

1. Ile razy w roku na biegunie północnym wschodzi Słońce?

- a) 1 raz
- b) 2 razy
- c) około 182 razy
- d) 365 razy
- e) Żadna odpowiedź nie jest poprawna

autorka: Zofia Lamęcka

Odpowiedź: Zapewne większość uczestników słyszała o dniu i nocy polarnej – zjawiskach, do których dochodzi powyżej koła podbiegunowego, kiedy to przez pewien czas Słońce odpowiednio nie zachodzi, bądź nie wschodzi powyżej horyzontu w ciągu doby. Czas trwania zjawiska zależy od szerokości geograficznej – im dalej od równika, tym dłużej mogą trwać dzień i noc polarna. Graniczny przypadek jest właśnie na biegunach, gdzie rok dzieli się na dwie połowy – przez pół roku biegun jest zwrócony ku Słońcu i trwa dzień, a przez drugą połowę jest skierowany od Słońca i trwa noc. W takim razie Słońce wschodzi jedynie raz, kiedy rozpoczynamy „pół roku dnia”, co dla bieguna północnego ma miejsce w czasie równonocy wiosennej.

2. Która z poniższych planet nie posiada żadnych odkrytych księżyców?

- a) **Wenus**
- b) Ziemia
- c) Mars
- d) Jowisz
- e) Uran

autor: Michał Jagodziński

Odpowiedź: Jedynymi planetami nieposiadającymi odkrytych księżyców w Układzie Słonecznym są dwie planety najbliższe Słońcu – Merkury i Wenus. Wszystkie pozostałe planety mają naturalne satelity je orbitujące. Ziemia poszczycić się może jednym, (dużym, 5. co do wielkości w Układzie Słonecznym) Księżycem. Mars posiada dwa niewielkie księżyce – Fobos i Deimos. Planety zewnętrzne charakteryzują się znacznie większą liczbą odkrytych księżyców. Na moment pisania rozwiązania, Jowisz ma ich około 100, Saturn ponad 250, Uran około 30, a Neptun około 15. Warto wspomnieć także o byłej planecie, a dziś planecie karłowatej, Plutonie. Mimo swoich niewielkich rozmiarów, krąży wokół niego aż 5 księżyców, w tym 12. największy księżyc w Układzie Słonecznym – Charon.

3. Gdzie, w dzień przesilenia letniego na półkuli północnej, dzień trwa najdłużej?

- a) na zwrotniku Raka ($\varphi = 23^\circ 26'$)
- b) na zwrotniku Koziorożca ($\varphi = -23^\circ 26'$)
- c) **na biegunie północnym ($\varphi = 90^\circ$)**
- d) na biegunie południowym ($\varphi = -90^\circ$)
- e) na równiku ($\varphi = 0^\circ$)

autor: Michał Jagodziński

Odpowiedź: Dzień przesilenia letniego na półkuli północnej przypada 20/21 czerwca. Tego dnia na terenie całego koła podbiegunowego północnego (w tym na biegunie północnym) obserwujemy zjawisko dnia polarnego (tj. Słońce znajduje się przez 24 godziny ponad horyzontem), zaś na terenie koła podbiegunowego południowego Słońce wcale nie wschodzi (przez co najmniej 24 godziny). W szczególności na biegunach, zgodnie z zadaniem 1. tego arkusza, Słońce wschodzi dokładnie raz, a dzień trwa pół roku. Zatem spośród wymienionych opcji to właśnie na biegunie północnym dzień trwa najdłużej, gdyż trwa cały dzień. Na biegunie południowym jest wtedy noc. Na zwrotnikach dnia 21 czerwca dzień trwa odpowiednio: ok. 13,5 godziny na zwrotniku Raka i ok. 10,5 godziny na zwrotniku Koziorożca. Na równiku zaś dzień zawsze trwa 12 godzin, niezależnie od daty.

4. Która z poniższych jednostek nie jest jednostką czasu?

- a) doba gwiazdowa
- b) rok świetlny**
- c) nanosekunda
- d) minuta
- e) gigagodzina

autor: Krzysztof Król

Odpowiedź: Doba gwiazdowa to czas obrotu Ziemi wokół własnej osi względem odległych gwiazd, równy około 23 godziny i 56 minut. Nanosekunda to 10^{-9} sekundy, minuta to 60 sekund, a gigagodzina to 10^9 godzin. Rok świetlny to jednostka długości, równa odległości, jaką przebywa światło w próżni w ciągu roku, $1 \text{ ly} \approx 9,5 \times 10^{15} \text{ m}$.

5. Która planeta Układu Słonecznego zawsze znajduje się najbliżej Ziemi?

- a) Merkury
- b) Wenus
- c) Mars
- d) Neptun
- e) Żadna odpowiedź nie jest poprawna**

autor: Olaf Krupiński

Odpowiedź: Kluczem, a zarazem pułapką w tym zadaniu było słowo „zawsze”, gdyż miano planety najbliższej Ziemi zależy od tego, kiedy zadajemy to pytanie. Spójrzmy na to bliżej. Rozważamy orbity kołowe, wówczas najbardziej sensowni kandydaci najbliższej Ziemi planety: Merkury, Wenus, Mars mają promienie orbity równe odpowiednio (w przybliżeniu): 0,4 au, 0,7 au, 1,5 au; oczywiście promień orbity Ziemi jest równy 1 au. Interesować nas będą dwie skrajne konfiguracje jednej z tych planet, w których jest ona najbliżej / najdalej od Ziemi. Pierwsza sytuacja ma miejsce, gdy Ziemia i planeta znajdują się po jednej stronie Słońca, zaś druga gdy znajdują się po przeciwnych stronach Słońca (w obu przypadkach planeta, Słońce i Ziemia znajdują się na jednej prostej). Po przeanalizowaniu tych skrajnych przypadków, można zauważyć że:

