Урок 21 Гравітаційне поле. Сила тяжіння. Перша космічна швидкість

Мета уроку:

Навчальна. Розширити уявлення про взаємодію тіл; формувати знання про всесвітнє тяжіння, дослідне визначення й фізичний зміст гравітаційної сталої, гравітаційні поля, гравітаційні сили як центральні сили; ознайомлення учнів із поняттям штучного супутника Землі, космічних швидкостей та їх змісту; формування вміння розраховувати першу космічну швидкість.

Розвивальна. З метою розвитку мислення розвивати вміння аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задач; пояснювати подібні матеріали; виявляти аналогії; розкривати загальне і конкретне; встановлювати закономірності; систематизувати, встановлювати зв'язки нового з раніше вивченим.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: комбінований.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

1. Провести бесіду за матеріалом § 10

Бесіда за питаннями

1. Дайте визначення сили. У яких одиницях її вимірюють.

2. Дайте визначення рівнодійної сили.

3. Дайте визначення інертності.

4. Що таке маса тіла? Яка одиниця маси в СІ? Назвіть основні властивості маси.

5. Сформулюйте другий закон Ньютона, запишіть його математичний вираз.

6. Сформулюйте третій закон Ньютона. Яким є його математичний запис? Чому цей закон називають законом взаємодії?

2. Перевірити виконання вправи № 10: завдання 3, 4.

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Ми знаємо, що планети, зокрема Земля, обертаються навколо Сонця. Сонце притягує планети. Земля притягує Місяць, утримуючи його на орбіті.

Від чого залежить сила взаємного притягання між небесними тілами?

Чи тільки небесні тіла можуть взаємодіяти?

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Гравітаційна взаємодія

Гравітаційна взаємодія – взаємодія, яка є властивою всім тілам у Всесвіті й виявляється в їхньому взаємному притяганні одне до одного.

Гравітаційне поле – особливий вид матерії, за допомогою якого здійснюється гравітаційна взаємодія та існує навколо будь-якого тіла. (існує навколо будь-якого тіла: зорі, планети, людини, книжки, молекули, атома)

Гравітаційна хвиля – поширення змінного гравітаційного поля в просторі. Випромінюється рухомою масою і може відірватися від свого джерела.

Гравітаційні хвилі передбачені загальною теорією відносності (Альберта Ейнштейна) та офіційно підтверджені 11 лютого 2016 року.

2. Закон всесвітнього тяжіння. Гравітаційна стала

Проблемне питання

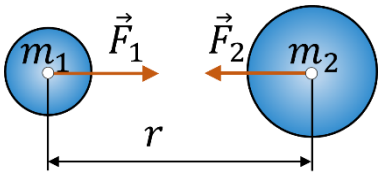
• Як розрахувати силу гравітаційного притягання?

До XVII ст. вчені вважали, що тільки Земля має особливу властивість притягувати до себе всі тіла, що перебувають поблизу її поверхні. У 1667 р. Ньютон висловив дивне для тих часів

твердження, що між усіма тілами діють сили взаємного притягання та сформулював закон всесвітнього тяжіння.

Закон всесвітнього тяжіння:

Між будь-якими двома тілами діють сили гравітаційного притягання, які прямо пропорційні добутку мас цих тіл і обернено пропорційні квадрату відстані між ними.



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

G – гравітаційна стала

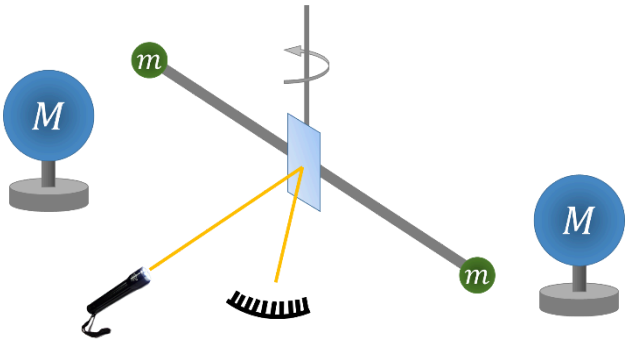
Гравітаційну сталу вперше виміряв англійський учений Генрі Кавендіш у 1798 р. за допомогою крутильних терезів:

$$G = 6,67\cdot10^{-11}\ \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

Гравітаційна стала чисельно дорівнює силі, з якою дві матеріальні точки масою 1 кг кожна взаємодіють на відстані 1 м одна від одної (якщо $m_1 = m_2 = 1$ кг, а $r = 1$ м, то $F = 6,67\cdot10^{-11}$Н).

Схема досліду з визначення гравітаційної сталої

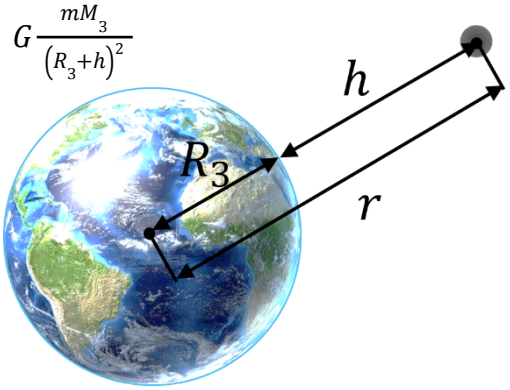
На довгому легкому коромислі підвішеному на тонкому пружному дроті, зрівноважено дві маленькі кульки масою m, кожна. Біля маленьких кульок розміщено великі свинцеві кульки масами M. У результаті притягання кульок дріт закручується. Кут закручування реєструють на шкалі за поворотом світлового пучка, який відбивається від дзеркальця. За кутом закручування дроту визначають силу гравітаційного притягання.



3. Сила тяжіння

Сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$ – сила, з якою Земля (або інше астрономічне тіло) притягує до себе тіла, що перебувають на її поверхні або поблизу неї.

$$F_{\text{тяж}} = G\frac{mM_3}{r^2}, \quad \text{або} \quad F_{\text{тяж}} = G\frac{mM_3}{(R_3+h)^2}$$



G – гравітаційна стала;
m – маса тіла;
M_3 – маса Землі;
$r = R_3 + h$ – відстань від центра Землі до тіла.

4. Прискорення вільного падіння

Прискорення вільного падіння можна визначити, застосувавши другий закон Ньютона:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_{\text{тяж}}}{m}$$

Як і сила тяжіння, прискорення вільного падіння завжди напрямлене вертикально вниз $\left(\vec{g}\uparrow\uparrow\vec{F}_{\text{тяж}}\right)$ незалежно від того, в якому напрямку рухається тіло.

Маємо дві формули для визначення модуля сили тяжіння:

$$F_{\text{тяж}} = mg \qquad F_{\text{тяж}} = G\frac{mM_3}{(R_3+h)^2}$$

$$mg = G\frac{mM_3}{(R_3+h)^2} \qquad => \qquad g = G\frac{M_3}{(R_3+h)^2}$$

Аналіз останньої формули:

1. *Прискорення вільного падіння не залежить від маси тіла* (довів Ґ. Ґалілей).

2. *Прискорення вільного падіння зменшується в разі збільшення висоти h тіла над поверхнею Землі*, причому помітна зміна відбувається, якщо h становить десятки й сотні кілометрів (на висоті h = 100 км прискорення вільного падіння зменшиться лише на 0,3 м/с^2).

3. Якщо тіло перебуває на поверхні Землі $(h = 0)$ або на висоті кількох кілометрів $\left(h \ll R_3\right)$:

$$g = G\frac{M_3}{R_3^2} \approx 9,8\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Через обертання Землі, а також через те, що форма Землі – еліпсоїд (екваторіальний радіус Землі більший за полярний на 21 км), прискорення вільного падіння залежить від географічної широти місцевості.

5. Перша космічна швидкість

Проблемні питання

• Прокоментуйте слова Костянтина Ціолковського: «Людство не залишиться назавжди на Землі, але в гонитві за простором спочатку несміливо проникне за межі атмосфери, а потім підпорядкує собі весь навколосонячний простір».

• Чи здійснилася мрія людства про освоєння космосу повною мірою?

• Чи є актуальною, на ваш погляд, проблема вдосконалення космічної техніки?

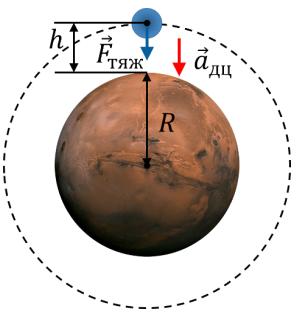
• Навіщо в шкільному курсі вивчати штучні супутники Землі, будову і фізичні основи руху космічних ракет?

Штучний супутник Землі – це тіло, яке рухається на певній висоті над поверхнею Землі по коловій орбіті.

Перша космічна швидкість – це швидкість, яку потрібно надати тілу в момент запуску з даної планети, щоб тіло стало її штучним супутником і при цьому рухалося б по колу, центр якого збігається з центром цієї планети.

Проблемне питання

• Як обчислити першу космічну швидкість для будь-якої планети?



$$a_{\text{дц}} = \frac{v^2}{r} = \frac{v^2}{R+h} \qquad a_{\text{дц}} = \frac{F_{\text{тяж}}}{m} = \frac{GM}{(R+h)^2}$$

$$\frac{v^2}{R+h} = \frac{GM}{(R+h)^2} \qquad => \qquad v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} \qquad (1)$$

Формула (1) є формулою для обчислення швидкості руху супутника на висоті h над поверхнею планети.

Проблемне питання

• Як обчислити першу космічну швидкість для Землі?

Оскільки поблизу поверхні Землі $h \approx 0$, то формула (1) набуде вигляду:

$$v = \sqrt{\frac{GM_з}{R_з}}$$

$$g = \frac{GM_з}{R_з^2} \quad => \quad \frac{GM_з}{R_з} = gR_з$$

$$v = \sqrt{gR_з}$$

$$v_I = \sqrt{9,8\frac{м}{с^2}\cdot 6,4\cdot 10^6 м} = 7,9\cdot 10^3 \frac{м}{с}$$

Отже, $v_I = 7,9\frac{км}{с}$ – *перша космічна швидкість поблизу поверхні Землі*. Саме таку швидкість у горизонтальному напрямку потрібно надати тілу на невеликій (порівняно з радіусом Землі) висоті, щоб це тіло стало штучним супутником Землі, який рухається по коловій орбіті.

Проблемне питання

• Що станеться, якщо тіло матиме швидкість, більшу за першу космічну?

Швидкість, при досягненні якої космічний апарат, що запускається з Землі, може подолати земне тяжіння і здійснити політ до інших планет Сонячної системи, називається *другою космічною швидкістю.*

$$\upsilon_{II} = \upsilon_I\sqrt{2} \approx 11,2 \text{ км/с}$$

Третя космічна швидкість – мінімально необхідна швидкість тіла, що дозволяє перебороти тяжіння Сонця і в результаті вийти з Сонячної системи у міжзоряний простір.

$$\upsilon_{III} \approx 16,67 \text{ км/с}$$

Четверта космічна швидкість – мінімально необхідна швидкість тіла, що дозволяє подолати тяжіння галактики. Четверта космічна швидкість не постійна для всіх точок Галактики, а залежить від відстані до центральної маси (для нашої Галактики такою є об'єкт Стрілець А*, надмасивна чорна діра). За приблизними попередніми розрахунками в районі нашого Сонця четверта космічна швидкість становить близько 550 км/с.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Космічний корабель масою 8 т наблизився до орбітальної космічної станції масою 20 т на відстань 100 м. Знайти силу їх взаємного притягання.

Дано:

$m_1 = 8 \text{ т} = 8\cdot 10^3$ кг

$m_2 = 20 \text{ т} = 2\cdot 10^4$ кг

$r = 10^2$ м

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

$F - ?$

Розв'язання

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

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

$$F = 6,67\cdot 10^{-11} \bullet \frac{8\cdot 10^3\cdot 2\cdot 10^4}{(10^2)^2} \approx 107\cdot 10^{-8} \text{ (Н)}$$

Відповідь: $F \approx 1$ мкН.

2. Як змінилася сила гравітаційної взаємодії космічного корабля і Землі, якщо корабель здійснює політ на висоті 400 км від поверхні Землі?

Дано:

$h = 400\text{ км} = 4{\cdot}10^5\text{ м}$

$R_з = 6400\text{ км} = 6,4{\cdot}10^6\text{ м}$

$\frac{F_1}{F_2} - ?$

Розв'язання

$$F_1 = G\frac{mM_з}{R_з^2} \qquad F_2 = G\frac{mM_з}{(R_з+h)^2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{G\frac{mM_з}{R_з^2}}{G\frac{mM_з}{(R_з+h)^2}} = \frac{(R_з+h)^2}{R_з^2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{(6,4{\cdot}10^6+4{\cdot}10^5)^2}{(6,4{\cdot}10^6)^2} = \left(\frac{6,8{\cdot}10^6}{6,4{\cdot}10^6}\right)^2 \approx 1,1$$

Відповідь: Зменшилася приблизно в 1,1 рази.

3. Яку швидкість необхідно розвинути ракеті, щоб стати штучним супутником Венери? Зауважте, що маса Венери дорівнює $4,92{\cdot}10^{24}$ кг, а її радіус – 6050 км.

Дано:

$M = 4,92{\cdot}10^{24}\text{ кг}$

$R = 6050\text{ км} = 6,05{\cdot}10^6\text{ м}$

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

$v - ?$

Розв'язання

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

Оскільки поблизу поверхні Венери $h \approx 0$, то формула набуде вигляду:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

$$[v] = \sqrt{\frac{\frac{\text{Н}{\cdot}\text{м}^2}{\text{кг}^2}{\bullet}\text{кг}}{\text{м}}} = \sqrt{\frac{\text{Н}{\cdot}\text{м}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{кг}{\cdot}\frac{\text{м}}{\text{с}^2}{\bullet}\text{м}}{\text{кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = \sqrt{\frac{6,67{\cdot}10^{-11}{\cdot}4,92{\cdot}10^{24}}{6,05{\cdot}10^6}} = \sqrt{54,2{\cdot}10^6} \approx 7,4{\cdot}10^3\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Відповідь: $v \approx 7,4\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

4. Визначте масу планети, навколо якої супутник обертається по коловій орбіті радіусом 3800 км з періодом 2 год.

Дано:

$R = 3800\text{ км}$

$= 3,8{\cdot}10^6\text{ м}$

$T = 2\text{ год} = 7,2 \bullet 10^3\text{с}$

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

$M - ?$

Розв'язання

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}} \qquad v = \frac{2\pi R}{T}$$

$$\sqrt{\frac{GM}{R}} = \frac{2\pi R}{T}$$

$$\frac{GM}{R} = \frac{4\pi^2R^2}{T^2}$$

$$M = \frac{4\pi^2R^3}{GT^2}$$

$$[M] = \frac{\text{м}^3}{\frac{\text{Н}{\cdot}\text{м}^2}{\text{кг}^2}{\bullet}\text{с}^2} = \frac{\text{м}}{\frac{\text{кг}{\cdot}\frac{\text{м}}{\text{с}^2}{\bullet}\text{м}^2}{\text{кг}^2}{\bullet}\text{с}^2} = \text{кг}$$

$$M = \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \bullet \left(3{,}8 \cdot 10^6\right)^3}{6{,}67 \cdot 10^{-11} \bullet \left(7{,}2 \bullet 10^3\right)^2} = \frac{2164 \cdot 10^{18}}{346 \cdot 10^{-5}} \approx 6{,}3 \cdot 10^{23} \text{(кг)}$$

Відповідь: $M \approx 6{,}3 \cdot 10^{23}$ кг.

5. Середня відстань між центрами Землі та Місяця становить приблизно 384000 км. На якій відстані від центра Землі на прямій, що з'єднує центри Землі та Місяця, космічний корабель притягується до місяця та землі з рівними за модулем силами? Врахуйте, що маса Місяця у 81 раз менша за масу Землі.

Дано:

$r = 384000$ км $= 3{,}84 \bullet 10^8$ м

$M_З = 81 M_М$

$F_1 = F_2$

$s - ?$

Розв'язання

$$F_1 = G\frac{mM_З}{s^2} = G\frac{81mM_М}{s^2}$$

$$F_2 = G\frac{mM_М}{(r-s)^2}$$

$$G\frac{81mM_М}{s^2} = G\frac{mM_М}{(r-s)^2}$$

$$s^2 = 81 \cdot (r - s)^2$$

$$s = 9 \cdot (r - s)$$

$$10s = 9r$$

$$s = \frac{9r}{10}$$

$$s = \frac{9 \cdot 3{,}84 \bullet 10^8 \text{ м}}{10} = 3{,}456 \bullet 10^8 \text{ м}$$

Відповідь: $s = 345600$ км.

6. Визначте прискорення вільного падіння на Юпітері, якщо відомо, що середня густина планети дорівнює 1300 кг/м^3, а радіус становить 71000 км. Вважайте, що Юпітер має форму кулі.

Дано:

$\rho = 1300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$R = 71000$ км $= 7{,}1 \cdot 10^7$ м

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

$g - ?$

Розв'язання

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

$$M = \rho V = \frac{4}{3}\pi R^3 \bullet \rho$$

$$g = G\frac{M}{R^2} = G\frac{\frac{4}{3}\pi R^3 \bullet \rho}{R^2} = \frac{4}{3}\pi R \cdot \rho \cdot G$$

$$[g] = \text{м} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \bullet \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$g = \frac{4}{3} \cdot 3{,}14 \cdot 7{,}1 \cdot 10^7 \bullet 1300 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \approx 25{,}8 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)$$

Відповідь: $g \approx 25,8 \ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Яку взаємодію називають гравітаційною? Наведіть приклади.

2. Сформулюйте й запишіть закон всесвітнього тяжіння.

3. Яким є фізичний зміст гравітаційної сталої? Чому вона дорівнює?

4. Дайте визначення сили тяжіння. За якими формулами її обчислюють і як вона напрямлена?

5. Як розрахувати прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі? Від яких чинників воно залежить

6. Дайте визначення першої космічної швидкості.

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 11, Вправа № 11 (3, 5)