

Kometa Halleya i inne

Dr Tomasz KWAST

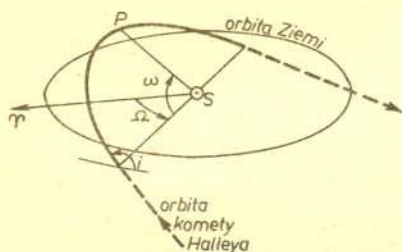


„Kometa Halleya zbliża się” — takie lub podobne nagłówki można było wyczytać chyba już we wszystkich gazetach. Tak więc wszyscy wiedzą, że kometa się zbliża, ale może już nie wszyscy, że zbliża się od dawna i nie po raz pierwszy. Zaczniemy od tego, że ta najświetniejsza chyba w historii astronomii kometa obserwowana jest lekko licząc od 2000 lat. Ma się rozumieć, w owych czasach nikt nie podejrzewał, że co kilkadziesiąt lat ludzkość widzi ten sam obiekt — w ogóle nie mogło być o tym mowy. Po prostu od czasu do czasu pojawiały się rozmaite komety, ale nie znana była ani ich natura, ani tym bardziej prawa rządzące ich ruchem.

Zasadniczy przełom nastąpił w wyniku powstania nowożytnej mechaniki. Już sam Newton obliczył orbitę komety z 1680 r. stwierdzając, że jest ona paraboliczna ze Słońcem w ognisku. Nie wyjaśniało to oczywiście wszystkich zagadnień związanych z kometami, lecz w każdym razie dowodziło, że są one ciałami niebieskimi podlegającymi tym samym prawom mechaniki co np. planety.

Żmudnej pracy wyznaczenia elementów orbit znanych wtedy komet podjął się uczeń i przyjaciel Newtona, Edmund Halley. Stwierdził on, że pewien zestaw elementów powtarza się z bardzo niewielkimi różnicami u kilku komet obserwowanych w różnym czasie, skąd wynioskował, że musi to być ta sama kometa powracająca okresowo w pobliże Słońca i Ziemi. Halley powiązał w ten sposób pojawienia się pewnej komety z lat 1456, 1531, 1607 i 1682 i, co więcej, zapowiedział jej ponowne pojawienie się na rok 1758. Kometa istotnie pojawiła się pod koniec tego roku (przez perihelium przeszła w marcu 1759) potwierdzając tym samym obliczenia Halleya. W ten sposób kometa nazwana później nazwiskiem badacza została pierwszą, której okresowość ściśle udowodniono.

Kometa Halleya obiega Słońce po elipsie o półosi $a = 17,94$ j.a. (jednostka astronomiczna 1 j.a. = 150 000 000 km) i mimośrodkie $e = 0,967$. Orbita jest bardzo wydłużona i gdyby leżała w płaszczyźnie Układu Słonecznego, sięgałaby poza orbitę Neptuna. W perihelium kometa zbliża się do Słońca na odległość $q = 0,587$ j.a. Kąty określające usytuowanie orbity w przestrzeni wynoszą (rys. 1): nachylenie $i = 162^\circ$, długość ekliptyczna węzła wstępującego $\Omega = 58^\circ$ i argument perihelium $\omega = 112^\circ$. Okres obiegu wynosi średnio $T = a\sqrt{a} \cong 76$ lat, kometa więc zbliża się do nas od 1948 r. Dostrzeżono ją na niebie w październiku 1982 r., kiedy była w odległości ponad 11 j.a. od Słońca (a więc dalej niż Saturn),



Rys. 1. Usytuowanie orbity komety Halleya w przestrzeni. $PS = q = 0,587$ j.a. Wartości kątów podane w tekście.

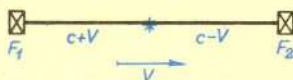
3. Względność równoczesności

Ruch punktu materialnego opisujemy zawsze względem wybranego układu odniesienia. Układ ten może być związany np. z przyrządami pomiarowymi. Wyniki obserwacji zależą od położenia przyrządów (obserwatora), jednak prawa fizyki zależą od układu odniesienia nie powinny. Podobnie — równanie elipsy proste w jednym układzie współrzędnych komplikuje się po przejściu do układu obróconego czy przesuniętego. Parametry elipsy pozostają przy tym nie zmienione.