$$d_{\min} = |r - r_{\oplus}|$$

$$d_{\max} = r + r_{\oplus}$$

gdzie r jest promieniem orbity planety, a $r_{\oplus}$ promieniem orbity Ziemi. Po przeliczeniu powyższych wielkości dla Merkurego, Wenus, Marsa otrzymamy:

$$0,6 \text{ au} < d_{\text{Merkury}} < 1,4 \text{ au}$$

$$0,3 \text{ au} < d_{\text{Wenus}} < 1,7 \text{ au}$$

$$0,5 \text{ au} < d_{\text{Mars}} < 2,5 \text{ au}$$

i od razu widać że dla każdej z tych planet da się znaleźć sytuację dla której jest ona najbliższą Ziemi, co oznacza że musimy zaznaczyć odpowiedź e).

Czytelnikom, którzy chcą głębiej zrozumieć i wyobrazić sobie względne ustawienie planet, polecamy stronę internetową z symulacją zjawiska. Smacznego!

6. Do astronauty znajdującego się na Marsie wysłano wiadomość z Ziemi. Wiedząc, że promień orbity Marsa wokół Słońca wynosi 1,5 jednostki astronomicznej (au), prędkość światła to w przybliżeniu 300 000 km/s, a 1 au = 150 000 000 km, oszacuj, jaki jest minimalny czas od chwili wysłania wiadomości, po jakim można się spodziewać odpowiedzi.

- a) 250 sekund
- b) 500 sekund**
- c) 750 sekund
- d) 1000 sekund
- e) 1500 sekund

autor: Piotr Jędrzejczyk

Odpowiedź: Odpowiedź na wiadomość przyjdzie najszybciej wtedy, kiedy Mars będzie położony najbliżej Ziemi. Ma to miejsce wtedy, kiedy znajduje się on po przeciwnej stronie Ziemi niż Słońce. Odległość między Ziemią a Marsem jest wtedy równa różnicy promieni orbit obu planet, więc wynosi ona $d = 0,5$ au. Przy założeniu, że odpowiedź wysyłana jest na Ziemię natychmiast po odebraniu wiadomości, odstęp czasu pomiędzy chwilą wysłania wiadomości a momentem otrzymania odpowiedzi równy jest czasowi, jakiego potrzebuje światło na pokonanie dwukrotności d i ma wartość:

$$\Delta t = \frac{2d}{c} = \frac{1 \text{ au}}{300\,000 \text{ km/s}} = \frac{150\,000\,000 \text{ km}}{300\,000 \text{ km/s}} = 500 \text{ s.}$$

7. Pluton i Charon to przykład układu podwójnie związanego pływowo. Oba ciała mają okres obrotu wokół własnej osi zbliżony do okresu obiegu wspólnego środka masy, przez co Pluton jest zawsze zwrócony tą samą stroną do Charona, a Charon do Plutona. Przykładem układu związanego pływowo jest:

- a) Ziemia i Słońce
- b) Ziemia i Księżyc**
- c) Mars i Słońce
- d) Jowisz i Saturn
- e) Uran i Neptun

autor: Krzysztof Król

Odpowiedź: Takim układem jest właśnie Ziemia i Księżyc. Księżyc jest w przybliżeniu stale zwrócony do Ziemi tą samą stroną, obiega Ziemię z okresem równym swojemu okresowi obrotu wokół własnej osi. Nie jest to jednak układ podwójnie związany pływowo.

W Układzie Słonecznym znany jeszcze kilka takich układów. Eris i Dysnomia są podwójnie związane pływowo, a związane pływowo ze swoją planetą są oba księżyce Marsa, 8 księżyców Jowisza (w tym wszystkie cztery księżyce galileuszowe), 15 księżyców Saturna, 5 księżyców Urana i 2 księżyce Neptuna.

8. Mars jest w przybliżeniu dziesięciokrotnie lżejszy od Ziemi, a Ziemia jest około 300 000 razy lżejsza od Słońca. Pewnego dnia Mars znalazł się w odległości 0,5 jednostki astronomicznej od Ziemi. Oszacuj, ile razy słabsza jest siła grawitacji między Ziemią a Marsem od siły grawitacji między Ziemią a Słońcem w opisanej sytuacji.

- a) 750 000 razy
b) 1 200 000 razy
c) 1 500 000 razy
d) 6 000 000 razy
e) 12 000 000 razy

autor: Michał Jagodziński

Odpowiedź: Jak wiadomo, siłę przyciągania grawitacyjnego można opisać następującym wzorem: $F = \frac{GMm}{r^2}$, gdzie M i m – masy ciał przyciągających się, r – odległość między nimi oraz G – stała grawitacji. Jeśli $M_{\oplus}$ – masa Ziemi, zapisujemy wartość siły grawitacji między Ziemią a Słońcem:

$$F_{Z-S} = \frac{GM_{\oplus} \cdot 300000M_{\oplus}}{1 \text{ au}^2} = GM_{\oplus}^2 \frac{300000}{1 \text{ au}^2}.$$

Podobnie czynimy dla siły przyciągania między Ziemią a Marsem:

