16).



Obrázok 16: Transparentnosť zemskej atmosféry

3. PRAKTICKÉ ÚLOHY A TESTY PRE ŽIAKOV

Úloha 1: Kúzlo svetla

Cvičenie je prispôbenou súčasťou súboru cvičení z programu Európskej vesmírnej agentúry (ESA) pre aktivity v triedach. Je vhodné pre žiakov do 12 rokov. Originál (v anglickom jazyku) je v archíve uložený ako: PR06_The_magic_of_light_all.zip, a na internete ho nájdete tu: http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/The_Magic_of_Light_Using_spectroscopes_and_colour_wheels_to_study_the_properties_of_light_Teach_with_space_PR06.

Cieľ úlohy

Nechajte žiakov skúmať svetlo a farby pomocou spektroskopu, ktorý si sami vyrobili.

Metodické pokyny pre učiteľov

Toto cvičenie sa môže vykonávať ako celotriedna aktivita alebo môžu byť žiaci rozdelení do niekoľkých skupín. Žiaci spočiatku zostavia spektroskop pomocou modelu v Prílohe 1. Môže byť použitý na štúdium svetla z rôznych zdrojov, ako sú napríklad Slnko, LED žiarovka, elektronická obrazovka a ďalšie. Týmto spôsobom žiaci pochopia, že „biele“ svetlo možno rozdeliť do rôznych farieb a že základné farby sú vlastne kombináciou troch základných farieb: červenej, modrej a zelenej. Pri druhej časti cvičenia je najlepšie nahráť súbor z Prílohy 1 do telefónu/tabletu a nechať žiakov, aby jeden po druhom pozorovali a skúmali rôzne farby. Ďalšou možnosťou je poslať Prílohu 1 žiakom vopred, aby ho mali na svojom telefóne/tablete. Cvičenia v druhej časti je možné zadať aj ako domácu úlohu s tým, že sa žiakom povie, aby pracovali so svojim rodičom, najprv našli farby na internete a potom ich preskúmali.

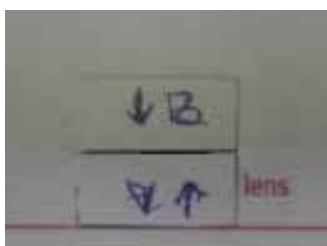
Pomôcky

- hrubý hárok papiera veľkosti A4
- vytlačený model spektroskopu (Príloha 1)
- CD alebo DVD
- lepiaca tyčinka
- pravítko
- nožnice
- lepiaca páska
- smartphone s fotoaparátom alebo tablet (voliteľné pre druhú časť cvičenia)
- pohár vody alebo lupy (pre druhú časť cvičenia)

Pokyny pre žiakov: V tomto cvičení urobíte spektroskop a použijete ho pre svoj vlastný výskum, ktorého výsledky prediskutujete so zvyškom triedy.

Ako zostaviť spektroskop (postup)

1. Prilepte model spektroskopu na hrubú vrstvu čierneho papiera tak, aby model smeroval nahor.
2. Vystrihnite model podľa vonkajších bodkovaných čiar.
3. Vystrihnite štrbinu pre šošovku – je to štvorec označený bodkovanými čiarami a krížikom, vedľa ktorého je nápis „lens“. Vyrežte štrbinu, cez ktorú sa budete pozeráť – je to štvorček označený bodkovanými čiarami a krížikom, vedľa ktorého je nakreslený ďalekohľad. Vystrihnite tiež aj jednu zo štrbín označených nápisom CD alebo DVD, v závislosti od toho, aký disk chcete použiť.



4. Vyrežte dva obdĺžniky označené písmenami A a B.
5. Pripojte obdĺžniky označené A a B k štrbine šošovky tak, aby vzdialenosť medzi nimi bola približne taká, ako je znázornená na obrázku. Uistite sa, že obdĺžniky sú narovnané (orientujte sa podľa čiary pod štrbinou), sú rovnobežné a šípky smerujú k sebe (ako na obrázku).
6. Pomocou pravítka zložte model podľa hrubých čiar, pričom čierny papier má byť z vnútornej strany modelu. Ohnite „ušká“ smerom dovnútra, aby podopreli steny.

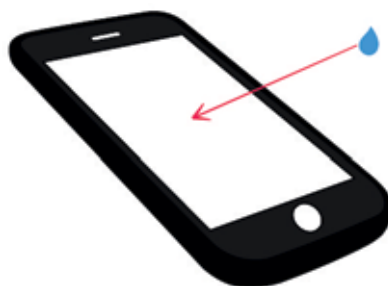


7. Oblepte všetky hrany lepiacou páskou, aby ste model zapečatili.
8. Vložte CD alebo DVD do otvoru určeného preň tak, aby strana na nahrávanie bola obrátená k šošovke (pozrite obrázky).
9. Zostavili ste spektroskop.

