

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
Фізичний факультет
Кафедра оптики**

**Методичні вказівки
до семінарських занять та самостійної роботи**

**з навчальної дисципліни
ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА**

**для студентів спеціальності 014 – Середня освіта
(предметна спеціальність 014.07 «Середня освіта. Географія»)**

Частина 1

Ужгород 2021

Методичні вказівки призначені для студентів I курсу спеціальності 014.07 «Сердня освіта. Географія», що навчаються в ДВНЗ «УжНУ».

Укладач: Шароді Ірина Степанівна - доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри оптики.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 11 від 29 червня 2021 р.

Голова науково-методичної комісії _____ Карбованець М.І.

© Шароді І.С., 2021 р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2021 р.

Вступ

Методичні вказівки призначені надати допомогу студентам спеціальності 014.07 в оволодінні методами розв'язування задач та у виконанні самостійної роботи, передбачених навчальним планом.

Для засвоєння теоретичного матеріалу, викладеного під час лекційних занять, не завжди достатньо щоб отримати належний обсяг знань. Тому варто приділити увагу самостійній роботі. Лекційні заняття покликані окреслити основне коло понять, явищ та законів, які необхідно вивчити в межах даної дисципліни і дати основні напрямки для самостійної роботи. Наступний крок студент повинен зробити самостійно, використовуючи отримані теоретичні знання.

Для отримання навичок практичних розрахунків слід приділити увагу самостійному розв'язуванню задач у кількості, достатній для закріплення теоретичних знань у межах усієї навчальної програми з фізики.

Дані методичні вказівки містять матеріал для семінарських занять згідно робочої навчальної програми дисципліни «Загальна фізика» для першого модуля, а також розв'язування типових задач і пропонувану студентам самостійну роботу (за варіантом). Задачі для самостійної роботи (за варіантом) виконуються в окремому зошиті.

Перед здачею підсумкового контролю (модульний контроль, залік), студент повинен переконатися, що здані та захищені всі лабораторні роботи циклу, виконано практичні завдання та пред'явлено викладачу зошит з самостійною роботою для зарахування всіх активностей у підсумковий бал.

ТЕМИ СЕМІНАРСЬКИХ, ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

ТА ПЛАН САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА на I МОДУЛЬ

ТЕМИ СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ

1. Дослідження сили тяжіння.
2. Дослідження напруженості гравітаційного поля.
3. Дослідження космічних швидкостей.

ТЕМИ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

1. Вступне заняття. Основи теорії похибок та обробки експериментальних даних.
2. Фронтальна лабораторна робота по обробці даних прямих вимірювань.
3. Визначення прискорення вільного падіння за допомогою маятника.

САМОСТІЙНА РОБОТА

Самостійна робота передбачає підготовку до семінарських та лабораторних занять, а також розв'язування задач після оволодіння теоретичною частиною теми, що вивчається студентом.

Зошит з самостійно виконаними завданнями студент має надати викладачу до виведення ним підсумкового балу. Захист роботи відбувається в процесі індивідуальної співбесіди викладача зі студентом.

СЕМІНАРСЬКІ ЗАНЯТТЯ

На семінарських заняттях перебачено провести дослідження за такими темами:

1. Дослідження сили тяжіння.
2. Дослідження напруженості гравітаційного поля.
3. Дослідження космічних швидкостей.

Окрім цих досліджень студенти готують реферати і доповідають на занятті на задані викладачем теми.

Теми рефератів з механіки:

1. Класична механіка та межі її застосування.
2. Принцип відносності Галілея.
3. Гравітаційні сили. Сили тяжіння. Закон всесвітнього тяжіння.
4. Реактивний рух. Рівняння Мещерського.
5. Рух планет та штучних супутників Землі.
6. Залежність прискорення вільного падіння від висоти та географічної широти.
7. Нормальне гравітаційне поле, його аномалії та їх зв'язок з будовою земної кори.
8. Гравіметричний метод розвідування корисних копалин.
9. Приливоутворюючі сили та їх геофізична роль.
10. Гравітаційні явища і процеси.
11. Потенціальна енергія кулі. Гравітаційний колапс.
12. Закони Кеплера. Межі застосування та неточності законів Кеплера.
13. Рух в неінерційних системах. Центробіжні сили інерції.
14. Сила Коріоліса в обертових системах відліку та її прояв на Землі.
15. Орбітальний рух Землі та її осьове обертання.
16. Нерівномірності обертання Землі та їх причини.
17. Геофізичні наслідки форми, розмірів та рухів Землі.
18. Розподіл густини речовини у надрах Землі.
19. Будова внутрішніх геосфер. Землетруси.

Дослідження сили тяжіння

1.1 Дослідження ваги тіла на полюсі і екваторі

Встановимо, в скільки разів вага тіла на полюсі відрізняється від ваги тіла на екваторі.