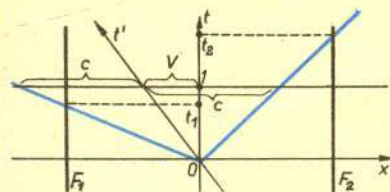
W fizyce, poza przesunięciem i obrotem, jest jeszcze inna możliwość zmiany układu odniesienia; można rozważać układy poruszające się względem siebie. I w tym przypadku prawa mechaniki są w każdym układzie takie same, jeśli tylko ograniczymy się do układów inercjalnych. Jest to tzw. zasada względności Galileusza: za pomocą żadnego doświadczenia mechanicznego nie można wykryć ruchu układu inercjalnego.

Wróćmy do zjawiska Dopplera opisanego w części 2. Łatwo zauważyć, że przy tej samej prędkości względnej źródła dźwięku i obserwatora otrzymuje się różne wyniki, w zależności od tego, czy obserwator, czy źródło spoczywa względem powietrza. Nie przeczy to oczywiście zasadzie względności Galileusza, bo istnienie materialnego nośnika fal dźwiękowych powoduje, że obie sytuacje nie są dokładnie równoważne.

Trudności pojawiają się, gdy chcemy przenieść zasadę względności Galileusza na zjawiska elektromagnetyczne. Fale elektromagnetyczne, a więc i światło, rozchodzą się w próżni. Na pytanie, czy jest do tego potrzebny jakiś „światłonośny” ośrodek (eter), odpowiedź mogą dać tylko doświadczenia.



Rys. 3a

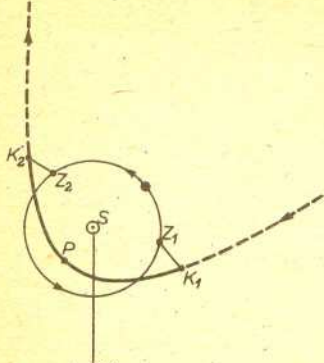


Rys. 3b

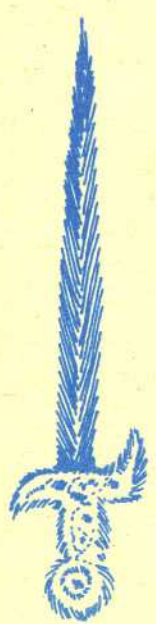
za pomocą elektronowych urządzeń światłoczułych współpracujących z pięciometrowym teleskopem Obserwatorium Palomarskiego. Nigdy dotychczas żadnej komety nie znaleziono w takiej odległości; trzeba jednak przyznać, że wiadomo było, gdzie komety Halleya szukać.

Kometa przejdzie przez perihelium 9 lutego 1986 r., do Ziemi zaś zbliży się dwukrotnie (rys. 2); minimalne odległości osiągnie 27 listopada 1985 r. (0,62 j.a.) i 11 kwietnia 1986 r. (0,42 j.a.). Niestety, bardzo niekorzystne będą warunki jej obserwacji w Polsce. Podczas pierwszego zbliżenia kometa będzie wieczorami wprawdzie dość wysoko na niebie, ale niedostrzegalna gołym okiem, zaś gdy pojaśnieje i rozwinie (prawdopodobnie) znaczniejszy warkocz, będzie nisko nad południowo-wschodnim horyzontem. Większą wysokość osiągnie ponownie dopiero podczas oddalania się w kwietniu 1986 r.