Skúmanie rôznych svetelných zdrojov

a) Je biele svetlo skutočne biele?

1. Nasmerujte šošovku spektroskopu na rôzne zdroje svetla v okolí. Pozrite sa cez otvor, aby ste uvideli rôzne farby svetla z rôznych zdrojov. Pomocou fotoaparátu telefónu si môžete urobiť fotku. Zaznamenajte, aké zdroje ste použili a aké farby ste videli z každého zdroja svetla.



2. Opatrne umiestnite malú kvapku vody alebo lupu na bielu obrazovku (na tablet alebo smartfón) tak, ako je to znázornené na obrázku. Pozrite sa pozorne na kvapku/lupu a na obrazovke uvidíte základné farby. Zaznamenajte, aké farby ste videli počas tohto experimentu.

b) Ako môžeme rozdeliť kompozitné farby na základné farby?

Malé štvorčeky, ktoré vidíte na obrazovke, sa nazývajú pixely. Farby, ktoré zvyčajne vidíte na obrazovke, sú zafarbené v zmesi červených, modrých a zelených pixelov. Pozrime sa, ako sa získavajú farby na obrazovke tabletu/smartfónu, aby sme zistili, ktoré zo základných farieb (červená, modrá a zelená) sa používajú na vytvorenie ostatných farieb.

1. Na obrazovke telefónu/tabletu postupne vystriedajte nasledujúce farby: žltá, cyanová alebo azúrová, magentová alebo purpurová. Nasmerujte spektroskop na každú farbu a v tabuľke nižšie označte značkou X, ktoré dve základné farby ste videli.

Základná farba			
Kompozitná farba			

2. Na obrazovke telefónu/tabletu postupne vystriedajte farby z tabuľky nižšie: žltá, cyanová alebo azúrová, magentová alebo purpurová. Nasmerujte spektroskop ku každej farbe (Príloha 1 – oranžová, tyrkysová, fialová, malinová, jarná zelená) a v tabuľke nižšie uvedte hlavné farby, ktoré ste videli a ohodnoťte ich koncentráciu v kompozitných farbách ako „nízku“, „strednú“ a „vysokú“. Ak chýba základná farba, pod ňu napíšte „nie je“.

Hlavná farba Kompozitná farba	Červená	Zelená	Modrá
Oranžová			
Tyrkysová			
Fialová			
Malinová			
Jarná zelená			

Diskutujte o svojich výsledkoch so zvyškom triedy.

Poznámka: V priloženom archíve pôvodného cvičebného balíčka existuje aj niekoľko aktivít pre mladších žiakov na zostavenie farebných koliesok, aby tak skúmali a porozumeli tomu, ako sa získavajú kompozitné farby zo základných farieb.

Úloha 2: Frekvencia a vlnová dĺžka – spojenie

Cvičenie je prevzaté zo stránky tréningových materiálov NASA. Vhodné pre starších žiakov (nad 12 rokov). Originál (v angličtine) nájdete tu: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/educators/lessons/roygbiv/>.

Cieľ úlohy

Žiaci nájdu a experimentálne potvrdia vzťah medzi frekvenciou a dĺžkou vln v elektromagnetickom spektre (EM spektrum). Zistia tiež, ako sa tieto dve dimenzie týkajú farieb v elektromagnetickom spektre.

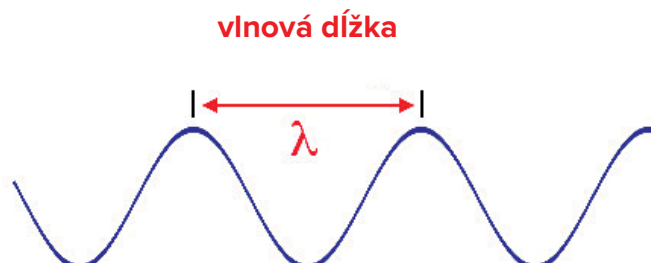
Pomôcky

- jedna pokladničná páska a papierová lepiaca páska (postačuje pre celú triedu)

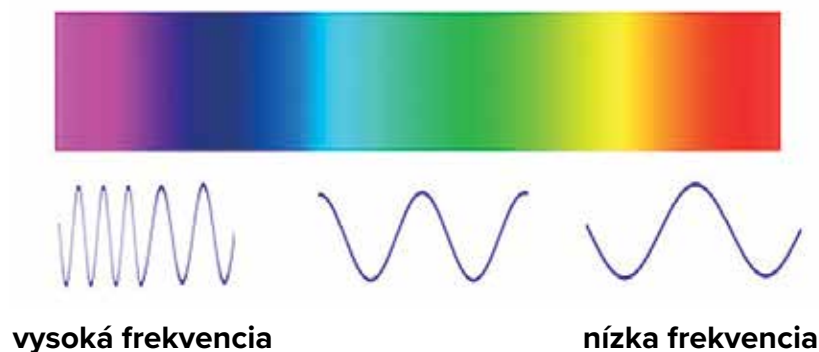
Každý žiak by mal mať

- sadu červenej, zelenej a fialovej ceruzky + čiernu ceruzku
- kus kartónu vo formáte A4
- nožnice
- štyri hrubšie učebnice alebo knihy
- hodinky s ručičkami
- vytlačené prílohy k cvičeniam (pracovný list, tabuľka, dotazník)

Metodické pokyny pre učiteľov



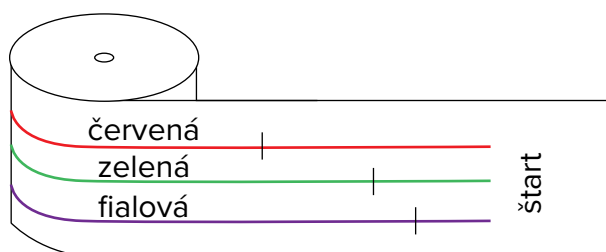
1. Dajte žiakom 5 minút popremýšľať o súvislostiach v rôznych oblastiach EM spektra a medzi samotnými oblasťami (môžete im ukázať obrázok s označením rôznych oblastí). Vedia si žiaci spomenúť na zariadenia, ktoré fungujú v rôznych oblastiach? Diskutujte 5 minút o výsledkoch.
2. Žiakom vysvetlite, že svetlo môžeme vnímať ako vlny, ktoré majú rôzne dĺžky a frekvencie. Dĺžka sa nazýva vzdialenosť medzi dvoma identickými bodmi pozdĺž vlny (napr. 2 vrcholy tak, ako je znázornené na obrázku).



3. Žiakom vysvetlite, že frekvencia je celkový počet vlnových dĺžok, ktoré prechádzajú určitým bodom za 1 sekundu (ilustrácia pojmu je daná na obrázku vyššie).

Svetlo sa pohybuje vždy rovnakou rýchlosťou, ale rôzne farby majú rôzne vlnové dĺžky a frekvencie. Rôzne dĺžky v podstate spôsobujú rozdelenie svetla na rôzne farby (svetelné spektrum). Môžete sa spýtať žiakov, ktorá farba má najkratšiu vlnovú dĺžku (môžete im ukázať obrázok, ktorý sa podobá obrázku vyššie). Odpoveď: červená.

4. Rozdajte prílohy a vysvetlite žiakom, že účelom cvičenia je ukázať konštantný vzťah medzi frekvenciou a vlnovou dĺžkou.
5. Rozdelte triedu do skupín s 3 žiakmi. Každá skupina si musí zvoliť, kto bude zodpovedný za údaje, kto bude zodpovedný za materiály a kto bude sledovať čas. Manažér času dohliada na rýchle a presné vykonanie cvičenia a v prípade potreby pomáha.
6. Manažér materiálov poskytuje všetky potrebné materiály (od učiteľa zoberie pokladničnú pásku a papierovú lepiacu pásku, zhromaždí ostatné materiály).
7. Manažér údajov prečíta pokyny a potom do rúk zoberie pokladničnú pásku dlhú 140 cm. Najprv odmeria 20 cm, nakreslí čiernu zvislú čiaru a napíše „Štart“. Ďalej odmeria ďalších 100 cm od počiatočnej zvislej čiary, nakreslí druhú čiernu zvislú čiaru a napíše „Koniec“. Do konca pokladničnej pásky by malo zostať 20 cm.

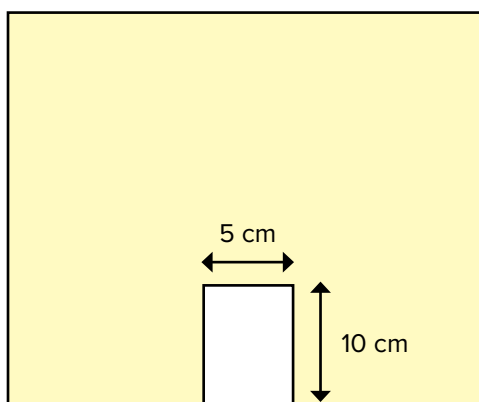


Poznámka: takto treba začať, označovať farby, kým nedosiahnete 100 cm.