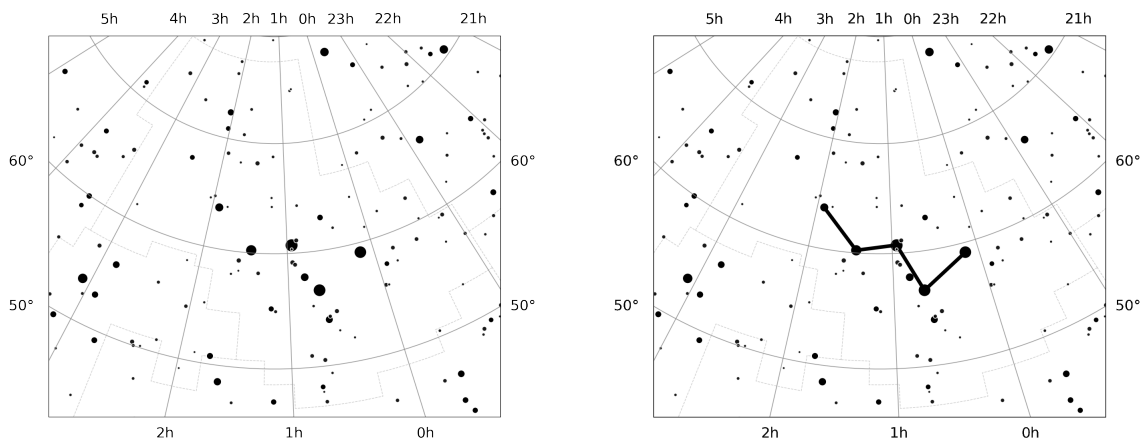
$$F_{Z-M} = \frac{GM_{\oplus} \cdot \frac{1}{10}M_{\oplus}}{(0,5 \text{ au})^2} = GM_{\oplus}^2 \cdot \frac{1}{10 \cdot 0,25 \text{ au}^2} = GM_{\oplus}^2 \cdot \frac{1}{2,5 \text{ au}^2}$$

Aby rozwiązać zadanie wystarczy podzielić przez siebie obliczone wartości:

$$\frac{F_{Z-S}}{F_{Z-M}} = \frac{GM_{\oplus}^2}{GM_{\oplus}^2} \cdot \frac{300000}{1 \text{ au}^2} \cdot \frac{2,5 \text{ au}^2}{1} = 300000 \cdot 2,5 = 750000.$$

Siła, z jaką Mars przyciąga wówczas Ziemię jest więc 750000 razy słabsza od siły grawitacji między Ziemią a Słońcem.

9. Jaki gwiazdozbiór przedstawiono na poniższych rysunkach? Na lewym rysunku przedstawiono jego gwiazdy wraz z naniesionymi granicami gwiazdozbioru ustalonymi przez IAU (ang. *International Astronomical Union*, Międzynarodowa Unia Astronomiczna) i siatką współrzędnych równikowych, a na prawym rysunku dorysowano jeden z popularnych sposobów przedstawiania tego gwiazdozbioru.





- a) Waga (Lib)
- b) Kasjopea (Cas)**
- c) Mewa (Lar)
- d) Wąż (Ser)
- e) Andromeda (And)

autor: Michał Jagodziński

Odpowiedź: Kasjopea to jeden z najjaśniejszych i najłatwiej rozpoznawalnych gwiazdozbiorów na nocnym niebie. Z Polski widoczna jest przez cały rok (to tzw. gwiazdozbiór okołobiegunowy). Znajduje się w pobliżu takich znanych konstelacji jak: Andromeda, Perseusz czy Mała Niedźwiedzica. To właśnie w gwiazdozborze Andromedy znajduje się znana Galaktyka Andromedy (M31). Gwiazdozbiór Wagi to jeden z gwiazdozbiorów ekliptycznych (zodiakalnych), a gwiazdozbiór Węża to jedyny gwiazdozbiór składający się z dwóch odrębnych, niepołączonych ze sobą części. Konstelacja Mewy w ogóle nie istnieje.

10. Prawo Stefana-Boltzmannia pozwala obliczyć moc wypromieniowywaną przez ciało doskonale czarne. Dla doskonale czarnej kuli:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4,$$

gdzie L to moc wyrażana w watach (W), R to jej promień wyrażany w metrach (m), σ to stała Stefana-Boltzmannia, a T to jej temperatura wyrażana w kelwinach (K). Jaka jest jednostka stałej Stefana-Boltzmannia σ ?

- a) Wm^2K^4
- b) Wm^{-2}K^4
- c) Wm^2K^{-4}
- d) $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$**
- e) W^2m

autor: Krzysztof Król

Odpowiedź: Dzielimy obustronnie przez $R^2 T^4$ dostajemy:

$$\frac{L}{R^2 T^4} = 4\pi\sigma.$$

Interesują nas tutaj tylko jednostki, a wyrażenie 4π jest bezwymiarowe. Po lewej stronie mamy L wyrażane w W, $\frac{1}{R^2}$ wyrażane w m^{-2} i $\frac{1}{T^4}$ wyrażane w K^{-4} . W takim razie po lewej stronie mamy wyrażenie, którego jednostka to $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$, taka więc jest też jednostka stałej Stefana-Boltzmannia σ .

11. Pomiędzy orbitami jakich planet znajduje się pas planetoid?

- a) Merkurego i Wenus
- b) Wenus i Ziemi
- c) Ziemi i Marsa
- d) Marsa i Jowisza**
- e) Jowisza i Saturna

autorka: Zofia Lamęcka

Odpowiedź: Pas planetoid to obszar w Układzie Słonecznym, który składa się z wielu drobnych obiektów (w tym planet karłowatych). Znajduje się on między orbitami Marsa i Jowisza.

