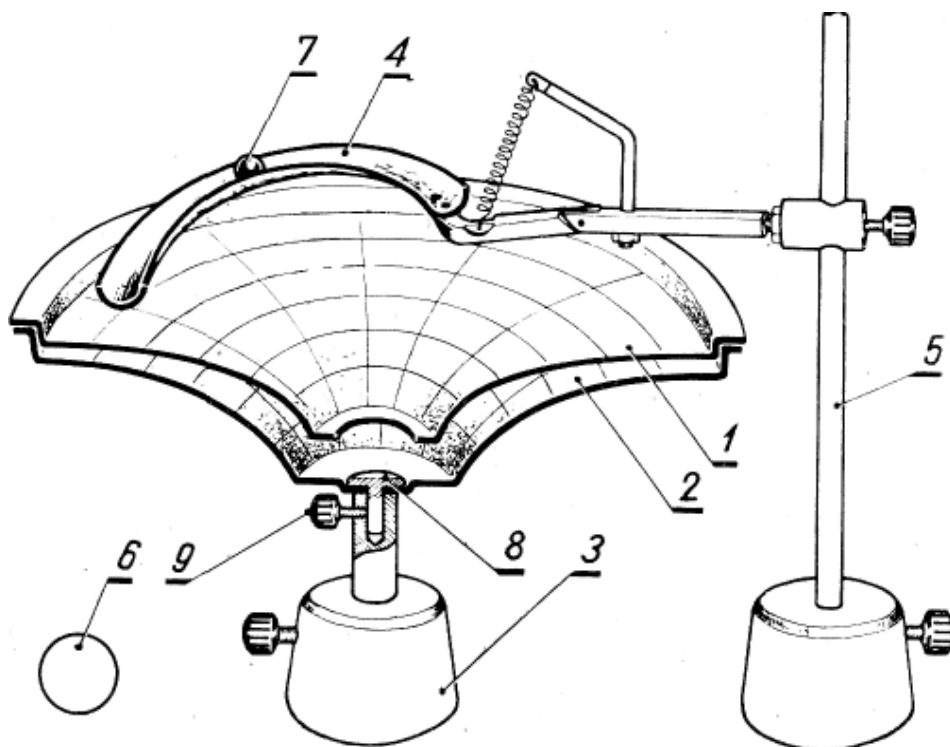


PRZYRZĄD DO DEMONSTROWANIA WŁASNOŚCI POŁA GRAWITACYJNEGO

V 6 – 96

I. Budowa przyrządu

Przyrząd jest zbudowany z dwóch powierzchni o kształcie hiperboloid obrotowych (1), (2) zamocowanych na metalowej podstawie (3) przy pomocy łącznika (8), przytrzymywanego śrubą (9) oraz rynienki (4) zamocowanej ruchomo na statywie (5) służącej do nadawania małym kuleczkom (śrutom) stalowym (7) żądanej prędkości początkowej. Powierzchnia (1) obrazująca pole grawitacyjne Ziemi ma w centralnej części wycięcie koliste, w którym w trakcie obserwacji można umieszczać kuleczkę pingpongową (6) imitującą Ziemię.



Rys. 1

2. Zasada działania, przyrządu

Powierzchnia -hiperboloida obrotowa powstająca z obrotu ujemnej części hiperboli $y = -\frac{A}{X}$ dookoła osi OY ma tę własność, że ciało umieszczone na tej powierzchni doznaje działania siły analogicznej do siły ciężkości, zwróconej w stronę osi symetrii hiperboloidy, zależnej odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości tego ciała od osi symetrii powierzchni. Zależność ta jest analogiczna do zależności siły przyciągania grawitacyjnego we Wszechświecie. Stąd ciało umieszczone na tej powierzchni i posiadające pewną prędkość początkową będzie wykonywało analogiczne ruchy jak ciało umieszczone w rzeczywistym polu grawitacyjnym.

3. Zastosowanie przyrządu

Przyrząd ten pozwala nam prześledzić z pewnym uproszczeniem zjawiska zachodzące we Wszechświecie, a mianowicie:

- zależność siły grawitacyjnej od odległości od środka ciała niebieskiego,
- zmianę energii potencjalnej ciała wraz ze wzrostem odległości ciała od środka ciała niebieskiego,
- zachowanie się ciała umieszczonego w pewnym punkcie pola grawitacyjnego z pewną prędkością początkową,
- istotę I i II prędkości kosmicznej,
- sprawdzenie I i II prawa Keplera,
- wykazanie ruchu postępowego i wirowego Ziemi.

