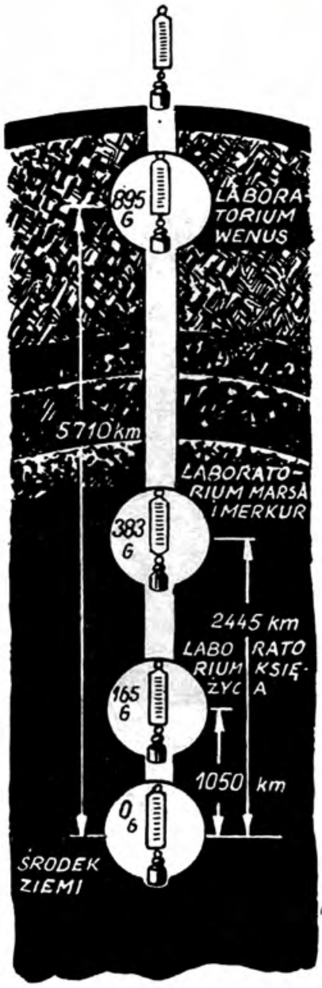
Uwaga! astronauci!

Chcecie latać pojazdami kosmicznymi? Chcecie zostać ich konstruktorami? Zastanówcie się więc nad kilkoma problemami, które będziecie mieli do rozwiązania. Dotyczą one jednego tylko zjawiska — grawitacji. Wystarczą jednak do zilustrowania, jak ważną dla przyszłych astronautów jest gruntowna znajomość — fizyki.



Rys. 1

Laboratoria grawimetryczne we wnętrzu Ziemi

Gdy kiedyś dostaniemy się za pomocą rakiet na Księżyc i planety, przekonamy się, że masa odważnika, który na Ziemi na sprężynowej wadze pokazywał 1 kG ciężaru, waży tu na tej samej wadze mniej. Ciężar bowiem masy kilogramowego odważnika zależy od siły przyciągania, jaką na odważnik wywiera ta czy inna planeta. Masy i wymiary planet są na ogół różne od ziemskich i stąd — w myśl prawa Newtona — muszą powstać różnice, dające się stwierdzić za pomocą wagi sprężynowej. Dlaczego wagi sprężynowej, musicie domyślić się sami.

Zasadniczo istnieje teoretyczna możliwość wywołania w warunkach ziemskich zjawiska, polegającego na tym, że odważnik kilogramowy uciska sprężynę wagi z mniejszą siłą niż jeden kG. Ale w tym celu trzeba w głębi Ziemi w odpowiedniej odległości od jej środka pobudować odpowiednie laboratoria „grawimetryczne", czyli przeznaczone do wymierzania siły ciężkości.

Na rysunku 1 widzicie „projekt" takich laboratoriów. Ich odległości od środka Ziemi są tak dobrane, żeby w danym laboratorium panowały warunki grawitacyjne odpowiadające oznaczonej planecie czy Księżycowi.

W samym środku Ziemi grawitacji nie ma całkiem, podobnie jak nie będziemy jej odczuwali kiedyś na sztucznym księżycu.

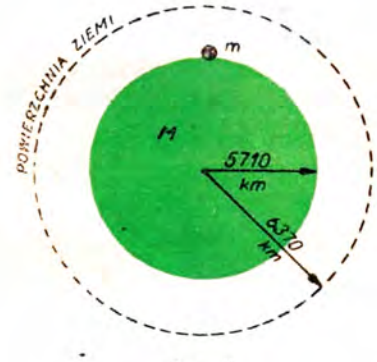
Z tych wywodów wynikałoby, że im głębiej zapuszczamy się do wnętrza Ziemi, tym jej siła przyciągania maleje. Jednakże wzór Newtona takich sądów nie nasuwa. Mamy tu swego rodzaju paradoks grawitacyjny, czyli zjawisko niezgodne (ale tylko — pozornie!) z prawami przyrody.

Wzór Newtona na wielkość siły ciążenia między masą wielkości jednostki a masą centralną, np. Ziemią, ma postać

$$G = \frac{kM}{r^2},$$

gdzie G — to szukana siła przyciągania, czyli ciężar jednostkowej masy (np. kilogramowego odważnika), k — stała grawitacji, M — masa centralna. Z wzoru wynika, że gdy r, czyli odległość od środka Ziemi — maleje, G powinno wzrastać i to w stosunku kwadratu. Ale i o tym nie wolno zapominać, że równocześnie maleje także ta część masy centralnej, którą trzeba wstawić do wzoru.

Albowiem w przypadku np. laboratorium „Wenery" tylko kula o promieniu 5710 km działa na nasz odważnik, natomiast warstwa kulista ponad nim działania przyciągającego nań nie wywiera (rys. 2).



Rys. 2

Ubytek siły ciążenia zachodzi proporcjonalnie do ubytku długości promienia.

Jeżeli do wzoru Newtona zamiast masy M wstawimy objętość kuli ziemskiej $4/3\pi r^3$ pomnożoną przez jej średnią gęstość „d", to po uproszczeniu otrzymamy postać:

$$G = 4/3\, k\, d\, \pi\, r$$

A więc wielkość siły ciążenia G jest wprost proporcjonalna do promienia r. Im bliżej środka Ziemi, tym siła przyciągania mniejsza. W samym środku zarówno r, jak i siła przyciągania są równe zeru.

Dla ścisłości warto zaznaczyć, że wprawdzie do obliczeń przyjmuje się jako gęstość Ziemi średnią wartość 5,52 kg/dm³, jednakże faktycznie gęstość Ziemi w miarę zbliżania się ku środkowi rośnie. Już laboratoria „Marsa i Merkurego" znajdują się wewnątrz metalicznego jądra Ziemi, gdzie gęstość wynosi 10 kg/dm³. A zatem miary podane na rys. 1 trzeba przyjąć właśnie z tym zastrzeżeniem.

Oczywiście nasze rozważania na temat laboratoriów we wnętrzu Ziemi należy traktować jako fantazję, gdyż środki techniczne, jakimi dysponuje człowiek dzisiejszy, jeszcze długo nie pozwolą na urzeczywistnienie podobnych pomysłów.

I drugi paradoks grawitacyjny.

Na planetach znacznie większych od Ziemi pod względem masy powinien odważnik kilogramowy ważyć (oczywiście na wadze sprężynowej) więcej niż na Ziemi. Tymczasem na Neptunie, który ma masę 17,3 raza większą od Ziemi, nasz odważnik waży równo... 1 kilogram, a na Uranie (14,6 masy Ziemi) — nieco... mniej niż 1 kg.

Czytelnik winien w lot zmiarkować, że w grę muszą wchodzić długości promieni kul tych planet, odpowiednio większe od promienia Ziemi. I rzeczywiście, promień Neptuna jest 4,15 raza większy od ziemskiego. Liczba ta podniesiona do kwadratu daje 17,22, a więc niemal 17,3. Skutkiem większej masy siła ciążenia powinna na Neptunie być 17,3 raza większa, skutkiem długości jego promienia — tyleż razy mniejsza. W rezultacie kilogramowa masa waży na powierzchni Neptuna tyleż co na Ziemi, czyli 1 kg.

Ponieważ promień Uranu jest 3,9 raza większy od ziemskiego, a $3{,}9^2$ to jest 15,21, przeto ciężar odważnika na powierzchni tej planety wynosi $\frac{14{,}6}{15{,}21}$, czyli 0,96 kg.

Jak z tego widać, do oceny siły grawitacji trzeba brać pod rozwagę i wielkość masy centralnej, i promień jej kuli. Np. księżyc ma masę około 81 razy mniejszą niż Ziemia, ale grawitacja na nim jest mniejsza tylko około 6 razy, bo promień mniejszy od ziemskiego wpływa odpowiednio na jej wzrost.