12. Długość geograficzna Lizbony wynosi $\lambda_L = 9^\circ\text{W}$, a Warszawy $\lambda_W = 21^\circ\text{E}$. Słońce góruje w Lizbonie:

- a) dwie godziny wcześniej niż w Warszawie.
- b) godzinę wcześniej niż w Warszawie.
- c) godzinę później niż w Warszawie.
- d) dwie godziny później niż w Warszawie.**
- e) zależy to od pory roku.

autor: Piotr Jędrzejczyk

Odpowiedź: Ziemia obraca się z zachodu na wschód (przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, patrząc od północy), zatem w Lizbonie Słońce będzie górowało później niż w Warszawie. Różnica długości geograficznych miast wynosi 30° , i o taki kąt obraca się, względem Słońca, Ziemia między górowaniami. Pełen obrót Ziemi wokół własnej osi zajmuje (względem Słońca) 24 godziny, więc szukany odstęp między górowaniami wyniesie:

$$\Delta t = \frac{30^\circ}{360^\circ} \cdot 24 \text{ h} = 2 \text{ h},$$

zatem poprawną odpowiedzią jest d).

13. Kwadrat okresu orbitalnego planety (dla Ziemi równy jeden rok) jest wprost proporcjonalny do trzeciej potęgi promienia orbity tej planety. Ile wynosi okres orbitalny obiektu o pięciokrotnie większym promieniu orbity niż Ziemia?

- a) ok. 3 lata
- b) ok. 4 lata
- c) ok. 7 lat
- d) ok. 11 lat**
- e) ok. 18 lat

autor: Michał Jagodziński

Odpowiedź: Jeśli okres orbitalny pewnej planety oznaczmy jako T a jej promień orbity jako r , zależność proporcjonalności z zadania możemy zapisać w ten sposób: $T^2 = C \cdot r^3$, gdzie C jest pewną stałą (proporcjonalności) lub, równoważnie, $T^2/r^3 = C = \text{const}$. Zależność ta jest prawdziwa zarówno dla Ziemi, jak i dla analizowanego hipotetycznego obiektu o pięciokrotnie większym promieniu orbity niż Ziemia. Niech odtąd $T_\oplus$ oznacza okres orbitalny Ziemi (jeden rok), a promień orbity Ziemi (równy jednej jednostce astronomicznej) oznaczmy przez $r_\oplus$. Możemy wtedy zapisać:

$$\frac{1 \text{ rok}^2}{r_\oplus^3} = \frac{(1 \text{ rok})^2}{r_\oplus^3} = \frac{T_\oplus^2}{r_\oplus^3} = C = \frac{T^2}{r^3} = \frac{T^2}{(5r_\oplus)^3} = \frac{T^2}{125r_\oplus^3}$$

Mnożąc obie strony przez $125r_\oplus^3$, otrzymujemy: $125 \text{ lat}^2 = T^2$, zatem $T = \sqrt{125} \text{ lat} \approx 11 \text{ lat}$. W celu ustalenia tej wartości uczestnicy mogli skorzystać z kalkulatora prostego z funkcją pierwiastkowania lub zauważyć, że liczba 125 znajduje się pomiędzy liczbą $11^2 = 121$ a $12^2 = 144$ i podstawie tego, oraz dostępnych odpowiedzi, poprawnie rozwiązać zadanie.

Zależność podana w zadaniu znana jest ogólnie jako III prawo Keplera i jest prawdziwa dla wszystkich ciał krążących wokół tego samego (!) masywnego ciała centralnego, np. dla wszystkich obiektów krążących wokół Słońca. W przypadku różnych mas masywnego ciała centralnego zmienia się stała C – np. nie można w ten sposób porównywać jednego obiektu krążącego wokół Słońca do planet w układzie TRAPPIST-1.

14. Rakieta firmy SpaceX, Starship, po zatankowaniu posiada masę około 5000 ton. Rakietę mają napędzać silniki Raptor 3, z których każdy ma mieć 2800 kN siły ciągu. Ile minimalnie takich silników musiałaby posiadać rakietę, aby mogła oderwać się od ziemi?

a) 2
b) 13
c) 18
d) 33
e) 127

autorka: Zofia Lamęcka

Odpowiedź: Na raketę w zadaniu działają dwie przeciwnie skierowane siły. W kierunku powierzchni działa siła przyciągania grawitacyjnego, równa iloczynowi masy i przyspieszenia grawitacyjnego $F_g = mg$. Przeciwstawia się jej siła ciągu generowana przez silniki, równa iloczynowi liczby silników n , oraz siły ciągu pojedynczego silnika: $F_{cigu} = n \cdot F$. Aby Starship mógł oderwać się od powierzchni, w granicznym przypadku, siły te muszą się równoważyć. Z przyrównania otrzymujemy wyrażenie na minimalną liczbę silników: $n = \frac{mg}{F}$. Po podstawieniu danych z zadania n wynosi ok. 17,86, nas jednak interesuje najmniejsza większa liczba całkowita, czyli 18.

15. Ile razy silniejsze jest przyciąganie grawitacyjne na wysokości $1R_{\oplus}$ (gdzie $R_{\oplus}$ oznacza promień Ziemi) nad powierzchnią Ziemi od przyciągania na wysokości $3R_{\oplus}$?

a) $\sqrt{3}$
b) 2
c) 3
d) 4
e) 9

autorka: Zofia Lamęcka

Odpowiedź: Jeżeli ciało znajduje się na wysokości $1R_{\oplus}$ nad powierzchnią Ziemi to jego odległość od środka Ziemi r_1 wynosi $2R_{\oplus}$. Analogicznie dla wysokości $3R_{\oplus}$ odległość od środka Ziemi r_2 wynosi $4R_{\oplus}$. Jak głosi prawo powszechnego ciążenia, siła przyciągania grawitacyjnego między punktowymi ciałami (lub kulami takimi jak, w przybliżeniu, Ziemia) jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między ich środkami $\frac{F_1}{F_2} \propto \frac{r_2^2}{r_1^2}$. W zadaniu kwadrat ilorazów jest równy 1/4, więc poprawna jest odpowiedź d).