Efekty uzyskiwane przy pomocy przyrządu mają charakter przybliżony z dwóch zasadniczych względów:

1° – przyrząd przedstawia zależności zachodzące w przestrzeni czterowymiarowej XYZ (E_p – energia potencjalna), uproszczone do przestrzeni trójwymiarowej XYE_p .

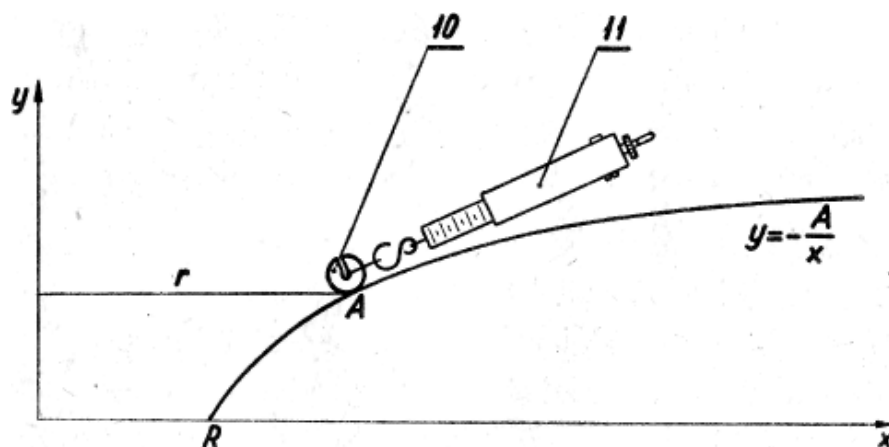
2° – ponieważ ciało poruszające się we Wszechświecie jest imitowane na przyrządzie przez kulkę stalową poruszającą się po powierzchni ruchem obrotowym (a nie postępowym), ruch tej kulki jest hamowany przez tarcie występujące między nią a powierzchnią. Tarcie to powoduje zmniejszenie się prędkości kulki i opadanie jej w dół powierzchni. Jest to zjawisko analogiczne do wyhamowania pojazdów kosmicznych w atmosferze ziemskiej.

4. Sposób posługiwania się przyrządem (przykłady pokazów)

Przyrząd złożyć wg rys. 1

ad a) *Demonstracja zależności siły grawitacyjnej od odległości ciała od środka masy.*

Na płaszczyźnie (1) umieszczamy obciążniki (10) o masie 100 g połączone np. cienkim drucikiem z siłomierzem (11) o zakresie pomiaru od 0 – 1 N (patrz rys. 2). Siła działająca na sprężynę siłomierza zależy wyraźnie od odległości ciała od osi symetrii powierzchni i maleje wraz z oddalaniem się ciała od środka.



Rys. 2

ad b) *W punkcie A ciało o masie m ma energię potencjalną względem powierzchni Ziemi, obrazowanej przez dno przyrządu, wyrażoną wzorem:*

$$E_p = mgh = mg \left[-\frac{A}{r} - \left(-\frac{A}{R} \right) \right] = mg \left(\frac{A}{R} - \frac{A}{r} \right) = mgA \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right)$$

Szczególnie ważną rolę odgrywa energia potencjalna ciała umieszczonego w punkcie A w odniesieniu do punktów w nieskończoności.

$$E_p = mgA \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{r} \right) = -\frac{mgA}{r}$$

Potencjałem punktu A nazywamy

$$V_A = -\frac{E_p}{m} = \frac{-\frac{mgA}{r}}{m} = -\frac{gA}{r}$$

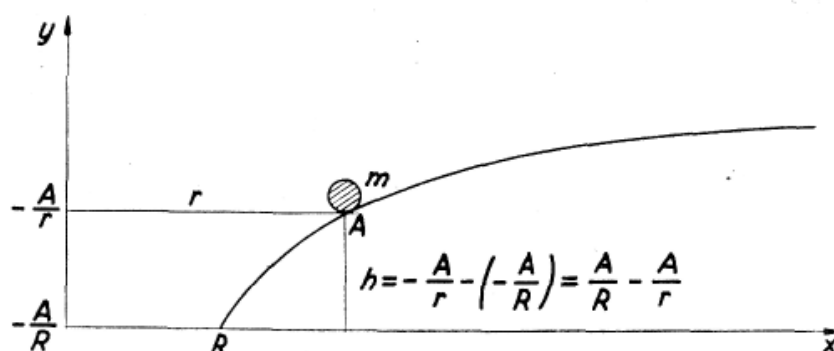
Jak widać wzór jest analogiczny do rzeczywistego wzoru na potencjał punktu pola grawitacyjnego. Punkt w nieskończoność jest obrazowany na modelu z pewnym przybliżeniem, ze względu na niezbyt duże rozmiary przyrządu, przez skrajną krawędź przyrządu.

