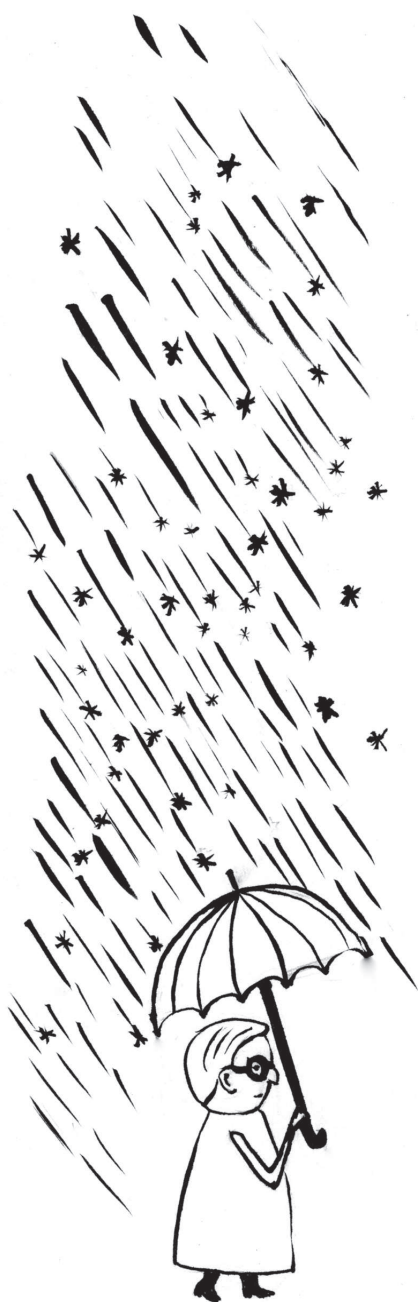


Pył kosmiczny znajduje się wokół planet, w przestrzeni międzyplanetarnej, międzygwiazdowej oraz międzygalaktycznej. Ziarna pyłu są obiektami o rozmiarach od kilku cząsteczek do kilkudziesięciu centymetrów. Mimo tego, iż są niewielkie, można je pośrednio zaobserwować bez użycia instrumentów optycznych. Obserwując pogodne niebo poza miastem, powinniśmy gołym okiem w ciągu godziny zobaczyć co najmniej trzy meteory. Potocznie nazywane są one *spadającymi gwiazdami*. Co roku zdarzają się okresy, gdy aktywność meteorowa jest dużo wyższa i sięga nawet 100–120 zjawisk na godzinę, a czasem więcej. Ta zwiększona ilość zjawisk związana jest z rojami meteorów, które powstały na skutek utraty materii z powierzchni komet okresowych lub zderzeń między planetoidami.

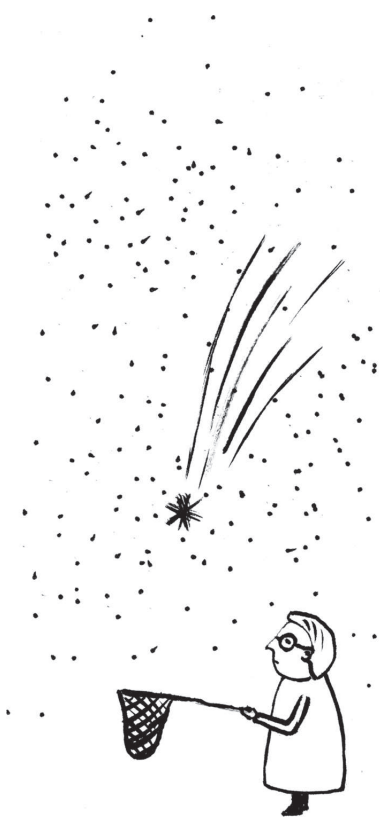
Drobiny – meteoroidy – poruszające się po orbitach podobnych do orbity ciała macierzystego mogą przeciąć orbitę ziemską. Wpadają w atmosferę z prędkościami rzędu kilkudziesięciu kilometrów na sekundę, co powoduje jonizację ich atomów, a także otaczającego je rozrzedzonego powietrza. W tym samym czasie materiał na powierzchni drobiny rozgrzewa się do temperatury rzędu 2000 K i odrywa się od niego jego części składowe – podlega ablacji. Gdy ilość zderzeń między meteoroidem a cząsteczkami powietrza wzrasta, zwiększa się również ilość zjonizowanych atomów wchodzących w skład meteoroidu oraz otaczającego go powietrza. To z kolei powoduje ich świecenie w wyniku rekombinacji ładunku. Większość światła śladu meteorowego pochodzi z linii jednokrotnie zjonizowanych atomów metali wchodzących w skład meteoroidu. Jonizacja otaczającej atmosfery stwarza możliwość odbijania się od śladu meteorowego fal radiowych. Energia kinetyczna wpadającego ciała zmniejsza się w wyniku wspomnianych procesów jonizacji i ablacji. Na wysokości około 110 km nad powierzchnią Ziemi ślad meteorowy jest na tyle jasny, iż może być dostrzeżony bez użycia instrumentów optycznych. Większość śladów kończy się, gdy meteoroid dociera do 80 kilometrów nad Ziemią. To, od jakiej wysokości zaczyna być widoczny meteor, zależy od jego masy, gęstości i prędkości początkowej, jaką miał względem Ziemi.

Zgodnie z prawami Keplera każde ciało znajdujące się w polu grawitacyjnym Słońca porusza się po orbitach eliptycznych, parabolicznych lub hiperbolicznych. Przypadek orbity parabolicznej jest często używany jako pierwsze przybliżenie w wyznaczaniu orbit kometarnych. Orbity eliptyczne są zamknięte, natomiast paraboliczne i hiperboliczne otwarte. Ciała o orbitach otwartych mogą uciec z Układu Słonecznego. Zakładając, że wszystkie obserwowane meteoroidy należą do Układu Słonecznego, wyliczamy ze wzoru na trzecią prędkość kosmiczną, iż ich prędkości heliocentryczne (to jest w układzie współrzędnych związanym ze Słońcem) w pobliżu orbity ziemskiej muszą być mniejsze niż 42 km/s. Ziemia porusza się z prędkością około 30 km/s wokół Słońca, zatem maksymalna prędkość wejściowa meteoroidu wynosi 72 km/s.

Najmniejsze prędkości wejścia osiągają drobiny swobodnie wpadające w ziemską atmosferę, przyciągane przez grawitację ziemską. Ich prędkość wejściowa to druga prędkość kosmiczna, z powierzchni Ziemi równa 11,2 km/s (wynika to z faktu, że druga prędkość kosmiczna to najmniejsza prędkość, jaką trzeba nadać ciału, aby doleciało do nieskończoności, czyli opuściło pole grawitacyjne Ziemi – z zasady zachowania energii mechanicznej wynika, że ciało przyciągane z nieskończoności przez grawitację Ziemi musi uzyskać przy jej powierzchni taką samą prędkość). Przyciąganie ziemskie ma również niewielki wpływ na prędkości meteoroidów. Spośród znanych i aktywnych rojów meteorowych najmniejsze prędkości mają: Bootydy Czerwcowe (18 km/s), Drakonidy (20 km/s), czy  $\alpha$ -Kaprikornidy (23 km/s). Najszybsze zjawiska można obserwować dla  $\eta$ -Aquarydów (66 km/s),  $\alpha$ -Aurygidów (66 km/s), Orionidów (66 km/s) i Leonidów (71 km/s). Najpowszechniej znane sierpniowe Perseidy produkują zjawiska poruszające się z prędkościami około 59 km/s. Szacując długość śladu meteorowego na 30–60 km, otrzymujemy czas trwania meteorów w przedziale



\*doktorant w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika, PAN, oraz współpracownik stowarzyszenia Pracownia Komet i Meteorów



od 0,5 do 4,0 sekund. Pominęliśmy przy tym efekt projekcji zjawiska wylatującego z danego punktu na niebie i przecinającego sferę niebieską. Efekt ten jest identyczny ze zjawiskiem skrótów perspektywicznych, które można zaobserwować np. dla równoległych szyn kolejowych zdających się zbiegać ku sobie wraz ze wzrostem odległości od obserwatora. Ostatecznie, mierzona prędkość kątowna zjawiska zależy również od wysokości zjawiska nad horyzontem oraz odległości od miejsca, z którego zdaje się wybiegać na niebie, a nazywanego radiantem. W zasadzie obserwator może zarejestrować zjawiska o prędkościach kątowych z przedziału  $\omega = 0-41$  stopni/s, przy czym zerową prędkość kątową mają meteory lecące z radiantu wprost na obserwatora (tzw. meteory stacjonarne). Dopiero obserwacje tego samego zjawiska z dwóch odległych miejsc mogą być użyte do wyznaczenia jego prędkości liniowej i trajektorii w atmosferze.

Większość meteoroidów, wpadając w atmosferę, rozgrzewa się, co z kolei powoduje ich fizyczne i chemiczne przemiany, które zamazują informację o ich pochodzeniu. Te najmniejsze o rozmiarach mniejszych niż kilkaset mikrometrów – mikrometeoroidy – spalniają się już w górnych, najrzadszych warstwach atmosfery. Ich składowe nie podlegają sublimacji, opadają powoli na powierzchnię Ziemi w niemal nienaruszonej postaci. Mikrometeoroidy mogą zachować swój pierwotny skład chemiczny i morfologię przez długi czas, jeśli spadną np. w nietopniejący śnieg. W roku 2006 naukowcy prowadzący badania we francusko-włoskiej stacji polarnej CONCORDIA odnaleźli wiele mikrometeoroidów w warstwie śniegu na głębokości 4 metrów. Spośród blisko półtora tysiąca wyselekcjonowano dwa najmniej przetworzone mikrometeoroidy o numerach 19 i 119. Ich badania za pomocą elektronowego mikroskopu transmisyjnego wykazały, iż złożone są one z materii organicznej przetworzonej w niewielkim stopniu. Zawierają wyjątkowo dużo związków węgla, a także nadwyżkę ilości deuteru w stosunku do wodoru (10–30 razy więcej niż na Ziemi). Skład chemiczny drobin świadczy o tym, że ich ciało macierzyste nie zmieniło się od miliardów lat. Są one pod wieloma względami podobne do ziaren pyłu z komety 81P/Wild dostarczonego za pomocą sondy kosmicznej Stardust. Odnalezienie mikrometeoroidów może być równe wiekiem dysku protoplanetarnemu, z którego dopiero miały powstać planety Układu Słonecznego. Natomiast związki organiczne wchodzące w ich skład skłaniają ku hipotezie, iż rezerwuuar materii koniecznej do powstania życia był obecny w chłodnych obszarach młodego Układu Słonecznego już przed 4,5 mld lat.



## Zadania

Redaguje Ewa CZUCHRY

**F 783.** Mała kulka o masie  $m$  i ładunku elektrycznym  $q$  wisi na sprężynie o stałej sprężystości  $k$ . Kulka jest utrzymywana na wysokości  $h$  nad ziemią, tak że sprężyna nie jest naciągnięta. Na podłodze, dokładnie pod kulką, znajduje się druga kulka, o takiej samej masie  $m$  i przeciwnym ładunku  $-q$ . W pewnej chwili puszczamy górną kulkę. Dla jakiego minimalnego ładunku  $q$  dolna kulka zostanie poderwana do góry? Stała sprężystości sprężyny i masa kulki spełniają warunek  $kh \gg mg$ .  
Rozwiązanie na str. 5

**F 784.** Kulka o masie  $m$  i ładunku elektrycznym  $q$  znajduje się pod unieruchomionym ciałem o ładunku  $-q$  w odległości  $d$  od niego i na wysokości  $r$  nad ziemią. Jaką minimalną prędkość skierowaną pionowo w dół należy nadać kulce, aby upadła na ziemię? Początkowa wysokość  $r$  jest duża w porównaniu z  $d$ , ruch odbywa się w jednorodnym polu ciężenia Ziemi.  
Rozwiązanie na str. 7

Redaguje Przemysław MAZUR

**M 1306.** Na boku  $BC$  trójkąta  $ABC$  wybrano punkt  $P$ . Punkty  $Q$  i  $R$  są środkami okręgów wpisanych w trójkąty  $APB$  i  $APC$ . Punkt  $S$  jest punktem styczności okręgu wpisanego w trójkąt  $ABC$  do boku  $BC$ . Wykazać, że punkty  $P, Q, R, S$  leżą na jednym okręgu.  
Rozwiązanie na str. 24

**M 1307.** Udowodnić, że spośród dowolnych  $n + 1$  liczb ze zbioru  $\{1, 2, \dots, 2n\}$  można wybrać dwie, tak żeby jedna była dzielnikiem drugiej.  
Rozwiązanie na str. 6

**M 1308.** Dany jest wielomian  $f(x) = x^3 - 3x$ . Definiujemy indukcyjnie

$$f_1(x) = f(x), \quad f_{n+1}(x) = f(f_n(x)).$$

Dowieść, że wielomian  $f_n$  ma  $3^n$  pierwiastków rzeczywistych.  
Rozwiązanie na str. 9