16. Księżycem galileuszowym nie jest:

a) Europa
b) Ganimedes
c) Io
d) Kallisto
e) Tytan

autorzy: Olaf Krupiński i Zofia Lamęcka

Odpowiedź: Nazwa „księżycy galileuszowe” odnosi się do 4 największych księżyców Jowisza, odkrytych przez włoskiego astronoma. Tytan jest największym księżycem Saturna, przez co w sposób oczywisty nie pasuje do tej nazwy.

17. Księżyc, w trakcie swojego całkowitego zaćmienia, ma czerwony kolor dlatego, że:

- a) zewnętrzne warstwy atmosfery Słońca, niezasłonięte przez Ziemię, mają stosunkowo niewielką temperaturę, więc oświetlają Księżyc czerwonym światłem
- b) światła ziemskich miast, oświetlające lekko Księżyc, mają ciepły kolor, który przez ich niewielką jasność prowadzi do wrażenia koloru czerwonego
- c) w czasie zaćmienia Księżyc jest najczęściej położony nisko nad horyzontem, przez co atmosfera sprawia, że wydaje się on czerwony
- d) podczas zaćmienia do Księżyca dochodzi światło słoneczne, które przeszło przez ziemską atmosferę, a że najsłabiej rozprasza się światło czerwone, to głównie takie dociera do Księżyca**
- e) Księżyc jest rozgrzany przez światło słoneczne, więc widzimy wtedy jego promieniowanie cieplne, które zazwyczaj jest niewidoczne, ponieważ jest znacznie słabsze od odbijanego światła słonecznego

autor: Piotr Jędrzejczyk

Odpowiedź: Zaćmienia Księżyca zawdzięczają swój wygląd ziemskiej atmosferze. Jej obecność sprawia, że światło słoneczne przelatujące przez nią ulega refrakcji (czyli jego tor zostaje ugięty) i może ono oświetlić Księżyc, znajdujący się w cieniu Ziemi. Zjawisko refrakcji jest również powodem, dla którego obiekty nisko nad horyzontem widoczne są nieco wyżej, niż byśmy oczekiwali, co między innymi wpływa na nieznaczne zwiększenie długości dnia. Zabarwienie Księżyca w trakcie zaćmienia również jest efektem interakcji światła słonecznego z ziemską atmosferą, a konkretniej jego rozpraszania. Zjawisko to dotyczy silniej światła o krótszych długościach fali (w kierunku błękitu), a w mniejszym stopniu dłuższych długości fali (w kierunku czerwieni), zatem to głównie takie światło kontynuuje swoją drogę przez ziemską atmosferę w kierunku tylko lekko zmienionym (ze względu na refrakcję) i może dotrzeć do Księżyca. Rozpraszanie światła jest również powodem, dla którego niebo jest niebieskie – patrząc na nie, widzimy promieniowanie, które wyemitowane zostało przez Słońce, lecz zostało rozproszone przez atmosferę w różnych kierunkach, ostatecznie docierając do naszych oczu.

Co ciekawe, stan ziemskiej atmosfery zauważalnie wpływa na kolor księżyca podczas zaćmienia. Podczas zaćmień mających miejsce niedługo po silnych erupcjach wulkanów, które uwolniły do atmosfery duże ilości pyłu, Księżyc w fazie całkowitej zaćmienia jest ciemniejszy i intensywniej zabarwiony niż zazwyczaj.

Przyjrzyjmy się teraz pozostałym odpowiedziom. Jeśli chodzi o odpowiedź a), najbardziej zewnętrzną część atmosfery Słońca, zwana koroną, rzeczywiście może być, z perspektywy Księżyca, niezasłonięta przez Ziemię. Jednak jest ona zbyt ciemna, żeby w zauważalnym stopniu oświetlić Księżyc. Co ciekawe, jej temperatura jest znacznie większa od temperatury powierzchni Słońca – sięga ona milionów kelwinów, lecz ze względu na swoją małą gęstość nie emituje dużych ilości widzialnego światła. Koronę można zobaczyć z Ziemi jedynie podczas całkowitego zaćmienia Słońca.

Co się zaś tyczy odpowiedzi b), światła miast są znacząco zbyt słabe, by móc rozświetlić Księżyc w zauważalny sposób. Ponadto nie są one czerwone, lecz żółte lub białe, co nie tłumaczyłoby tak istotnej zmiany koloru Księżyca.

Nieprawdą jest, jak zasugerowano w odpowiedzi c), że zaćmienia Księżyca mają miejsce nisko nad horyzontem. Położenie Księżyca na niebie zależy od lokalizacji obserwatora i nie wpływa ono istotnie na jego obserwowany kolor. Co prawda obiekty znajdujące się nisko nad horyzontem rzeczywiście mają swój kolor przesunięty w stronę żółci (o czym wie każdy, kto oglądał kiedyś wschód lub zachód Słońca lub Księżyca), jednak efekt ten nie wystarczyłby do tak istotnej zmiany postrzeganego koloru Księżyca.

Jeśli natomiast chodzi o odpowiedź e), temperatura Księżyca, nawet w pełni, jest stanowczo za niska, aby jego promieniowanie cieplne było widoczne w zakresie widzialnym. Powierzchnia satelity Ziemi ma wówczas temperaturę nieprzekraczającą znacznie 120°C, więc jego promieniowanie cieplne można zaobserwować dopiero w podczerwieni.