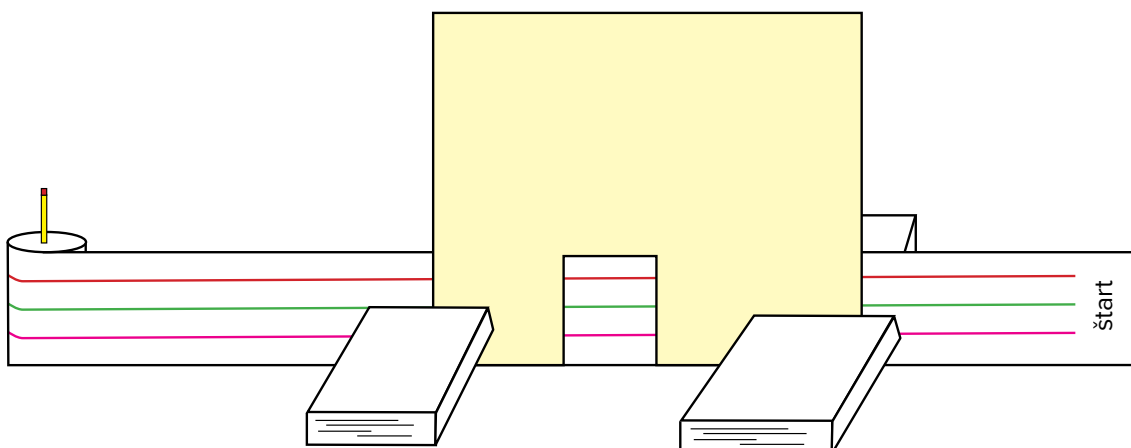
8. Manažér materiálov farebnými ceruzkami nakreslí tri vodorovné čiary (od počiatočnej po konečnú zvislú čiaru), ktoré sú od seba rovnomerne vzdialené, pričom horná čiara je červená, stredná zelená a najnižšia z nich je fialová, čo predstavuje tri rôzne oblasti svetelného spektra.
9. Manažér údajov každých 14 cm nakreslí menšie červené zvislé čiary na červenú vodorovnú čiaru. Ďalej každých 10 cm nakreslí menšie zelené zvislé čiary na zelenú vodorovnú čiaru, a každých 8 cm nakreslí menšie fialové zvislé čiary na fialovú vodorovnú čiaru. Tieto čiary budú predstavovať rôzne vlnové dĺžky rôznych farieb svetla.

10. Hvezdárne

10. Manažér materiálov papierovou lepiacou páskou prilepí koniec pásky (tam, kde je nápis „Koniec“) k ceruzke a to tak, aby sa mohla pokladničná páska navinúť na ceruzku.



11. Manažér údajov vezme kartón vo formáte A4. Potom oreže obdĺžnik v strede dlhej strany 10 cm dlhý a 5 cm široký (ako je to znázornené na ľavom obrázku).



12. Manažér materiálov pomocou manažéra času položí kartón s výrezmi vertikálne na lavicu a zaistí ho pomocou hrubších učebníc/knží. Pásku potom opatrne prešmykne medzi kartónom a spodnými knihami tak, aby značka „Štart“ na pokladničnej páske bola v strede otvoru urobeného v kartóne (pravý obrázok hore nie je presný, ale poskytuje predstavu o tom, kadiaľ prechádza pokladničná páska).
13. Manažér údajov zoberie tabuľku (je to jedna z vytlačených príloh) a sadne si pred kartón s otvorom.
14. Manažér času spustí experiment vyslovením slova „Štart“. Medzitým manažér materiálov pomaly a rovnomerne začne ťahať pokladničnú pásku od začiatku a manažér času začne odpočítavať čas v sekundách (pomocou hodiniiek).
15. Manažér údajov zaškrtnie príslušné políčko v tabuľke zakaždým, keď v otvore uvidí vlnovú dĺžku. Keď sa objaví značka „Koniec“, povie manažérovi času, aby zastavil odpočítanie času.
16. Každá trojica urobí jednu skúšku a potom trikrát urobí experiment.
17. Manažér údajov zistí a do tabuľky zapíše celkový počet vlnových dĺžok tak, ako ich bolo vidieť pre každú farbu, ako aj priemerný čas (v sekundách) od začiatku až po koniec experimentu.

18. Všetci spoločne určia frekvenciu pre každú z farebných svetelných vln (počet vlnových dĺžok, ktoré prešli určitým bodom, teda cez otvor v kartóne, po dobu 1 sekundy). Manažér údajov to zapíše do tabuľky.
19. Po ukončení cvičenia rozdajte žiakom vytlačený dotazník, ktorý musí každý žiak samostatne vyplniť. Dotazník môže byť považovaný za hodnotiaci test a po jeho vyplnení žiaci môžu o (ne)správnych odpovediach diskutovať.

PRÍLOHA

