

Krajské kolo 2020/21, kategorie AB (3. a 4. ročník SŠ)

Identifikace

Na každý list se zadáním nebo řešením napište dolů svoje jméno, příjmení a identifikátor. Neoznačené listy nebudou opraveny!

Student

jméno: _____ příjmení: _____ identifikátor: _____

Škola

název: _____ město: _____ PSČ: _____

Hodnocení

A ___ B ___ C ___ D ___ Σ (100 b.) ___

Účast v AO se řídí organizačním řádem, č.j. MŠMT – 14 896/2012-51. Organizační řád a propozice aktuálního ročníku jsou k dispozici na <http://olympiada.astro.cz>.

Milé řešitelky, milí řešitelé,

vítáme vás u řešení úloh krajského kola kategorie AB 18. ročníku Astronomické olympiády!

Narozdíl od minulých let se letos krajské kolo kvůli koronavirové situaci skládá pouze z korespondenční části, tedy přehledového online testu (úloha A), dvou teoretických úloh (B a C) a jedné praktické (úloha D). Úlohy tento rok rovněž nebudete posílat v obálce klasickou poštou, ale naskenované je uploadujete skrze naše webové rozhraní.

Neformální dění okolo olympiády můžete sledovat na naší [Facebookové stránce](#) a také na [Instagramu](#). Prostřednictvím zpráv je zde možné klást dotazy přímo Ústřední komisi.

I letos stojí za to si připomenout celou řadu astronomických událostí a pokud tak učiníte kliknutím na přiložené odkazy, jistě se něco zajímavého dozvíte! Některé se staly inspirací pro zadání úloh tohoto kola:

- 22. října 2020 tomu bylo 45 let od přistání sovětské sondy *Veněra 9* na povrchu *Venuše*,
- připomínáme si 85 let od udělení Nobelovy ceny za fyziku *Victoru Hessovi* za objev *kosmického záření*.

Z předpověditelných astronomických úkazů v roce 2021 zmiňme například konjunkci Jupiteru a Merkuru, která bude nejlépe pozorovatelná nad ránem 5. března nad východním obzorem. Planety se k sobě přiblíží až na 0,35°, k pozorování doporučujeme použít trieder. Za zmínku stojí rovněž tzv. superúplněk, který nastane 5. května: v tento den se bude Měsíc nacházet v perigeu a zároveň v plné fázi.

Přejeme vám bystrou mysl a mnoho příjemných chvil při řešení všech úloh! ☺

Ústřední komise Astronomické olympiády

Důležité kontakty:

- Internetové stránky a e-mail Astronomické olympiády:
<http://olympiada.astro.cz>, olympiada@astro.cz
- Webová adresa pro upload naskenovaných řešení úloh:
<https://olympiada.astro.cz/korespondencni>

Termín odeslání: 20. 3. 2021

Celkem lze v krajském kole získat maximálně **100 bodů**. Do celostátního kola postupuje 20 nejlepších řešitelů krajských kol, kteří získali nenulový počet bodů z praktické úlohy.

Krajské kolo 2020/21, kategorie AB (3. a 4. ročník SŠ)

A Přehledový test

(max. 30 bodů)

Úvodní test se řeší online na <http://olympiada.astro.cz/korespondencni>. Přihlašovací údaje přišly úspěšným řešitelům školního kola e-mailem nebo je dostanete od svého učitele, který je může zjistit v sekci pro učitele na <http://olympiada.astro.cz/ucitel>. Velmi doporučujeme řešení testu neodkládat na poslední dny před uzávěrkou. U problémů s řešením testu oznámených po **13. 3. 2021** bohužel nemůžeme zaručit jejich včasné vyřízení.

B Veněra 9

(max. 20 bodů)

Před 45 lety, 22. října 1975, dosedl na povrch Venuše přistávací modul sondy Veněra 9. Sovětský program Veněra byl velice úspěšný a značně rozšířil naše poznatky o Venuši. Konkrétně přistávací modul Veněra 9 pořídil první fotografie z povrchu planety a orbitální sekce sondy se stala první umělou družicí Venuše.

