

Закон всесвітнього тяжіння.

Мета.

Освітня. Сформувати поняття гравітаційних сил; вивчити закон всесвітнього тяжіння, ознайомити учнів з історією його відкриття, показати межі застосування закону, його універсальний характер та практичне значення.

Розвиваюча. Розвивати мову, мислення; формувати інформаційну, комунікативну компетентності.

Виховна. Формувати світогляд учнів; виховувати інтерес до вивчення законів природи та історії фізики.

Тип уроку. Урок засвоєння нових знань.

Прилади та матеріали для роботи з учнями:

- Флеш – анімація [Ньютонова гармата](#)
- Флеш – анімація [Перша та друга космічна швидкість](#)
- Флеш – анімація [Вивід космічного корабля на орбіту](#)
- Флеш – анімація [Орбітальні переходи](#)
- Флеш – анімація [Штучні супутники землі](#)
- Флеш – анімація [Ракета](#)
- Флеш – анімація [Задачі на закон всесвітнього тяжіння](#)

План

1. Актуалізація опорних знань.
2. Вивчення нового матеріалу.
3. Вчимося розв'язувати задачі.
4. Запитання на закріплення вивченого.
5. Домашнє завдання.

Хід уроку

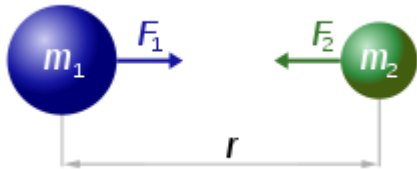
1. Актуалізація опорних знань.

1. Що називається вільним падінням тіла?
2. Чому дорівнює прискорення вільного падіння?
3. Чому в повітрі пір'їнка падає з меншим прискоренням, ніж камінець?
4. Хто першим прийшов до висновку про те, що вільне падіння є рівноприскореним рухом?
5. Чи діє сила тяжіння на підкинуте вгору тіло під час його підйому?
6. З яким прискоренням рухається підкинуте нагору тіло при відсутності опору повітря?
7. Чи можна застосувати перший закон Ньютона для падаючого тіла?
8. Як записати другий закон Ньютона для вільного падіння?
9. Як застосувати третій закон Ньютона для падаючого тіла і Землі?

2. Вивчення нового матеріалу.

Закон всесвітнього тяжіння був остаточно сформульований Ньютоном у 1687 році в роботі «Математичні начала натуральної філософії»:

Гравітаційне притягання існує між усіма тілами; будь-які два тіла, розмірами яких можна знехтувати, притягуються одне до одного з силою, що прямо пропорційна масам цих тіл і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:



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

F - сила всесвітнього тяжіння, **Н**;

m_1 і m_2 - маси взаємодіючих тіл, **кг**;

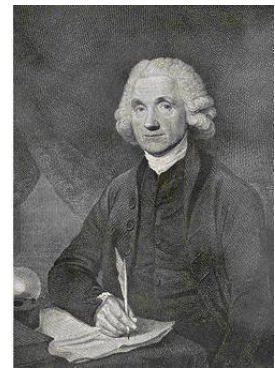
r – відстань між матеріальними точками (центрами куль), **м**;

G – гравітаційна стала (коефіцієнт пропорційності), **Н·м²/кг²**

Гравітаційна стала чисельно дорівнює силі, з якою притягуються два тіла масою по 1 кг кожне, що знаходяться на відстані 1 м одне від одного.

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

Гравітаційна стала не залежить від середовища, в якому перебувають тіла, від їхнього руху, фізичних та хімічних властивостей. Її числове значення вперше визначив дослідним шляхом у 1798 році англійський вчений Г. Кавендіш.



Гравітаційна сила, з якою Земля притягує до себе тіла, надаючи їм прискорення вільного падіння, називається **силою тяжіння**:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$$
$$F = m \cdot g$$



$$g = G \cdot \frac{M}{R^2}$$
$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$
$$R = 6,38 \cdot 10^6 \text{ м}$$
$$g = 9,8 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right)$$

З висотою над поверхнею Землі прискорення вільного падіння змінюється.

$$g_h = \frac{G \cdot M}{(R + h)^2} = \frac{g_0 \cdot R^2}{(R + h)^2}$$

$$\Rightarrow F = G \frac{M \cdot m}{(R+h)^2}, \text{ де } h - \text{ висота над поверхнею Землі.}$$

На поверхні Землі $h = 0$ (м) прискорення вільного падіння дорівнює $g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$.

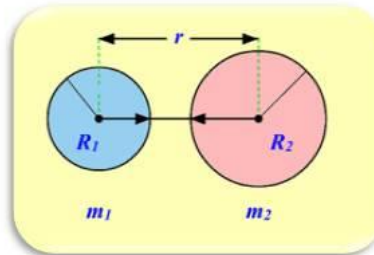


Закон всесвітнього тяжіння

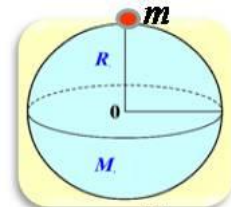
Ісаак Ньютон
1667 рік

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

F – сила всесвітнього тяжіння
G – гравітаційна стала
m₁ – маса першого тіла
m₂ – маса другого тіла
r – відстань між матеріальними точками (центрами куль)

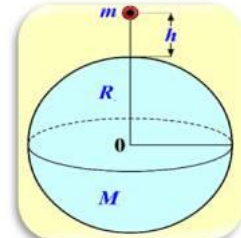


$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$



$$F_0 = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$$

$$g_0 = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = G \cdot \frac{M}{R^2}$$



$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{(R+h)^2}$$

$$g = G \cdot \frac{M}{(R+h)^2}$$

Супутники. Тіло, що рухається навколо планети чи зорі під дією лише сили тяжіння, називають **супутником**.

Перша космічна швидкість v_I - це швидкість, якої слід надати тілу, що перебуває на відстані $r = R + h$ від центра планети чи зорі, щоб воно рухалось по коловій орбіті, центр якої збігається з центром планети чи зорі. За II законом Ньютона:

$$ma = G \frac{Mm}{r^2}$$

Доцентрове прискорення дорівнює

$$a = \frac{v^2}{r}$$

$$v_I = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

Якщо супутник запускати на висоті $h \ll R$, то

$$v_I = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{gR}$$

На поверхні Землі $v_1 \approx 7,9$ км/с. Значення першої комічної швидкості буде однаковою для супутників різної маси, так як від маси супутника вона не залежить.

Друга космічна швидкість v_2 - це швидкість, яку необхідно надати для того, щоб воно покинуло планету: $v_2 = v_1 \cdot \sqrt{2}$. Для Землі $v_2 \approx 11,2$ км/с.

Форма орбіти супутника залежить від його швидкості:

- якщо $v < v_1$ - тіло падає на Землю;
- якщо $v = v_1$ - супутник рухається по коловій орбіті;
- якщо $v_1 < v < v_2$ - траєкторією руху супутника є еліпс в одному з фокусів якого міститься планета чи зоря;
- якщо $v = v_2$ - тіло рухається по параболі і покидає планету чи зорю.

3. Вчимося розв'язувати задачі.

Задача 1. Визначити значення сили взаємного притягання двох кораблів, віддалених один від одного на 100 м, якщо маса кожного з них 10 000 т.

Дано:

$$m_1 = m_2 = 10000 \text{ т} = 10^7 \text{ кг}$$

$$r = 100 \text{ м}$$

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

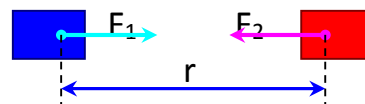
F - ?

Розв'язання:

$$F_1 = F_2 = F$$

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

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{10^{14}}{10^4} = 0,7 \text{ Н}$$



Відповідь: $F = 0,7 \text{ Н}$

Задача 2. Середня відстань між центрами Землі і Місяця дорівнює 60 R (де R - радіус Землі). Маса Місяця у 81 раз менше маси Землі. В якій точці прямої, що з'єднує їх центри, тіло буде притягуватись до Землі і до Місяця з однаковими силами?

Дано:

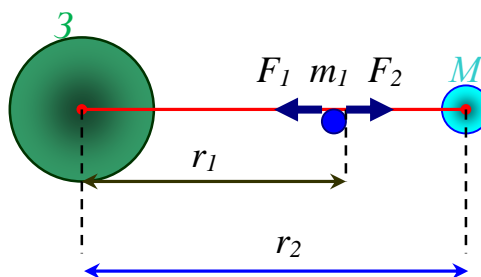
$$M_3 = 81 m$$

$$R = 60 R_3$$

$$F_1 = F_2$$

r_1 - ?

Розв'язання:



Позначимо масу тіла m_1 , а його відстань від Землі r_1 . Земля притягує дане тіло з силою:

$$F_1 = G M_3 m_1 / r_1^2,$$

а Місяць з силою:

$$F_2 = G m m_1 / (r - r_1)^2.$$

За умовою, $F_1 = F_2$, тоді $GM_3m_1/r^2 = Gmm_1/(r - r_1)^2$;

$$M_3(r - r_1)^2 = mr_1.$$

Оскільки $M_3 = 81 m$, то $81 m (r - r_1)^2 = mr_1^2$;

$$81(r^2 - 2rr_1 + r_1^2) = r_1^2;$$

$$81 r^2 - 162 rr_1 + 81 r_1^2 - r_1^2 = 0.$$

Маємо квадратне рівняння відносно r_1 :

$$80 r_1^2 - 162 rr_1 + 81 r^2 = 0$$

Дискримінант $D = (162 r)^2 - 4 * 80 * 81 r^2 = 324 r^2$

Перший корінь рівняння $r_1 = 1,1 r$ – не задовольняє умову задачі;

Другий корінь рівняння $r_2 = 0,85 r$.

Отже, $r = 0,85 * 60 R_3 = 51 R_3$

Відповідь: Дане тіло знаходиться на відстані $51 R_3$ від центру Землі.

4. Запитання на закріплення вивченого.

1. Сформулюйте закон всесвітнього тяжіння. Чому рівна гравітаційна стала, в яких одиницях вона вимірюється? Від чого не залежить гравітаційна стала?
2. Чому дві людини не відчують гравітаційного притягання одна до одної?
3. Дайте визначення сили тяжіння. Чи залежить сила тяжіння від маси тіла?
4. Чому рівне прискорення вільного падіння, в яких одиницях воно вимірюється, за якою формулою його розраховують?
5. Від яких величин залежить і від яких не залежить прискорення вільного падіння? Чому сила тяжіння на екваторі Землі менша, ніж на полюсах?
6. Яке тіло називають супутником? Від чого залежить форма орбіти супутника?

5. Домашнє завдання.

Підручник: параграф 19.

Задача 1. Два кораблі масою по 50 000 т кожний стоять на рейді на відстані 1 км один від одного. Яка сила притягання між ними?

Задача 2. Космонавт висадився на Місяці. Його притягують і Місяць і Земля. У скільки разів сила притягання космонавта до Місяця більша, ніж до Землі? (Радіус Місяця 1730 км).