ad c) *Jeżeli ciało umieścić w punkcie A bez prędkości początkowej*, to pod wpływem siły ciężkości będzie ono poruszało się z pewnym przyspieszeniem zmiennym, zależnym od kąta nachylenia powierzchni do poziomu. Jeżeli ciało temu nadać pewną prędkość w kierunku poziomym, to ciało to poruszać się będzie równocześnie pod wpływem działania dwóch sił: siły ciężkości ściągającej go w stronę środka i odśrodkowej siły, bezwładności, utrzymującej go w ruchu orbitalnym. W wyniku działania tych sił ciało porusza się po pewnej orbicie eliptycznej. Parametry tej orbity zależą w danym polu grawitacyjnym od prędkości początkowej ciała.

Na przyrządzie otrzymujemy tę prędkość przez rozpadzenie kulki w rynience i skierowanie jej na powierzchnię (1) w odpowiednim punkcie i odpowiednim kierunku.

ad d) *I prędkość kosmiczna*

Jeżeli za punkt wyrzutu przyjąć powierzchnię Ziemi i tu nadawać ciało prędkości styczne – poziome, to wtedy odpadają wszystkie te orbity, w których ciało najpierw zbliża się w stronę środka, czyli gdzie siła przyciągająca grawitacyjna jest większa od siły odśrodkowej. Prędkość, przy której następuje zrównanie tych sił nazywamy I prędkością kosmiczną i przy tej prędkości odległość ciała od środka Ziemi nie zmienia się, więc ciało porusza się po okręgu o środku w środku Ziemi. Prędkość tę można uzyskać na modelu złożonym wg rys. 1 metodą kilku kolejnych prób, tak dobierając prędkość początkową kuleczki, aby po wykonaniu pełnego obrotu po orbicie mniej więcej kołowej wróciła ona do 1 miejsca startu.



Rys. 3

II prędkość kosmiczna – tzw. prędkość ucieczki

Aby ją uzyskać, należy nadać ciału taką energię kinetyczną, która przewyższy energię potencjalną tego ciała w punkcie A mierzoną względem nieskończoności. Za pomocą rynienki należy tak rozprędzić kuleczkę, aby wyrwała się do nieskończoności, tj. dotarła do powierzchni krawędzi (1) przyrządu.

Bardzo łatwo zauważyć, że prędkość ta zależy od odległości punktu A od środka i im punkt ten jest bliżej środka, tym prędkość ta jest większa.

ad e) Na przyrządzie można otrzymać ładny *efekt ruchu orbitalnego* nadając kuleczce prędkość początkową nie przy pomocy rynienki, lecz za pośrednictwem ruchów samej powierzchni. Utrzymując przyrząd za podstawę nadajemy mu ruchy obiegowe tak, aby kuleczka na samej powierzchni wykonywała ruchy obiegowe najpierw po dnie przyrządu, a przy zwiększonej szybkości na samej powierzchni hiperboloidalnej. Przy pewnej wprawie można otrzymać efekt niemal idealnego ruchu orbitalnego przy czym orbita ruchu kulki jest elipsą, której ognisko leży na osi symetrii powierzchni, a jest to treść prawa Keplera, ponieważ oś symetrii zawiera środek pola grawitacyjnego. Bardzo łatwo zauważyć, że blisko środka powierzchni kulka porusza się szybko a dalej wolno, co jest równoznaczne treści II prawa Keplera, tzw. stałej prędkości połowej.

ad f) Jeżeli kuleczkę pingpongową (6) obrazującą Ziemię rozprędzić do ruchu orbitalnego na żółtej powierzchni (2) obrazującej pole grawitacyjne Słońca, to po wykonaniu kilku obrotów kuleczka będzie się poruszała w ten sposób, że płaszczyzna „równika ziemskiego” będzie przyjmowała w przestrzeni położenia równoległe. W ten sposób kuleczka ta wykonuje te same ruchy – wirowy i obiegowy co Ziemia w polu grawitacyjnym Słońca.

Opracowano w Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego na podstawie:

Przyrząd do demonstrowania własności pola grawitacyjnego

Nr kat. V 6 – 96

Produkowano:

BIOFIZ

ZJEDNOCZENIE PRZEMYSŁU POMOCY NAUKOWYCH I ZAOPATRZENIA SZKÓŁ WARSZAWA

Fabryka Pomocy Naukowych w Łodzi

Zestaw został zatwierdzony przez Ministerstwo Oświaty do użytku szkolnego.

Instrukcja zatwierdzona

Instrukcję napisał – Jan Kuta, rysunki wykonał – Wacław Piotrowski

Źródło: ze zbiorów Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego