

5 mała delta

Sonda o ścianę

Kiedy w gazetach codziennych pojawiły się doniesienia o przelotach amerykańskich sond kosmicznych w pobliżu wielkich planet, obok wzmianek o odkryciach nowych księżyców, pierścieni itp., pojawiły się również informacje o wykonywaniu przez te sondy tzw. manewru grawitacyjnego.

Ciało o małej masie w polu grawitacyjnym wielkiej masy (sonda w polu planety) spada na tę wielką masę. I spadając przyspiesza. Gdy spadek nie zaczyna się od zerowej prędkości, to może się zdarzyć, że mała masa nie upadnie na wielką, tylko minie ją z wielką prędkością. Oddalając się będzie przez pole wielkiej masy opóźniana. Nasuwa się tu pytanie, czy szybkość małej masy będzie po takim manewrze taka sama jak przed nim, a zmieni się tylko kierunek. Okazuje się, że na ogół nie tylko kierunek się zmienia. Mała masa

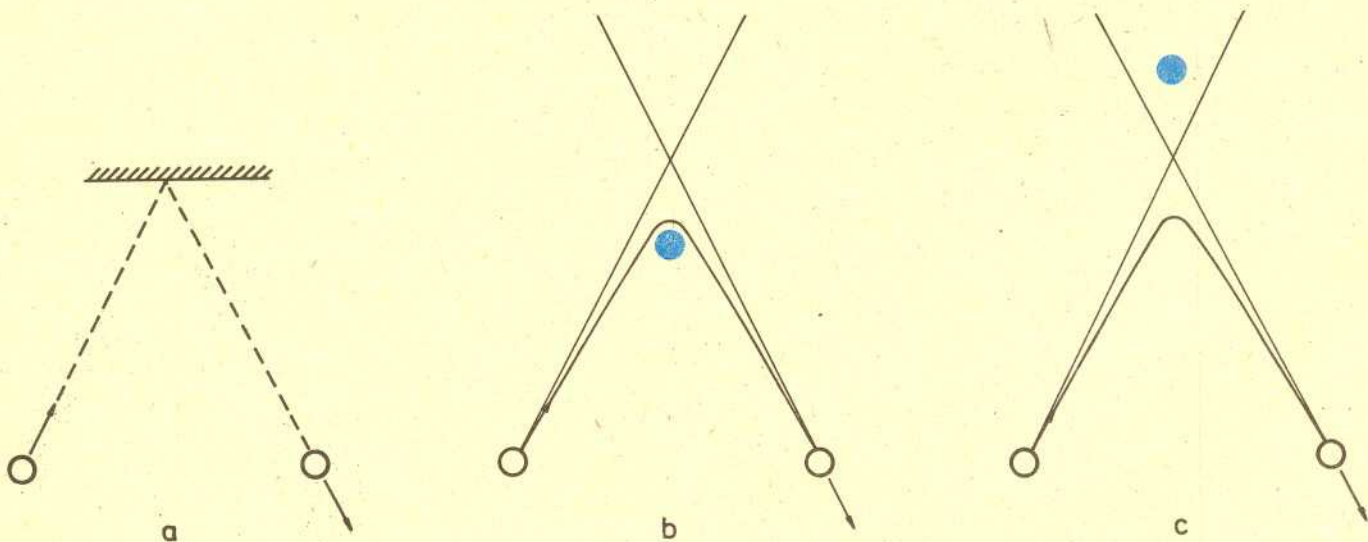
(sonda) może być przez wielką masę (planetę) sumarycznie przyspieszana bądź opóźniana, bo całe zjawisko nie jest na ogół symetryczne. I to wykorzystali planujący lot inżynierowie.

Nie będziemy tutaj bliżej analizować manewru grawitacyjnego, ale zajmiemy się podobnym zjawiskiem. Będziemy obserwowali zderzenie kuli z poruszającą się ścianą.

Jeżeli zderzają się centralnie i sprężyste dwie kulki: jedna o masie m i prędkości v i druga o masie M i prędkości V , to ich prędkości v_k i V_k po zderzeniu można obliczyć z (wyprowadzonych w szkole) wzorów

$$v_k = \frac{m - M}{m + M}v + \frac{2M}{m + M}V,$$

$$V_k = \frac{M - m}{M + m}V + \frac{2m}{M + m}v.$$



Zderzenia:

- zwyczajne ze ścianą,
- dwóch cząstek przyciągających się,
- dwóch cząstek odpychających się.

Widać, że bez względu na mechanizm samego zderzenia jego skutki mogą być identyczne.

Stosuje się to do kulki i ściany w ten sposób, że zakładamy, iż $M + m \approx M$ jest dobrym przybliżeniem (czyli że kulka jest mała i istotnie odbija się od ściany, a nie rozбивa ściany). Skoro tak, to dla kulki i ściany mamy (proszę sprawdzić)

$$\mathbf{v}_k = -\mathbf{v} + 2\mathbf{V},$$

$$\mathbf{V}_k = \mathbf{V}.$$

Zatem ściana nie zmienia (praktycznie) swojego ruchu, natomiast szybkość kulki zmienia się o $2V$ (szybkość to wartość bezwzględna prędkości; ponieważ $\mathbf{v} \parallel \mathbf{V}$ i zwrot \mathbf{v} jest przeciwny niż \mathbf{V} , więc

$$|-\mathbf{v} + 2\mathbf{V}| - |\mathbf{v}| = |-\mathbf{v}| + |2\mathbf{V}| - |\mathbf{v}| = |2\mathbf{V}| = 2V).$$

Oczywiście, byłoby przyjemniej wytłumaczyć tę zmianę szybkości bez pomocy wzorów. I można to zrobić. Z punktu widzenia obserwatora poruszającego się wraz ze ścianą kulka przed odbiciem ma prędkość $\mathbf{v} - \mathbf{V}$, a po odbiciu (zgodnie z naszym codziennym doświadczeniem, jeśli chodzi o kulki odbijające się od ścian) prędkość $-\mathbf{v} + \mathbf{V}$, czyli w układzie nieruchomego obserwatora $-\mathbf{v} + 2\mathbf{V}$. Otrzymaliśmy ten sam wynik – zwiększenie szybkości kulki – na znacznie prostszej drodze.

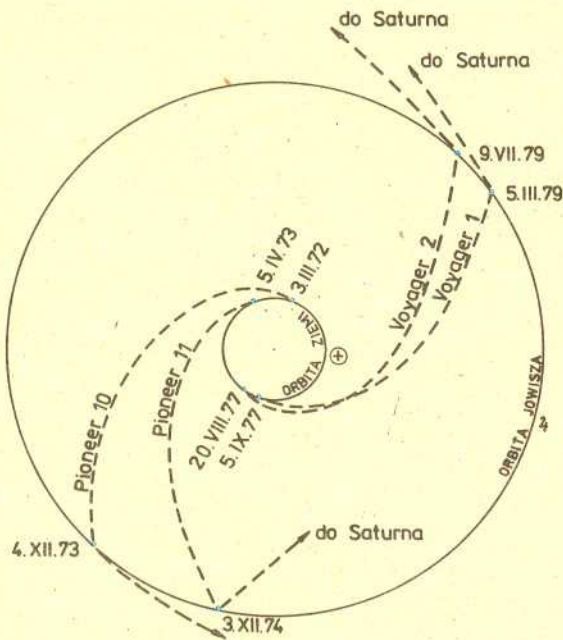


Proponuję teraz Czytelnikowi zbadanie w podobny sposób, jaka będzie zmiana szybkości kulki, gdy zderzenie nie będzie centralne i gdy ściana nie będzie się przesuwać prostopadle do swojej powierzchni. Tam, gdzie będzie to kłopotliwe, można ułatwić sobie zadanie przyjmując, że promień kulki jest bardzo, bardzo mały.

A teraz pytanie, czy można oddziaływanie kulka – ściana uważać za (choćby bardzo przybliżony) model oddziaływania sonda – planeta. Po pierwsze ten drugi układ nie jest inercjalny. Ale jeśli mówić o krótkim okresie (np. tydzień), nie jest to złe przybliżenie. Można tor planety na przestrzeni kilkuset tysięcy kilometrów (będący łukiem elipsy) zastąpić z powodzeniem odcinkiem. Tylko czy można znaleźć rozsądną analogię między odbiciem sprężystym a przyciąganiem grawitacyjnym?

I drugie pytanie. Tym razem o kulkę i ścianę. Czy tu nie zostało coś poplątane z zachowaniem energii i pędu? Bo przecież ze ścianą „nie stało się nic”, a kulka zmieniła zarówno energię, jak i pęd.

Małą Deltę przygotował Maciej KRZYŻANOWSKI



Schemat lotu Pioneera 11. Został on wysłany ku Jowiszowi tak, aby po „zderzeniu” z nim wszedł na orbitę prowadzącą go ku Saturnowi. Taki lot okrężną drogą wymagał zużycia przy starciu z Ziemi mniej energii, niż gdyby sonda wyruszyła bezpośrednio ku Saturnowi. Manewr taki wykonały również oba Voyagery.