„Z góry i pod górę"

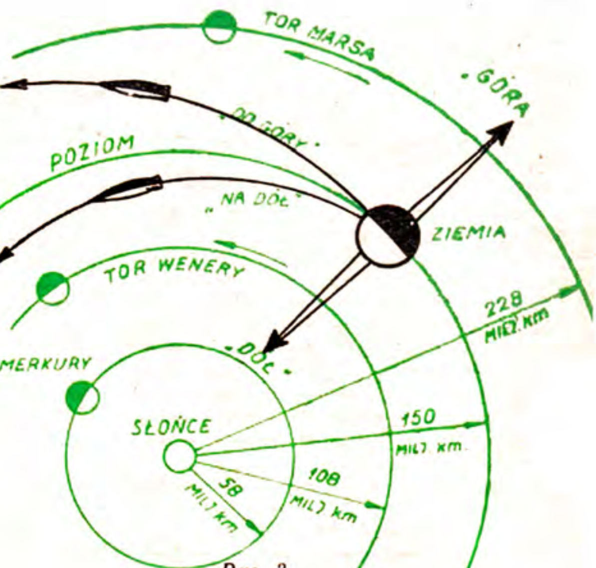
A teraz trochę wiadomości na temat ruchu rakiet w polu grawitacji słonecznej. Gdy już wiek „rakietowy" nastanie w całej pełni, dziesiątki „rakietobusów" będą krążyć między różnymi planetami. Ale ruch jednych będzie opóźniony, czyli szybkości ich będą maleć, inne znów będą poruszać się ruchem przyspieszonym, mimo iż w jednym i w drugim wypadku silniki będą wyłączone.

W bardzo górzystym terenie i ziemskie pojazdy zjeżdżając na dół — przyspieszają biegu niezależnie od pracy silnika, a wyjeżdżając pod górę — zwalniają tempo. Czyżby zatem w przestrzeni międzyplanetarnej były góry i doliny? Jedna rakieta miałaby zjeżdżać w dół, gdy inna „drapałaby się" pod górę?

Tak będzie w rzeczywistości. Jazda w górę względnie na dół na Ziemi odpowiada oddalaniu się względnie zbliżaniu pojazdu ku środkowi Ziemi. Opóźnienie szybkości lub jej przyspieszenie powstaje pod wpływem działania siły przyciągania Ziemi.

Ale przecież już w odległości Księżyca grawitacja ziemska jest bardzo nieznaczna. Czyżby w odległościach wynoszących wiele milionów kilometrów to działanie nie było jeszcze wielekroć słabsze?

Otóż w grę wchodzi tam przyciąganie ze strony Słońca. Droga z Ziemi na planety prowadzi albo do planet zewnętrznych, czyli do zwiększania odległości od masy centralnej, albo też do planet wewnętrznych, leżących bliżej Słońca niż Ziemia, czyli do zmniejszania dystansu dzielącego rakietę od Słońca. A to wywołuje ubytek albo przyrost szybkości. Pędząc z Ziemi np. na Marsa rakieta „drapie się" pod słoneczną „górę", czyli wykonuje pracę przeciwko sile grawitacji Słońca, a stąd strata na energii kinetycznej i ubytek na szybkości. Podczas jazdy na planetę Wenus pojazd „spada" w polu słonecznym, zyskując na szybkości (rys. 3).



Rys. 3

Zmiany szybkości rakiet podczas podróży międzyplanetarnych, wynikające ze zmiennej odległości od Słońca, będą oczywiście różne, w zależności od każdorazowej odległości, która przecież decyduje o wielkości siły grawitacji słonecznej. Bowiem siły o różnej wielkości nadają tym samym masom różne przyspieszenia względnie opóźnienia.

Np. na orbicie Marsa siła przyciągania słonecznego jest 2,3 raza mniejsza niż na orbicie Ziemi. Odpowiednio więc do tego jej działanie na rakietę będzie słabsze. A skąd się wzięła liczba właśnie 2,3, a nie inna, policzcie sami stosując prawo Newtona (odwrotnych kwadratów) do liczb podanych na rys. 3.

Eustachy Białoborski