18. Na Ziemi spadek z wysokości 20 metrów zajmuje dwie sekundy. Jak długo trwa spadek z takiej samej wysokości na Księżycu, gdzie przyspieszenie grawitacyjne jest sześciokrotnie słabsze od ziemskiego? Pomijamy opory powietrza.

- a) ok. 0,3 s
- b) 2 s
- c) ok. 5 s
- d) 12 s
- e) 72 s

autor: Piotr Jędrzejczyk

Odpowiedź: W zadaniu mamy do czynienia z ruchem jednostajnie przyspieszonym. Spełniony jest więc związek $h = \frac{1}{2}at^2$, gdzie h to wysokość spadku, a to przyspieszenie grawitacyjne, a t to czas spadku. Wynika z niego, że czas spadku z wysokości h wynosi $t = \sqrt{2h/a}$. Stosunek długości czasu spadku na Księżycu i Ziemi wyniesie więc:

$$\frac{t_K}{t_Z} = \frac{\sqrt{2h/a_K}}{\sqrt{2h/a_Z}} = \sqrt{\frac{a_Z}{a_K}} = \sqrt{6},$$

czyli spadek na Księżycu będzie trwał $\sqrt{6}$ razy dłużej niż na Ziemi. W takim razie czas ten na Księżycu wyniesie $t_K = \sqrt{6} \cdot t_Z \approx 2,45 \cdot 2 \text{ s} \approx 5 \text{ s}$, zatem prawidłowa odpowiedź to c).

19. Pewien obserwator znajdujący się na półkuli północnej skierował swój nieruchomy aparat fotograficzny na południową część nieba. Ze względu na obrót Ziemi wokół własnej osi oraz długi czas naświetlania, na wykonanym zdjęciu gwiazdy przypominają łuki. Oprócz gwiazd na zdjęciu widać kilka nieporuszonych, niezbyt jasnych punktów ułożonych jeden za drugim. Jakie jest najbardziej prawdopodobne wytłumaczenie tego, czym są obserwowane punkty?

- a) obiekty z pasa planetoid
- b) satelity Starlink krążące na niskiej orbicie okołoziemskiej
- c) pozostałości po komecie, która została rozerwana podczas przelotu blisko Słońca
- d) śmieci wyrzucone z pokładu Międzynarodowej Stacji Kosmicznej
- e) satelity geostacjonarne

autor: Piotr Jędrzejczyk

Odpowiedź: Prawidłową odpowiedzią na pytanie postawione w zadaniu są satelity geostacjonarne. Satelity te wykonują jeden obieg wokół Ziemi w czasie równym okresowi obrotu naszej planety, a ich orbita położona jest w płaszczyźnie równika, co oznacza, że są one niemal nieruchome względem powierzchni Ziemi. Sprawia to, że wydają się nie poruszać po niebie w przeciwieństwie do gwiazd, które wykonują jeden pozorny obrót dookoła sfery niebieskiej w czasie niecałych 24 godzin.

Zastanówmy się teraz nad pozostałymi odpowiedziami. Zarówno satelity konstelacji Starlink, jak i śmieci wyrzucone z pokładu stacji kosmicznej, krążą wokół Ziemi na niskiej orbicie okołoziemskiej (około 400-500 km nad powierzchnią planety), i co za tym idzie, ich okres orbitalny wynosi jedynie około 90 minut. Zatem z punktu widzenia obserwatora stojącego na Ziemi, przelatują one przez nieboskłon w czasie kilku minut – zdecydowanie nie są więc one nieruchome, i na zdjęciu o długim czasie naświetlania byłyby liniami. Faktem jest natomiast, że satelity Starlink jest znacząco łatwiej zaobserwować niż satelity geostacjonarne ze względu na to, że są znacznie bliżej nas, więc wydają się one jaśniejsze.

Jeśli zaś chodzi o asteroidy czy fragmenty komety, rzeczywiście poruszają się one na niebie względem gwiazd (czyli mogłyby być pozornie nieruchome względem Ziemi), lecz możemy to zaobserwować raczej na przestrzeni godzin niż sekund. Ich pozorny ruch względem gwiazd jest znacznie wolniejszy niż jedno

okrażenie nieba w czasie doby (co odpowiadałoby pozornemu brakowi ruchu względem Ziemi, tak jak obserwowanych obiektów), zatem możemy te odpowiedzi odrzucić.

Sytuacja przedstawiona w treści zadania nie jest tylko eksperymentem myślowym – satelity geostacjonarne, mimo niewielkiej jasności, da się fotografować. Można o tym poczytać między innymi na tej stronie.

20. Pewnego wieczoru obserwator podziwiał Księżyc w pierwszej kwadrze. Wybierz zdanie prawdziwe:

- a) Dwa dni później Księżyc wejdzie przed zachodem Słońca.
- b) Za około tydzień na pewno dojdzie do zaćmienia Księżyca.
- c) Tydzień później Księżyc był w trzeciej kwadrze.
- d) Tydzień później może dojść do zakrycia Merkurego przez Księżyc.
- e) Dwa tygodnie później może wystąpić zaćmienie Słońca.

autor: Piotr Jędrzejczyk

Odpowiedź: Rozważmy, jak zmienia się czas wschodu Księżyca w zależności od jego fazy. W nowiu naturalny satelita Ziemi położony jest niedaleko Słońca na niebie, więc momenty wschodu tych dwóch ciał są do siebie zbliżone. Po nowiu Księżyc porusza się, względem Słońca i gwiazd, w kierunku wschodnim, zatem będzie wschodził później od Słońca, aż do pełni, kiedy wschodzi on w momencie zachodu Słońca. A zatem dwa dni po pierwszej kwadrze, czyli około pięciu dni przed pełnią, Księżyc wejdzie przed zachodem Słońca, czyli poprawną odpowiedzią jest a).

