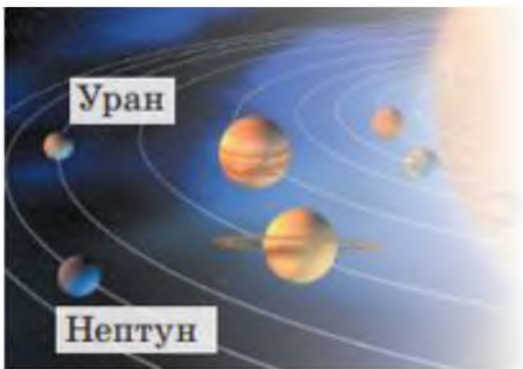


Урок №44-45

Тема уроку: Гравітаційна взаємодія. Закон всесвітнього тяжіння

Мета уроку:

- *освітня:* сформулювати поняття гравітаційних сил; вивчити закон всесвітнього тяжіння, ознайомити учнів з історією його відкриття, показати межі застосування закону, його універсальний характер та практичне значення;
- *розвивальна:* розвивати логічне та алгоритмічне мислення;
- *виховна:* виховувати культуру наукового мислення та впевненість у своїх здібностях та знаннях.



Шість із восьми планет Сонячної системи були відкриті завдяки спостереженням за зоряним небом. Саме так у 1781 р. англійський астроном Джон Гершель відкрив Уран. Утім, планета «поводилася» дивно: її орбіта не відповідала розрахункам, заснованим на законі всесвітнього тяжіння. Учені припустили, що поряд є ще

одна планета, яка впливає на рух Урану, та почали шукати її за допомогою... математики. Розрахувати орбіту нової планети вдалося англійцю Джону Адамсу і французу Урбену Левер'є. 23 серпня 1846 р. німецький астроном Йоганн Галле направив телескоп на місце, вказане Левер'є, і... побачив планету! Нептун — восьма планета Сонячної системи — стала першим космічним об'єктом, відкритим «на кінчику пера». Про закон, який дозволив зробити це відкриття, ви згадаєте в цьому параграфі.

Як визначити силу гравітаційного притягання



«Місяць упав би на Землю як камінь, щойно зникла б сила його польоту».

Плутарх
(бл. 46 — бл. 127 рр.)



«Тяжіння є взаємним прагненням усіх тіл. Якби Землю і Місяць не утримувала на орбітах їх оживляюча сила, то Земля і Місяць злилися б... Якби на Землі не існувало тяжіння, океани ринули б на Місяць».

Й. Кеплер (1571–1630)



Гравітаційна взаємодія — взаємодія, яка є властивою всім тілам у Всесвіті та виявляється в їхньому взаємному притяганні одне до одного. Гравітаційна взаємодія здійснюється за допомогою **гравітаційного поля**, яке існує навколо будь-якого тіла: зорі, планети, людини, молекули тощо.



«Дотепер я пояснював небесні явища та припливи наших морів на підставі сили тяжіння, але я не зазначав причин власне тяжіння».
І. Ньютон (1643–1727)



«У наш час тяжіння нікого не дивує — воно стало звичайним незрозумілим явищем».
Е. Мах (1838–1916)

Отримаємо закон *всесвітнього тяжіння*, йдучи за логікою міркувань І. Ньютона, якому й належить честь відкриття цього закону.

1. Завдяки гравітаційній взаємодії Земля надає всім тілам поблизу її поверхні прискорення $g=F/m$ (другий закон Ньютона). Утім, це прискорення не залежить від маси тіла — це є можливим, якщо сила гравітаційної взаємодії прямо пропор-

ційна масі тіла ($F \sim m$):

2. Два тіла масами m_1 і m_2 взаємодіють із рівними за модулем силами (третій закон Ньютона): $F_1=F_2 = F$ (рис.1). При цьому $F_1 \sim m_1, F_2 \sim m_2$. Отже, *сила гравітаційної взаємодії двох тіл прямо пропорційна добутку мас цих тіл*:

$$F \sim m_1 \cdot m_2 \quad (1)$$

3. Проаналізувавши рух Місяця навколо Землі та спираючись на закони Кеплера (закони обертання планет навколо Сонця), Ньютон також довів, що *сила гравітаційного притягання двох тіл обернено пропорційна квадрату відстані між ними*:

$$F \sim \frac{1}{r^2} \quad (2)$$

Об'єднавши висновки (1) і (2), І. Ньютон одержав **закон всесвітнього тяжіння**:

Будь-які два тіла притягуються одне до одного з силою, яка прямо пропорційна добутку мас цих тіл і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.
Як і будь-який закон, закон всесвітнього тяжіння має певні межі застосування (рис. 2).

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3)$$

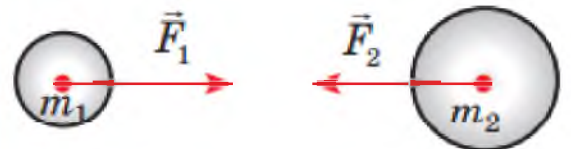
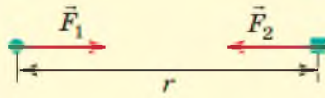


Рис. 1. Сили, з якими тіла притягуються одне до одного, рівні за модулем і протилежні за напрямком

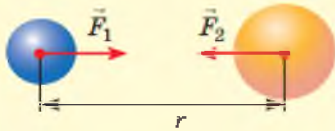
Уже в ХХ ст. було з'ясовано: коли гравітаційні поля настільки сильні, що розганяють тіла до швидкостей порядку швидкості світла, або коли частинки, що пролітають поблизу масивних тіл, ще на віддалі мають швидкість, порівнянну зі швидкістю світла, силу гравітаційного притягання не можна розрахувати за законом всесвітнього тяжіння.

Закон всесвітнього тяжіння справджується в таких випадках:

- якщо обидва тіла є матеріальними точками



- якщо обидва тіла мають кулясту форму зі сферичним розподілом речовини



- якщо одне з тіл, що взаємодіють, — куля, розміри та маса якої значно більші, ніж розміри та маса другого тіла

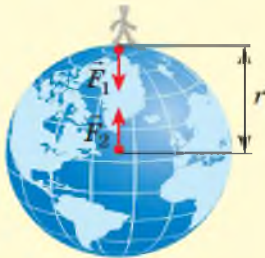


Рис. 2 Межі застосування закону всесвітнього тяжіння

У загальному випадку тяжіння описується загальною теорією відносності.

Як виміряти гравітаційну сталу

Гравітаційна стала G — одна з фундаментальних констант у фізиці. За сучасними даними, значення гравітаційної сталої становить:

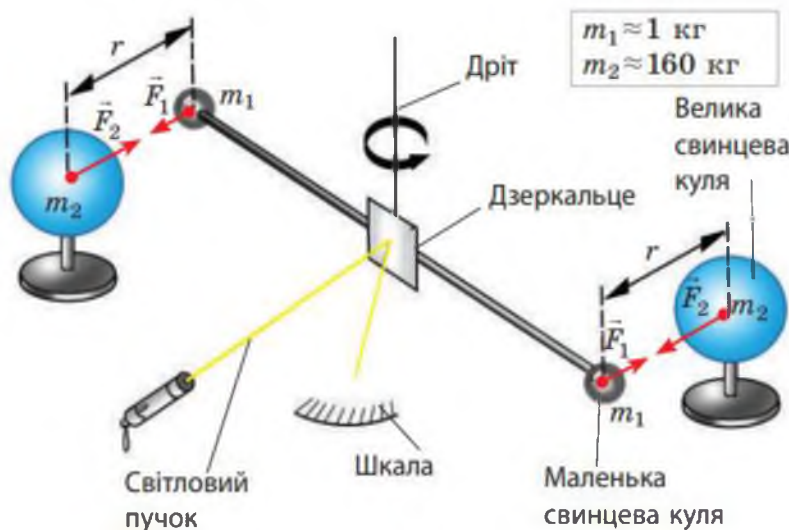
$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

Із формули (3) випливає: $G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2}$. Тобто, якщо $r = 1\text{ м}$, а $m_1 = m_2 = 1\text{ кг}$, то G чисельно дорівнює F .

Гравітаційна стала чисельно дорівнює силі гравітаційного притягання двох матеріальних точок масою 1 кг кожна, які перебувають на відстані 1 м одна від одної. У цьому й полягає фізичний зміст гравітаційної сталої.

Виміряти гравітаційну сталу доволі складно: гравітаційне притягання між тілами стає помітним лише за дуже великої маси хоча б одного з тіл.

Гравітаційну сталу вперше виміряв англійський учений *Генрі Кавендіш* (1731–1810) у 1798 р. за допомогою крутильних терезів (рис. 3).



- У результаті притягання куль дріт закручується. Кут закручування дроту реєструють на шкалі за поворотом світлового пучка, який відбивається від дзеркальця.
- За кутом закручування дроту визначають силу F гравітаційного притягання.
- Вимірюють відстань r між центрами куль.
- Знаючи маси m_1 і m_2 куль, обчислюють гравітаційну сталу: $G = F \frac{r^2}{m_1 m_2}$.

Прискорення вільного падіння:

$$g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$$

Проаналізувавши останню формулу, доходимо кількох висновків.

1. Прискорення вільного падіння не залежить від маси тіла (доведено Г. Галілеєм).

2. Прискорення вільного падіння зменшується в разі підняття тіла над поверхнею Землі (помітна зміна відбувається в разі підняття на десятки й сотні кілометрів).

3. Якщо тіло перебуває на поверхні Землі ($h = 0$) або поблизу неї $h \ll R_3$, прискорення вільного падіння обчислюють за формулою:

$$g_0 = G \frac{M_3}{R_3^2}$$

Поблизу поверхні Землі прискорення вільного падіння відоме ($g_0 = 9,8 \text{ м/с}^2$), отже, можемо визначити масу Землі:

$$M_3 = \frac{g_0 R_3^2}{G}$$

Зазначимо, що через обертання Землі, а також через те, що форма Землі — *геоїд*, прискорення вільного падіння залежить від географічної широти місцевості (рис. 5).

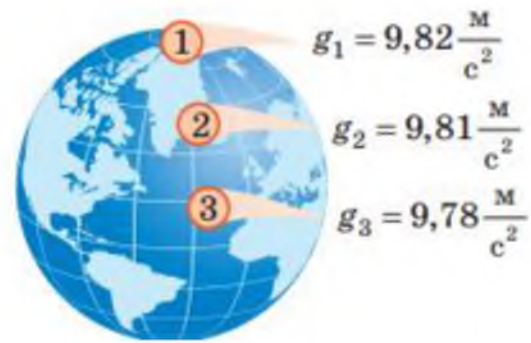


Рис. 5. Модуль прискорення вільного падіння на екваторі є трохи меншим, ніж на полюсах

Прискорення вільного падіння в певній місцевості може відрізнятися від його середніх значень на даній широті. Причини — в неоднорідності будови земної кори, наявності гір і западин; у різній густині порід, що залягають у надрах Землі. Так, зменшення прискорення вільного падіння часто свідчить про наявність у надрах торфу, нафти, газу; збільшення — про поклади металевих руд.

Метод пошуку покладів корисних копалин за точним визначенням прискорення вільного падіння називають *гравіметричною розвідкою*.

Задача 1. З якою силою притягується до станції масою 180 т транспортний космічний корабель масою 9 т у разі, якщо корабель перебуває на відстані 50 м

Дано:

$$m_1 = 180 \text{ т}$$

$$= 180 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$m_2 = 9 \text{ т}$$

$$= 9 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$$r = 50 \text{ м}$$

G

$$= 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

$$F - ?$$

Розв'язання

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$[F] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \cdot \frac{\text{кг} \cdot \text{кг}}{\text{м}^2} = \text{Н}$$

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{180 \cdot 10^3 \cdot 9 \cdot 10^3}{50^2} = \frac{10805 \cdot 10^{-5}}{2500}$$

$$\approx 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ (Н)}$$

Відповідь: $F = 43 \text{ мкН}$.

від станції?

Задача 2. У порту на відстані 200 м один від одного стоять два танкери, маса одного з них становить 150 000 т. Визначте масу іншого, якщо сила гравітаційного притягування між ними становить 20 Н.

Дано:

$$r = 2 \cdot 10^2 \text{ м}$$

$$m_1 = 150000 \text{ т}$$

$$= 15 \cdot 10^7 \text{ кг}$$

$$F = 20 \text{ Н}$$

G

$$= 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

$$m_2 - ?$$

Розв'язання

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \Rightarrow m_2 = \frac{F r^2}{G m_1}$$

$$[m_2] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \cdot \text{кг}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} = \text{кг}$$

$$m_2 = \frac{20 \cdot (2 \cdot 10^2)^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 15 \cdot 10^7} = \frac{80 \cdot 10^4}{100 \cdot 10^{-4}}$$

$$= 0,8 \cdot 10^8 \text{ (кг)}$$

Відповідь: $m_2 = 80000 \text{ т}$.

Задача 3. У якій точці прямої, що з'єднує центри Землі і Місяця вони діють на корабель з однаковою силою? Відстань від Місяця до Землі дорівнює 60 земним радіусам, а маса Місяця у 81 раз менша.

$x - ?$	<i>Розв'язання.</i>
$M_3 = 81M_m$	$F_1 = G \frac{M_3 m}{x^2} \qquad F_2 = G \frac{M_m m}{(R-x)^2}$
$R = 60 R_3$	$F_1 = F_2 \qquad G \frac{M_3 m}{x^2} = G \frac{M_m m}{(R-x)^2}$
	$\frac{81M_m}{x^2} = \frac{M_m}{(R-x)^2} \qquad \frac{81}{x^2} = \frac{1}{(R-x)^2}$
	$\frac{(R-x)^2}{x^2} = 81$
	$\frac{R-x}{x} = 9$
	$R-x = 9x$
	$10x = R$
	$x = \frac{R}{10} = \frac{60R_3}{10} \qquad x = 6R_3$

I. Узагальнення та систематизація знань

1. Як рухалися б планети, якби їх не притягувало Сонце?
2. Як формулюється закон всесвітнього тяжіння? Хто його відкрив?
3. У яких випадках можна застосовувати формулу закону всесвітнього тяжіння?
4. У чому полягає фізичний зміст гравітаційної сталої?
5. Чому не наближаються один до одного предмети в кімнаті, незважаючи на їхнє гравітаційне притягання?

II. Підведення підсумків уроку.

Отже, на сьогоднішньому уроці ми з вами розглянули тему, яку?
«Гравітаційна взаємодія. Закон всесвітнього тяжіння».

III. Оголошення домашнього завдання.

Запишіть домашнє завдання: опрацювати конспект і §12, впр.1 с.79 і задача:

1. На якій відстані один від одного знаходиться дві однакових кулі масами по 20 т, якщо сила притягання між ними $6,67 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$?

Зворотній зв'язок

Viber 0662728430

E-mail partitskiy.dmitro@kmrf.kiev.ua

!!!! у повідомленні з д/з не забуваєм вказувати прізвище, групу і дату уроку.