Program Veněra trval přes dvě desetiletí v letech 1961 až 1983 a během té doby se sondy pochopitelně zdokonalovaly. Sonda Veněra 9 byla první z řady, která byla vynesena silnější raketou Proton, takže mohla být pětkrát hmotnější než předchozí mise. Celá sonda při vzletu vážila 4 936 kg, z toho 1 560 kg připadlo na přistávací modul (i s tepelným štítem), 2 231 kg patřilo orbitální části a zbytek hmotnosti tvořilo palivo. Raketový motor sondy dokázal vyvinout tah 18 900 N.

Nejvýhodnější způsob přesunu mezi dvěma blízkými kruhovými oběžnými drahami je Hohmannova trajektorie¹. Je to půlelipsa, jež se tečně dotýká obou kruhových drah.

a) Spočítejte velkou poloosu a excentricitu Hohmannovy elipsy pro přelet od Země k Venuši.

Předpokládejte, že nosná raketa vynesla sondu dostatečně daleko od Země, že její gravitační vliv můžeme zanedbat. Sonda se teď pohybuje okolo Slunce po stejné dráze jako Země.

b) O kolik se musí snížit rychlost sondy, aby přešla na Hohmannovu trajektorii k Venuši?

Během příletu na kolizním kurzu k Venuši se oddělí přistávací modul. Orbitální část je pak navedena na oběžnou dráhu okolo Venuše. Ve vzdálenosti 112 200 km nad povrchem planety se spustí raketový motor a převede orbitální část na dráhu s apocentrem v tomto bodě a pericentrem ve výšce 1 510 km nad povrchem Venuše.

c) Jak se musí změnit rychlost sondy, aby přešla na tuto oběžnou dráhu okolo Venuše?

Tyto dva manévry (přechod na Hohmannovu elipsu a přechod na oběžnou dráhu kolem Venuše) stojí bez pochyby velké množství paliva. První změnu dráhy provedl ještě poslední stupeň nosné rakety, manévr u Venuše už však musel provést vlastní raketový motor orbitální části. Teď zanedbejte palivo použité na korekce dráhy během letu a předpokládejte, že všechno palivo bylo spotřebováno při tomto manévru.

¹https://cs.wikipedia.org/wiki/Hohmannova_elipsa



Krajské kolo 2020/21, kategorie AB (3. a 4. ročník SŠ)

d) Jaká by musela být výtoková rychlost spalin? Změna rychlosti rakety v závislosti na množství spotřebovaného paliva a rychlosti spalin je popsána Ciolkovského rovnicí.² Přistávací modul nenesl žádné palivo.

Přistávací modul vstoupil do atmosféry Venuše ve výšce 125 km rychlostí $10,7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

e) Spočítejte celkové množství energie uvolněné při sestupu sondy atmosférou. Vypočítejte též množství uvolněné energie na jednotku hmotnosti. Diskutujte, zda je možné, aby se tato energie proměnila výhradně na teplo.

C Kosmická sprška

(max. 20 bodů)

Letos tomu bude 85 let od doby, kdy rakouský fyzik Victor F. Hess získal Nobelovu cenu za objev kosmického záření. Od té doby jsme se dozvěděli o kosmickém záření mnoho, a to třeba i díky projektům, jako je například H.E.S.S (High Energy Spectroscopy System), což je soustava několika teleskopů v Namibii, která má za úkol pozorovat Čerenkovovské fotony vyprodukované ve sprškách kosmického záření.

Kosmická sprška je jev, kdy vysokoenergetická částice pronikne do zemské atmosféry, kde způsobí vznik kaskády částic a elektromagnetického záření. Tyto spršky jsou na zemi různými způsoby detekovány a díky tomu se můžeme dozvídat více o částicích, které spršky způsobily a též o zdrojích těchto částic. Pokud se jedná o čistě elektromagnetickou spršku vyvolanou například ultra-relativistickým elektronem může následně docházet k těmto interakcím

$$\begin{aligned} e^- &\longrightarrow e^- + \gamma, \\ \gamma &\longrightarrow e^+ + e^-, \\ e^+ &\longrightarrow e^+ + \gamma. \end{aligned}$$

