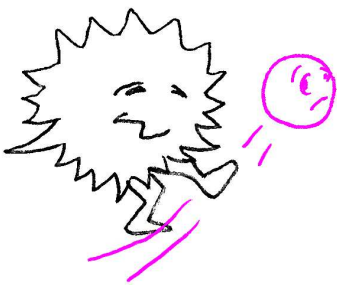


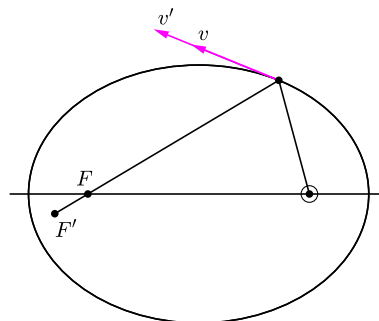
mała delta

Bez obliczeń

Samotna planeta (lub inne ciało) obiegałaby Słońce dokładnie w myśl praw Keplera, a elementy jej orbity byłyby niezmiennie. Elementy to szóstka parametrów określających kolejno: rozmiary orbity (półoś a), jej kształt (mimośród), usytuowanie w przestrzeni (trzy kąty), i jako szósty – moment przejścia planety przez pericentrum. W rzeczywistości żadna planeta nie jest samotna, zatem poza Słońcem działanie (fakt, że słabe) wywierają na nią inne planety, co powoduje, że elementy jej orbity powoli, ale nieustannie się zmieniają. Mówimy, że keplerowski ruch planety jest perturbowany (zakłócany) przez działanie innych planet. Pewne jakościowe skutki perturbacji można przewidzieć, dosłownie machając rękami, jeżeli tylko podejść do sprawy metodycznie. Dlatego rozważymy osobno skutki trzech składowych dowolnej perturbacji. Przypomnijmy tylko, że: (1) suma odległości każdego punktu elipsy od jej ognisk jest stała i równa wielkiej osi $2a$ (stąd sposób rysowania elipsy za pomocą nitki rozpiętej na dwóch gwoździach) i (2) każdy promień świetlny wysłany z jednego ogniska, po odbiciu od elipsy, trafiłby w drugie ognisko (stąd zastosowanie elips i innych stożkowych w optyce).

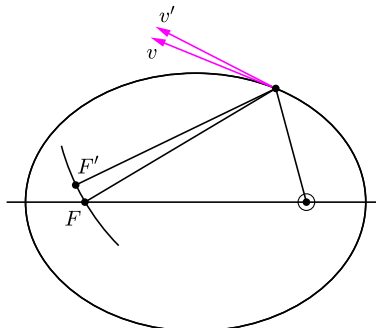


Pierwsze pytanie: jak zmieni się orbita, jeżeli planetę delikatnie trącić w kierunku ruchu, czyli jaki jest skutek perturbacji stycznej do orbity? Jasne, że wektor prędkości planety nie zmieni kierunku, a tylko długość: prędkość wzrośnie. Wzrośnie więc energia kinetyczna planety, a w konsekwencji energia całkowita E . Od niej zależy długość półosi orbity, mianowicie zachodzi $a = -GMm/(2E)$, gdzie G to stała grawitacji, a M i m to masy Słońca i planety. Na orbicie zamkniętej energia jest ujemna, zatem wzrost energii (czyli gdy staje się ona mniej ujemna) oznacza wzrost półosi orbity. Czyli orbita zrobi się obszerniejsza, nie zmieniając swojej płaszczyzny. A jak „przekręci się” w tej płaszczyźnie? Na to można odpowiedzieć wydedukowawszy, gdzie po perturbacji znajdzie się drugie ognisko orbity (to, w którym nie ma Słońca). Na mocy własności (1) i (2) stwierdzamy, że drugie ognisko musi oddalić się od planety w kierunku jak na rysunku 1. Bez trudu można stwierdzić, że orbita przekręca się rozmaicie w zależności od tego, w którym jej punkcie nastąpi perturbacja.



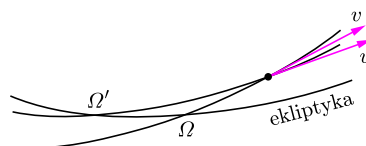
Rys. 1. Skutek perturbacji stycznej: suma odległości planety od ognisk elipsy musi wzrosnąć, zatem drugie ognisko F musi przejść do położenia F' .

Drugie pytanie: jak zmieni się orbita, gdy planetę delikatnie trącić prostopadłe do kierunku ruchu (ale w jej płaszczyźnie), np. na zewnątrz orbity. Teraz wektor prędkości lekko odchyli się, nie zmieniając (w przybliżeniu) długości. Wobec tego energia planety się nie zmieni, co za tym idzie – półoś również nie. Ale nowa orbita musi być styczna do nowego wektora prędkości, co powoduje zmianę kierunku „promienia odbitego”, a więc na mocy (1) i (2) drugie ognisko musi przeskoczyć do F' , wskazanego na rysunku 2. Teraz też łatwo stwierdzić, że usytuowanie nowej orbity w jej płaszczyźnie zależy od miejsca, w którym nastąpi perturbacja.



Rys. 2. Skutek perturbacji prostopadłej: symboliczne kąty padania i odbicia muszą pozostać równe, zatem drugie ognisko F musi przejść do położenia F' .

I trzecie pytanie: jaki będzie skutek delikatnej perturbacji prostopadłej do płaszczyzny orbity (nazwijmy ją ortogonalną)? Podobnie jak w punkcie drugim, wektor prędkości zmieni tylko kierunek (a nie długość), a skoro nowa orbita musi być styczna do nowego wektora, to zmieni się jej nachylenie do płaszczyzny podstawowej, którą umownie jest płaszczyzna ekliptyki (rys. 3).



Rys. 3. Skutek perturbacji ortogonalnej: orbita musi pozostać styczna do wektora prędkości, zatem nachylenie nowej orbity może się zmienić rozmaicie, ale jej węzły zawsze się cofają, czyli Ω musi przejść do położenia Ω' . Na rysunku mamy rzuty orbit (dawnej i nowej) na sferę niebieską.

Punkty przecięcia się orbity z ekliptyką to tzw. węzły orbity. Z rysunku natychmiast widać, że perturbacja ortogonalna skierowana ku płaszczyźnie ekliptyki (gdzieś tam są przecież wszystkie planety), działająca zarówno przed, jak i po przejściu ciała przez węzeł swojej orbity (czyli zawsze!) powoduje przesuwanie się węzła w kierunku przeciwnym do ruchu ciała. Krótko mówi się, że węzły cofają się. Jest to efekt powszechny, a wyraźnie występuje w ruchu Księżyca. Jego okołoziemski ruch jest perturbowany głównie przez Słońce, a skutkiem jest to, że węzły orbity Księżyca obiegają ekliptykę w ciągu 18,6 roku, czyli w skali astronomicznej bardzo szybko. To z kolei ma odbicie np. w okolicach zaćmień, bowiem aby nastąpiło zaćmienie, Księżyc musi znajdować się albo w nowiu, albo w pełni i zarazem dostatecznie blisko któregoś węzła swojej orbity.

W świecie realnym perturbacja jest złożeniem tych trzech składowych, w dodatku działających ciągle i z różnym nasileniem. Skutki dają się obliczać, ale machanie rękami już do tego nie wystarcza.

Małą Deltę przygotował Tomasz KWAST