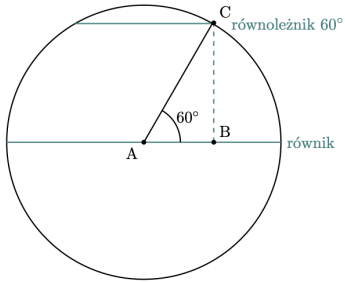
Pozostałe odpowiedzi można łatwo wykluczyć. Około tygodnia po pierwszej kwadrze ma miejsce pełnia Księżyca, co eliminuje odpowiedź c). W czasie pełni może wystąpić zaćmienie Księżyca, lecz ma to miejsce tylko przy odpowiednim względnym ułożeniu Słońca, Ziemi i Księżyca, do którego dochodzi co około pół roku, zatem odpowiedź b) również nie jest poprawna. Co się zaś tyczy odpowiedzi d), Księżyc tydzień po pierwszej kwadrze (czyli w okolicy pełni) znajduje się po przeciwnej stronie nieba niż Słońce. Merkury natomiast, jako planeta krążąca wokół Słońca bliżej niż Ziemia, nie może znaleźć się na niebie tak daleko od Słońca, zatem nie może dojść do jego zakrycia przez Księżyc. Pozostaje nam więc ostatnia odpowiedź, którą również możemy łatwo odrzucić – dwa tygodnie po pierwszej kwadrze Księżyc jest w trzeciej kwadrze, więc oddalony jest od Słońca o około 90° , zatem nie może dojść wtedy do zaćmienia Słońca.

21. Oznaczmy długość równika jako s . Ile wynosi długość równoleżnika $\varphi = 60^\circ$?

- a) 0
- b) $0,5 s$
- c) $\frac{\sqrt{3}}{2} s$
- d) $\frac{\sqrt{2}}{2} s$
- e) $1 s$

autorka: Zofia Lamęcka

Odpowiedź:



Skorzystajmy z załączonego rysunku (rzut równika oraz równoleżnika 60° na płaszczyznę zawierającą bieguny północny i południowy). Na rysunku zaznaczone są: średnica równikowa Ziemi oraz średnica koła otrzymanego przez przecięcie płaszczyzną Ziemi na szerokości równoleżnika 60° . Zakładamy, że Ziemia jest idealną kulą (na rysunku okręgiem) i A jest jej środkiem. Z definicji równoleżnika, kąt między kierunkiem na równik a kierunkiem na punkt wspólny średnicy równoleżnika i okręgu na rysunku (dowolny punkt na równoleżniku) z punktu widzenia środka Ziemi (pkt A) jest równy 60 stopni – na rysunku kąt równik–A–C lub B–A–C. Widzimy, że trójkąt ABC jest trójkątem szczególnym (30° , 60° , 90°), czyli połową trójkąta równobocznego. W takim razie długość $|AB|$ jest połową długości $|AC|$. Długość równoleżnika wyniesie $2\pi|AB| = 2\pi \cdot 0,5|AC| = 0,5s$. Czyli poprawna jest odpowiedź b) – długość równoleżnika 60° jest równa połowie długości równika.

22. Dlaczego rakiety najczęściej startują z kosmodromów blisko równika?

- a) są tam lepsze warunki pogodowe
- b) aby być możliwie daleko od dużych ośrodków miejskich
- c) ze względu na niższą wartość przyspieszenia grawitacyjnego na równiku
- d) aby rakieta mogła wykorzystać prędkość rotacji Ziemi**
- e) jest to zbieg okoliczności

autor: Olaf Krupiński

Odpowiedź: Dla odrobiny kontekstu, Kennedy Space Center, a więc port kosmiczny NASA, z którego wystartowała misja Apollo 11, jest położony na Florydzie, a więc najbardziej wysuniętym na południe stanie USA. Podobnie jednym z ważniejszych kosmodromów ESA (European Space Agency) jest Guiana Space Centre, leżące jedynie 500 km od równika (na terytorium Francji).

Powyższe przykłady mogą zasugerować czytelnikowi, że odpowiedź e) nie była tą poprawną. Również odpowiedzi a) i b) są fałszywe, gdyż rozważany efekt jest dość istotnym zjawiskiem fizycznym.

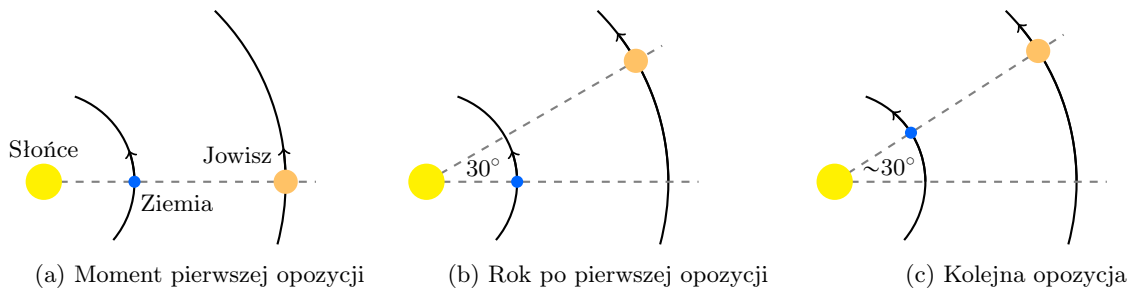
Odpowiedź c) sugeruje, że przyczyną położenia kosmodromów jest różnica w przyspieszeniu grawitacyjnym (stałej g) pomiędzy biegunem, a równikiem. Różnica ta wynika ze spłaszczenia Ziemi na biegunach, spowodowanym jej obrotem wokół własnej osi. Z prawa powszechnego ciążenia wiemy zaś, że większa wartość promienia na równiku, przyczynia się do mniejszej siły grawitacji. Jednakże różnice te są naprawdę niewielkie (rzędu $0,5\%$): np. w Helsinkach: $g \approx 9,825 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, zaś w Kuala Lumpur: $g \approx 9,776 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Różnice w wynikającej z tego sile, nawet przy dużej masie rakiety, mają dość mały wpływ na przebieg jej lotu.