Řečeno slovy: primární elektron je zpomalen vlivem interakcí s atomy v zemské atmosféře. Při tom vyzařuje brzdné záření (fotony) γ dokud se nezastaví (první rovnice). Vyprodukované brzdné fotony produkují elektron-pozitronové páry. Při takovéto interakci brzdný foton zanikne, ale vzniknou dvě nové částice: elektron a pozitron (druhá rovnice). Vyprodukované pozitrony interagují podobně jako elektrony. Produkují brzdné záření, dokud se úplně nezastaví (třetí rovnice). A celý proces se opakovaně aplikuje pro všechny nově vzniklé částice. Při tom standardně platí zákony zachování.

Sprška dosáhne maxima intenzity³, pokud pravděpodobnost produkce elektron-pozitronových párů je stejná jako pravděpodobnost ionizace atomů v zemské atmosféře. K tomu dochází při takzvané kritické energii, která je rovna $E_c = 80 \text{ MeV}$. Jedna interakce (libovolná z výše popsaných) proběhne v průměru na vzdálenosti X . Tuto vzdálenost nazýváme radiační délka a v atmosféře je rovna $X = 304 \text{ m}$.

a) Představte si, že do zemské atmosféry vlétnul elektron s energií $E_{\text{in}} = 1 \text{ TeV}$ a k primární interakci došlo ve výšce $H_0 = 15 \text{ km}$ nad zemským povrchem. Na základě výše uvedených předpokladů odhadněte, v jaké výšce nad zemským povrchem dosáhne sprška maxima intenzity.

²https://cs.wikipedia.org/wiki/Ciolkovsk%C3%A9_rovnice

³Jedná se o hloubku v zemské atmosféře, kdy vzniká nejvíce částic.

Krajské kolo 2020/21, kategorie AB (3. a 4. ročník SŠ)

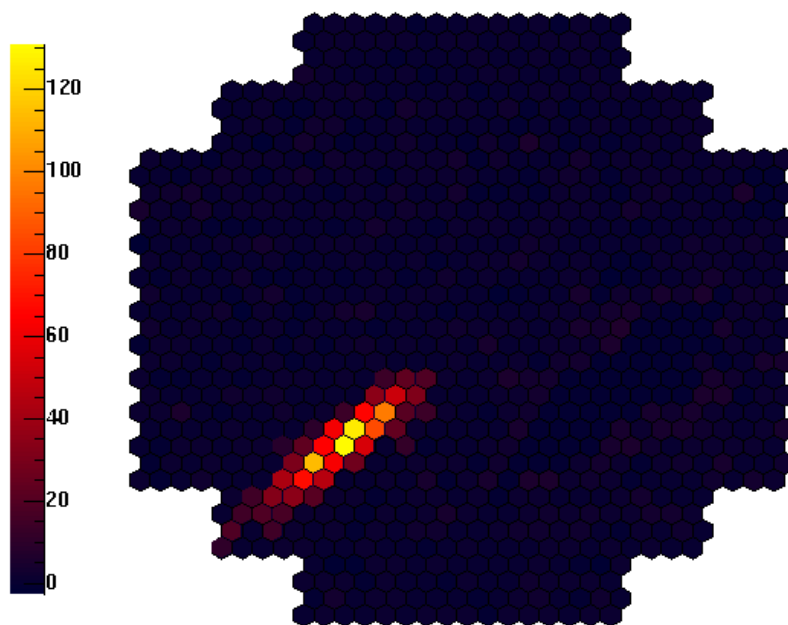
Pokud některá z vyprodukovaných částic překročí rychlost světla v atmosféře, vzniká Čerenkovovo záření. Představte si, že bychom chtěli postavit observatoř, která by se skládala z několika dalekohledů (podobně jako experiment H.E.S.S.) a chtěli bychom, aby jedna sprška byla pozorována více dalekohledy najednou, abychom mohli pozorovat stereoskopický obraz.

b) Přibližně odhadněte průměr kruhové plochy na Zemi, kterou má smysl pokrýt dalekohledy tak, abychom měli dalekohledy co nejdále od sebe (pro lepší stereoskopický efekt), ale naopak aby plocha nebyla zbytečně velká (větší pokrytá plocha znamená potřebu více dalekohledů a větší náklady na stavbu observatoře). Svoji odpověď zdůvodněte a podložte výpočtem. Uvažujte parametry spršky z předchozí úlohy a předpokládejte, že sprška v atmosféře téměř nepokračuje po tom, co dosáhne maxima a že většina vyprodukovaných částic je koncentrována v těsné blízkosti osy spršky. Též je známo, že čerenkovovské fotony jsou vyzařovány izotropně v celé délce spršky. Index lomu atmosféry ve výšce, kde běžně vzniká sprška, berte $n = 1,0001$.