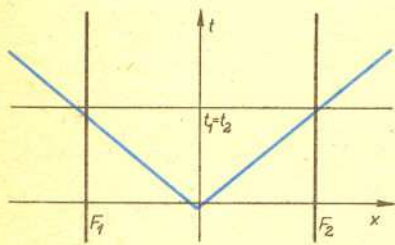
Wielu ludziom nasuwają się zapewne obawy o bezpieczeństwo Ziemi przy takich kosmicznych spotkaniach. Otóż, jak widać z rysunku 1, bezpośrednie zderzenie Ziemi z kometa Halleya jest niemożliwe — orbity obu ciał mijają się i dopóki orbita komety nie ulegnie większej zmianie (co teoretycznie może się stać w wyniku oddziaływania ze strony wielkich planet), to nic nam nie grozi. Przy aktualnej konfiguracji orbit możliwe jest jedynie przejście komety między Ziemią a Słońcem tak, że Ziemia natrafiłaby na jej warkocz. I co wtedy? Ano nic, dokładnie nic — takie przejście Ziemi przez warkocz komety Halleya odbyło się przy jej poprzednim zbliżeniu do Słońca 19 maja 1910 r. Prawdopodobnie to samo było z inną kometa w 1861 r. W obu przypadkach fakt ten w żaden sposób nie dał się nawet zauważyć. Chyba zresztą nic w tym dziwnego. Warkocze komet zbudowane są wszak z gazów parujących z jądra ograniczonego promieniowaniem Słońca i pyłu. Zważywszy, że warkocze rozciągają się nawet na setki milionów kilometrów, można sobie wyobrazić jak rozrzedzone są to obiekty. Można więc obawiać się jedynie bezpośredniego trafienia jądrem komety (ale nie komety Halleya). Skutki takiego spotkania mogłyby być poważne, choć trudno orzec, do jakiego stopnia. Przeciętne jądro komety jest prawdopodobnie kilkukilometrowym zlepkiem wielu kamiennych odłamów zatopionych w lodzie wodno-metanowo-amoniakalnym. Gdyby cała taka bryła zdołała uderzyć w powierzchnię Ziemi, to nasz glob wprawdzie by to wytrzymał, ale dla ludzi byłoby to po prostu kataklizm. Zauważmy bowiem, że kamień wrzucony do wody wywołuje falę o wysokości porównywalnej z własnymi rozmiarami. Można zatem oczekiwać, że kometa wpadłszy do oceanu zalałaby lądy falą o wysokości kilku kilometrów. Gdyby stało się to u brzegów Europy, to prawdopodobnie jej większa część znalazłaby się wkrótce pod wodą, a po drugiej stronie Atlantyku fala — niechby nawet o rząd wielkości niższa — zalałaby wybrzeża Ameryki. Albo inaczej — łatwo obliczyć, że uderzenie w Ziemię bryły lodowej o średnicy 5 km z prędkością 50 km/s (a tego rzędu jest prędkość komety Halleya względem Ziemi przy zbliżeniu) powoduje wyzwolenie energii kinetycznej w ilości 5×10^{22} J,



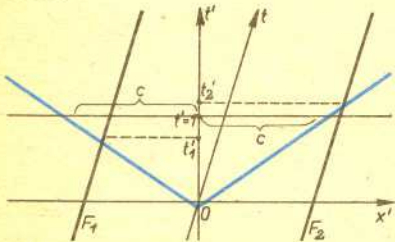
Rys. 2. Zbliżenia komety Halleya do Ziemi: K_1, Z_1 — 27 XI 1985, K_2, Z_2 — 11 IV 1986. P oznacza perihelium orbity komety, kółko — położenie Ziemi w momencie przejścia komety przez perihelium 9 II 1986.



Następny odcinek „Teorii względności” zamieścimy w numerze 5/1985.



Rys. 3c



Rys. 3d

Załóżmy, że Ziemia porusza się w eterze spoczywającym w układzie związanym ze Słońcem. Najprostszy układ eksperymentalny mający wykazać ruch Ziemi względem eteru składa się z dwóch fotokomórek (F_1, F_2) i źródła światła w połowie odległości między nimi (rys. 3a). Całość ustawiona jest równolegle do kierunku prędkości Ziemi. W pewnej chwili ($t = 0$) źródło wysła impuls światła. Przewidywany przebieg doświadczenia pokazuje rysunek 3b (w układzie związanym ze Słońcem) i rysunek 3c (w układzie związanym z Ziemią). Czytelnik łatwo wyznaczy czas, jaki upływa między momentami zarejestrowania impulsu przez F_1 i F_2 .

Wykonanie doświadczenia dokładnie takiego jak opisane nie jest możliwe, ponieważ czasy, które trzeba mierzyć, są niezwykle krótkie. Równoważne doświadczenie Michelsona i Morleya, wykorzystujące interferencję światła, daje wynik całkowicie sprzeczny z oczekiwaniami. Obie fotokomórki zadziałają jednocześnie.

Wynika stąd, że w rzeczywistości przebieg doświadczenia jest nie taki jak na rysunku 3b, ale jak na rysunku 3d. Światło biegnie w obu kierunkach z tą samą prędkością. Ponieważ Ziemia obraca się, można ją traktować jak układ inercjalny-tylko w niewielkich odcinkach czasu. Dlatego powyższy wniosek odnosi się jednocześnie do wielu układów inercjalnych.

Jedną z konsekwencji izotropowości rozchodzenia się światła we wszystkich układach inercjalnych jest względność pojęcia równoczesności. Łatwo to zauważyć w opisanym wyżej eksperymencie. W układzie związanym z Ziemią F_1 i F_2 zadziałają równocześnie. W innych układach inercjalnych nie. Dowód pozostawiamy Czytelnikowi. (c.d.n.)



co w języku wojskowym odpowiada wybuchowi o mocy 10^7 Mt. Wszelkie porównania ze zjawiskami ziemskimi stają się tu dość absurdalne, gdyż np. ocenia się, że spadek meteorytu tunguskiego, który 30 VI 1908 kompletnie zniszczył tajgę w promieniu 25 km, był równoważny wybuchowi 10 Mt. Spadek jądra komety byłby zatem równoważny spadkowi miliona meteorytów tunguskich jednocześnie. Niewykluczone jednak, że atmosfera ziemska poważnie złagodziłaby skutki takiego zderzenia. Mianowicie jądro komety, być może, zdążyłoby w atmosferze rozpaść się na luźne bryły, a one same nieco wyhamować, dzięki czemu nie byłoby to jedno uderzenie w Ziemię masy 5×10^{13} kg z prędkością 50 km/s, lecz wysypanie się mrowia odłamków kamiennych na spory obszar, ale z prędkościami może dużo mniejszymi.

Krótko mówiąc, obawiać się można tylko bezpośredniego zderzenia z jądrem komety. Szanse takiego spotkania są jednak tak znikome, że spokojnie możemy skupić się na podziwianiu tego niecodziennego zjawiska. A niektóre komety były naprawdę wyjątkowe. Tak np. tzw. Wielka Kometa z 1882 r. była widoczna w pełnym świetle Słońca. Kometa Arenda-Rolanda z 1957 r. miała jeden warkocz normalny skierowany od Słońca i drugi nietypowy, słabszy, skierowany ku Słońcu. Inna jeszcze kometa Brooksa z 1889 r. rozpadła się praktycznie „na oczach” obserwatorów na pięć składników z wolna rozbiegających się w przestrzeni. Ten ostatni przykład wyraźnie dowodzi, że komety ewoluują, co polega na utracie materii przy każdym zbliżeniu do Słońca. Substancje lotne wydmuchiwane przez wiatr słoneczny i ciśnienie światła uciekają tworząc warkocz, a jądro kamienne pozbawione „lepiszczą” może rozpaść się na poszczególne bryły tworząc rój meteoroidów. W wyniku utraty materii zdolnej parować z jądra kometa za każdym powrotem do Słońca powinna być coraz słabsza i chyba właśnie obserwuje się to u komety Halleya. Podczas aktualnego zbliżenia kometa Halleya będzie badana nie tylko metodami astronomicznymi, lecz również wręcz bezpośrednio. Mianowicie, o ile wszystkie plany zostaną zrealizowane, to ku kometce polecą: zachodnioeuropejski próbnik „Giotto”, radziecko-francuski „Wega” i prawdopodobnie japoński „Planeta A”. Znaczenie takiej unikalnej akcji trudno przecenić.

