polegającego na tym, że linie widmowe promieniowania elektromagnetycznego docierającego z niektórych gwiazd lub galaktyk są przesunięte w stronę mniejszych częstotliwości. Z ogólnej teorii względności wynika, że światło pokonujące przyciąganie grawitacyjne (pochodzące np. od źródła, które je wysyła) traci energię, czyli jego długość fali się zwiększa. Jest to tzw. grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni, dodatkowo przyczyną przesunięcia jest relatywistyczny efekt Dopplera oraz rozszerzanie się Wszechświata.

Wreszcie interesujący nas problem ruchu peryhelium Merkurego znalazł rozwiązanie w ogólnej teorii względności. Jeśli zamiast prawa Newtona użyjemy w obliczeniach teorii grawitacji Einsteina, odkryjemy, że ruch planet po orbitach wokół ciał niebieskich wykazuje pewne zaburzenie związane z zakrzywianiem się czasoprzestrzeni wokół tych ciał. Zaburzenie to nazywamy dziś precesją relatywistyczną i odpowiada ono za brakujący składnik prędkości ruchu peryhelium Merkurego.

Einstein wyznaczył, że precesja relatywistyczna, wyrażona w radianach na okres obiegu Merkurego, jest dana wzorem

$$24\pi^3\frac{a^2}{T^2c^2(1-e^2)},$$

gdzie a to półoś wielka orbity, T – okres obiegu, c – prędkość światła, e – mimośród orbity. Podstawiając parametry znane dla Merkurego: $a = 5{,}791 \cdot 10^{10}$ m, $T = 7{,}601 \cdot 10^6$ s, $c = 2{,}997 \cdot 10^8$ m/s, $e = 0{,}2056$, oraz zmieniając jednostki na te użyte przez Le Verriera, otrzymamy, że precesja relatywistyczna dla Merkurego wynosi $42{,}9''$/wiek. Ten wynik stanowi odpowiedź na pytanie zadane na końcu poprzedniego podrozdziału.

Tym sposobem Einstein położył kres teorii o istnieniu Wulkana i dokonała się historia trzech planet, z których jedna nigdy nie istniała. Historia, która potrzebowała blisko dwóch stuleci, aby znaleźć swój finał.

Bibliografia

[Baum, Sheehan] Richard Baum, William Sheehan, *In Search of Planet Vulcan*, Springer, 1997.

[Cornejo] Adrián G. Cornejo, *A Lagrangian Solution for the Precession of Mercury's Perihelion*, International Journal of Astronomy, 2014.

[Einstein] Albert Einstein, *Relativity: The Special and General Theory*, New York, Henry Holt and Company, 1920.

[Fellows] Paul Fellows, *The Hunt for Planet Vulcan*, YouTube, 2020, `https://www.youtube.com/watch?v=UwLZC_guYKQ`.

[Lequeux] James Lequeux, *Le Verrier – Magnificent and Detestable Astronomer*, Springer, 2013.

[Levenson] Thomas Levenson, *The Hunt for Vulcan*, Random House Trade, 2016.

[Zepherus] Zepherus, *Vulcan / The Planet That Didn't Exist*, YouTube, 2021, `https://www.youtube.com/watch?v=iJyweEcpsGc`.

Zadania

Przygotował Dominik BUREK

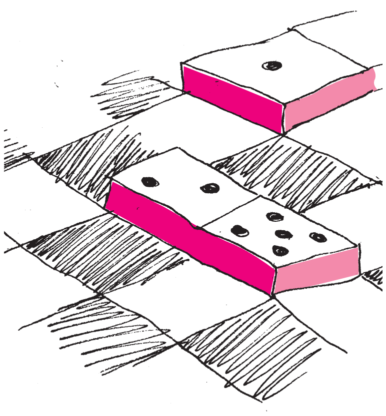
M 1762. Pewną liczbę kostek domina o wymiarach 1×2 położono na szachownicy 100×100 tak, aby żadne dwie kostki się nie stykały bokami ani rogami. Pola: lewe dolne i prawe górne nie są pokryte przez domino. Czy zawsze można przejść z lewego dolnego pola do prawego górnego, wykonując ruchy tylko w górę i w prawo do pól sąsiadujących, omijając wszystkie kostki?
Rozwiązanie na str. 9

M 1763. Udowodnić, że z dowolnego czworokąta wypukłego $\mathcal{F}$ można wyciąć trzy czworokąty podobne do $\mathcal{F}$ w skali $\frac{1}{2}$.
Rozwiązanie na str. 15

M 1764. Udowodnić, że dla dowolnych liczb całkowitych dodatnich $a_1, a_2, \ldots, a_n$ zachodzi nierówność

$$\left\lfloor\frac{a_1^2}{a_2}\right\rfloor + \left\lfloor\frac{a_2^2}{a_3}\right\rfloor + \ldots + \left\lfloor\frac{a_n^2}{a_1}\right\rfloor \geqslant a_1 + a_2 + \ldots + a_n.$$

Rozwiązanie na str. 16



Przygotował Andrzej MAJHOFER

F 1083. Zewnętrzna ściana budynku zbudowana jest z cegły i ma grubość $d_1 = 0{,}3$ m. Współczynnik przewodnictwa cieplnego cegły $\kappa_1 = 1{,}2$ W/(m·K). Przed zbliżającą się zimą ścianę postanowiono ocieplić poprzez dodanie zewnętrznej warstwy styropianu o grubości $d_2 = 0{,}01$ m i współczynniku przewodnictwa cieplnego $\kappa_2 = 0{,}033$ W/(m·K). Ile razy zmaleje utrata ciepła przez ścianę po jej ociepleniu? Przyjmij, że przed ociepleniem i po nim wewnętrzna powierzchnia ściany ma temperaturę T_2, a zewnętrzna temperaturę $T_1 < T_2$.
Rozwiązanie na str. 8

F 1084. Wewnętrzny promień jednorodnej, grubej rury wynosi $r_0 = R$, a zewnętrzny $r_1 = 2R$. Wewnętrzna powierzchnia rury utrzymywana jest w temperaturze T_0, a zewnętrzna w temperaturze $T_1 < T_0$. Ile wynosi temperatura w połowie grubości rury? Wskazówka: W każdym punkcie wewnątrz rury strumień ciepła jest równoległy do promienia rury i proporcjonalny do wartości pochodnej temperatury wzdłuż promienia obliczanej w tym punkcie.
Rozwiązanie na str. 6