Nápověda: Čerenkovovo záření je vyzařováno do kuželu s dobře definovaným vrcholovým úhlem.

Teleskop A určený pro pozorování čerenkovovských fotonů vzniklých ve spršce zachytil následující událost (vizte obrázek 1). Snímek zabírá ve směru vertikální osy 5° na obloze. Dalekohled mířil přímo do zenitu. Ze snímku z teleskopu B, který pozoroval spršku z místa kousek vedle, bylo určeno, že osa spršky směřovala kolmo k povrchu Země a procházela ve vzdálenosti $b = 100$ m od středu zrcadla teleskopu A.

c) Odhadněte lineární rozměr této spršky (t.j. vzdálenost od první interakce primární částice až po místo zániku spršky).



Obrázek 1: Snímek spršky z čerenkovovského teleskopu. Barevná škála určuje intenzitu záření, která byla detekována daným obrazovým elementem, v jednotkách počtu vytvořených fotoelektronů na daném obrazovém elementu. Adaptováno na základě snímku dostupného na <https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>

d) Odhadněte nejistotu určení lineárního rozměru spršky z předchozí úlohy. Na základě vypočtené



Krajské kolo 2020/21, kategorie AB (3. a 4. ročník SŠ)

nejistoty též uveďte lineární rozměr vypočtený v předchozí úloze ve vhodném tvaru (výsledek udaný na vhodný počet platných číslic \pm nejistota).

Pokud je primární částicí hadron, vznikají v interakcích π mezony, jejichž rozpadem dochází k produkci mionů. Uvažujte, že energie vyprodukovaného mionu je $E_\mu = 4,8 \text{ GeV}$ a jeho doba života (měřeno v klidové soustavě mionu) je $\tau = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

- e) Jakou dobu života mionu změří pozorovatel na Zemi, který stojí přímo v ose kosmické spršky?
- f) V jaké maximální výšce nad Zemí může mion z předchozí úlohy vzniknout, aby ho bylo možné na Zemi detekovat?

D Velikost Měsíce (praktická)

(max. 30 bodů)

Tématem této úlohy bude měření úhlové velikosti Měsíce a jejích změn v čase, k čemuž využijete fotoaparát na stativu. Na základě výsledků svých měření následně určíte excentricitu oběžné dráhy Měsíce kolem Země.

- a) Do vašeho řešení uveďte značku a typ fotoaparátu, který použijete.
- b) Pro účely měření nastavte fixní ohniskovou vzdálenost objektivu (zoom) a rozlišení fotografií. Tyto parametry zvolte vhodným způsobem tak, aby byl efekt změny úhlové velikosti Měsíce mezi perigeem a apogeem měřitelný. Hodnoty těchto parametrů zaznamenejte do vašeho řešení.
- c) Pořídte několik snímků Měsíce co nejbliže perigeu a apogeu (využijte hvězdářskou ročenku nebo internet k vyhledání okamžiků perigea a apogea). U každého snímku zaznamenejte čas a místo pořízení snímku.
- d) Pro každý snímek určete velikost Měsíce v pixelech.
- e) Určete průměrné hodnoty velikosti D_p a D_a Měsíce v pixelech v perigeu a v apogeu. Odhadněte nejistoty ΔD_p a ΔD_a získaných hodnot.
- f) Na základě získaných dat určete numerickou excentricitu e dráhy Měsíce kolem Země a její nejistotu Δe .
- g) Jak bychom mohli korigovat chybu, kterou vnášíme do výsledku zanedbáním konečného rozměru Země?