Kometa Halleya poza tym, że jest tak intensywnie „eksploatowana” przez astronomów, została również wykorzystana przez... historyków. Mianowicie, niektóre pojawienia się jej w pobliżu Ziemi zanotowane w kronikach umożliwiły w kilku przypadkach ustalenie historycznej chronologii. Kometa ta zawsze była obiektem okazałym i jej pojawienie się było właściwie niemożliwe do przeoczenia, jeżeli tylko warunki obserwacyjne nie były wiele gorsze, niż w przyszłym roku dla nas. Bo w ogóle rocznie odkrywanych jest po kilka komet, są one jednak widoczne tylko przez teleskopy. Polacy odkryli w sumie 13 komet, ostatnio — Konrad Rudnicki (1966). Skatalogowanych komet, tzn. ze znanymi orbitami, jest obecnie mniej więcej 1000, z czego około 200 to komety zdecydowanie okresowe. O dziwo, właściwie nie ma komet o orbitach zdecydowanie hiperbolicznych — w ramach dokładności obserwacji i obliczeń zazwyczaj nie daje się rozstrzygnąć, czy orbita „paraboliczna” naprawdę jest eliptyczna czy hiperboliczna. Wynikałoby z tego, że wszystkie komety należą do Układu Słonecznego, a więc w nim powstały. Jednak mechanizm powstawania (czy może jednorazowego powstania) komet jest do dziś nieznanym. Przypuszczenia, że powstają one w wyniku kondensacji materii międzyplanetarnej, że są pozostałościami z czasów formowania się Układu Słonecznego, albo może są wyrzucane w wybuchach wulkanicznych z wielkich planet, nie weszły poza stadium hipotez. Najbardziej rozpowszechniona została hipoteza J. H. Oorta, według której Słońce otoczone jest chmurą komet o promieniu rzędu 100 000 j.a., co stanowi około 1/3 odległości do najbliższej gwiazdy. Kometa w takiej odległości od Słońca „wyczuwa” już obecność innych gwiazd i wskutek oddziaływania z ich strony może niekiedy zostać skierowana ku Słońcu. Formalnie jej orbitą jest wtedy bardzo wyciągnięta elipsa, po której obieg trwa dziesiątki milionów lat, a więc kometa taka z punktu widzenia człowieka jest jednopojawieniowa, czyli „paraboliczna”. Jeżeli inne gwiazdy są również otoczone podobnymi chmurami komet, to chmury te mogłyby się przenikać, a same komety zmieniać przynależność do gwiazd. Z kolei statystyka elementów orbit zdaje się sugerować, że komety „paraboliczne” nadchodzą z pewnego wyróżnionego kierunku, a więc byłyby naprawdę pozaukładowe, a przynajmniej ich część. Całe zagadnienie okazuje się mocno skomplikowane i za wcześnie jest jeszcze na wyciąganie ostatecznych wniosków. Może nasza wiedza o kometach z wielokrotni się dzięki nadchodzącemu zbliżeniu się komety Halleya.



Rozwiązanie zadania M 394. Można założyć, że $x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_{100}$.

Oznaczmy $s = x_1 + x_2 + x_3$, wówczas $s \geq 3x_3$, oraz

$$\begin{aligned} x_1^2 + x_2^2 &= x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + 2x_1x_2 - 2x_1x_3 - \\ &- 2x_2x_3 + x_3^2 - 2x_1x_2 + 2x_1x_3 + 2x_2x_3 - \\ &- 2x_3^2 = (x_1 + x_2 - x_3)^2 + x_3^2 - 2(x_1 - x_2) \cdot \\ &\cdot (x_2 - x_3) \leq (x_1 + x_2 + x_3 - 2x_3)^2 + x_3^2 = \\ &= (s - 2x_3)^2 + x_3^2 = s^2 - 4sx_3 + 5x_3^2. \end{aligned}$$

Przypuśćmy teraz, że $s \leq 100$; korzystając z powyższych nierówności otrzymujemy

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{100} x_i^2 &\leq x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_3 \left(\sum_{i=4}^{100} x_i \right) \leq \\ &\leq s^2 - 4sx_3 + 5x_3^2 + x_3^2 + x_3(300 - s) = s^2 - \\ &- 2x_3(s - 3x_3) + 3x_3(100 - s) \leq s^2 + \\ &+ 3x_3(100 - s) \leq s^2 + s(100 - s) = 100s \leq 10000. \end{aligned}$$