Dużo bardziej decydujące jest zjawisko wspomniane w odpowiedzi d). Zauważmy, że dla obserwatora spoza Ziemi (np. na Księżycu), ludzie na równiku poruszają się nawet o $1670 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ szybciej niż ludzie na biegunie, co wynika z codziennego obrotu Ziemi wokół własnej osi (wzór $v = \frac{2\pi R}{T}$, gdzie R jest promieniem Ziemi, a $T = 1$ dzień). W ten sposób, startując w kierunku zgodnym z obrotem Ziemi, uzyskujemy już na samym początku dość znaczący kawał prędkości, istotny w dalszym locie rakiety.

23. Opozycją planety zewnętrznej (krążącej wokół Słońca dalej niż Ziemia) nazywamy sytuację, gdy znajduje się ona po przeciwnej stronie nieba niż Słońce. Wiedząc, że okres orbitalny Jowisza wynosi około 12 lat, i obiega on Słońce w tym samym kierunku, co Ziemia, ile wynosi odstęp między kolejnymi jego opozycjami?
- a) ok. 11 miesięcy
 - b) dokładnie jeden rok
 - c) ok. 13 miesięcy
 - d) ok. 6 lat
 - e) ok. 12 lat

autor: Piotr Jędrzejczyk

Odpowiedź: W momencie opozycji Słońce, Ziemia i Jowisz (w tej kolejności) położone są w przybliżeniu na jednej prostej. Po opozycji obie planety kontynuują ruch obiegowy wokół Słońca, a ze względu na swój krótszy okres orbitalny Ziemia „wyprzedza” Jowisza. Rozważmy teraz, jak zmieni się sytuacja po upływie roku. Ziemia w tym czasie zatoczy pełną orbitę wokół Słońca i wróci do punktu, w którym położona była podczas poprzedniej opozycji, natomiast Jowisz pokona jedynie $1/12$ swojej orbity. Ziemia musi więc „dogonić” Jowisza, aby doszło do jego kolejnej opozycji. Nastąpi to nieco ponad miesiąc później – w tym czasie Ziemia pokona około $1/12$ swojej orbity, natomiast Jowisz zmieni swoje położenie w niewielkim stopniu i ponownie znajdzie się po przeciwnej stronie Ziemi niż Słońce.

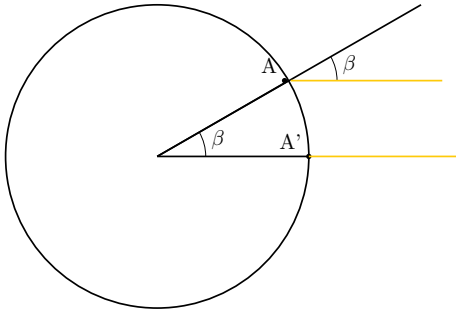


Rysunek 1: Schematyczne przedstawienie wzajemnego położenia Słońca, Ziemi i Jowisza w chwilach rozważanych w rozwiązaniu. Skala nie została zachowana. Kąt na ostatnim rysunku ma w rzeczywistości miarę około $32,7^\circ$.

24. Eratostenes, grecki filozof, już w 230 r. p.n.e. oszacował promień Ziemi. W tym celu obserwował cienie rzucane w południe przesilenia letniego w Aleksandrii i, oddalonym o około 800 km na południe, Asuan. W Asuanie promienie padały na ziemię prostopadle (nie obserwował cienia), a w Aleksandrii pod kątem $7,2^\circ$ od pionu. Jaka długość obwodu Ziemi wynika z eksperymentu Eratostenesa?
- a) 800 km
 - b) 5760 km
 - c) 6371 km
 - d) 40 000 km**
 - e) 100 000 km

autorka: Zofia Lamęcka

Odpowiedź:



Sytuację z zadania możemy przedstawić na rysunku. Ponieważ Słońce jest bardzo odległe, możemy przyjąć, że jego promienie są równoległe. W Asuanie promienie padają prostopadle do powierzchni ziemi, co odpowiada punktowi A'. W Aleksandrii padają pod pewnym kątem – niech punkt A wyznacza położenie Aleksandrii, wówczas kąt padania promieni wyniesie β . Widzimy, że kąt β pomiędzy promieniami Słońca padającymi na A a zenitem, ma tę samą wartość, co kąt o wierzchołku w środku okręgu pomiędzy A a A'. Odległość między miastami to długość łuku AA'. Z proporcjonalności wiemy, że długość łuku AA' jest dana przez wzór $\frac{\alpha}{360^\circ}O$, gdzie O oznacza długość obwodu. Odwracając tę zależność i podstawiając otrzymujemy: $O = \frac{360^\circ}{7,2^\circ}d$, co po wstawieniu wartości liczbowych daje wynik końcowy 40 000 km.