Вага тіла \vec{P} є складовою сили тяжіння \vec{F} , яка, згідно закону всесвітнього тяжіння, направлена до центру Землі.

$$\vec{F} = \frac{\gamma \cdot m \cdot M}{R^2}, \quad (1.1)$$

де γ – гравітаційна постійна, яка дорівнює $\gamma = 6,67 \times 10^{-11} \frac{M^3}{\text{кг}^2 \cdot \text{с}^2}$; m – маса тіла; M – маса Землі; R – радіус Землі.

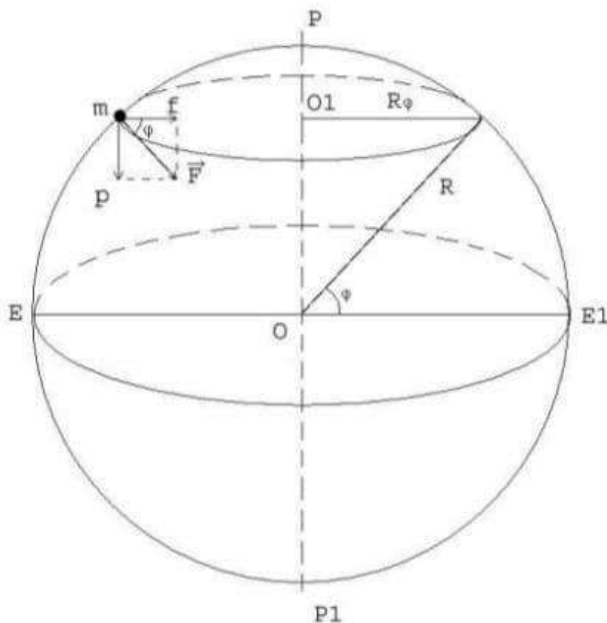


Рис.1 Точка масою m на поверхні земної кулі

Другою складовою сили тяжіння є центробіжна сила інерції f , яка направлена в площині, перпендикулярній до осі обертання Землі:

$$\vec{f} = m\omega^2 R \cos \varphi, \quad (1.2)$$

де φ – широта точки спостереження, ω – кутова швидкість обертання Землі.

Взагалі:

$$\vec{F} = \vec{P} + \vec{f}, \quad (1.3)$$

Сила \vec{P} називається вагою тіла, або силою притягання тіла Землею, викликає падіння незакріпленого тіла на Землю.

Вага тіла дорівнює тій силі, з якою нерухоме відносно Землі тіло

тисне на опору внаслідок тяжіння до Землі. Вона може бути виміряна за допомогою пружного динамометра. Точка прикладання ваги тіла називається центром ваги тіла. Вона визначається як точка прикладання рівнодійної сил ваги всіх частинок тіла. Центр ваги тіла співпадає з його центром мас (центром інерції). Із рівняння (1.2) видно, що числове значення центр обіжної сили залежить від географічної широти φ того місця, де знаходиться тіло. На полюсах ($\varphi = \frac{\pi}{2}$). $\vec{f} = 0$, а на екваторі ($\varphi = 0$) вона досягає максимального значення, рівного

$$\vec{f}_{\text{екв}} = m\omega^2 R. \quad (1.4)$$

Таким чином, у всіх точках земної поверхні, за виключенням полюсів, вага тіла менша сили його тяжіння до Землі.

Крім того, скрізь, крім полюсів і екватора вектор \vec{P} не перпендикулярний до поверхні Землі. Внаслідок добового обертання Землі, вага тіла максимальна на полюсах, де вона дорівнює силі тяжіння і мінімальна на екваторі.

$$\vec{P}_{\text{пол}} = \gamma \frac{mM}{R_{\text{пол}}^2}, \quad (1.5)$$

$$\vec{P}_{\text{екв}} = \gamma \frac{mM}{R_{\text{екв}}^2} - m\omega^2 R_{\text{екв}} \quad (1.6)$$

Формулу (1.6) запишемо у вигляді:

$$\vec{P}_{\text{екв}} = \gamma \frac{mM}{R_{\text{екв}}^2} \left(1 - \frac{\omega^2 R_{\text{екв}}^3}{\gamma M}\right), \quad (1.7)$$

де $R_{\text{пол}} = 6357$ км, $R_{\text{екв}} = 6378$ км – полярний і екваторіальний радіуси Землі. Невелика різниця величин $R_{\text{пол}}$ і $R_{\text{екв}}$ пов'язана з тим, що Земля не має строго сферичної форми, а дуже близька до еліпсоїда обертання.

Так як маса Землі $M = 5,98 \times 10^{24}$ кг і $\omega = \frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, то:

$$\frac{\omega^2 R_{\text{екв}}^2}{\gamma M} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot (6,38 \cdot 10^6)^3}{(24 \cdot 3600)^2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24}} \left[\frac{\frac{1}{\text{с}^2} \text{М}^3}{\frac{\text{М}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}} \right] = 0,00345.$$

Таким чином,

$$\frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{екв}}} = \frac{\gamma \frac{mM}{R_{\text{пол}}^2}}{\gamma \frac{mM}{R_{\text{екв}}^2} - m\omega^2 R_{\text{екв}}}, \quad (1.8)$$

тобто $P_{\text{пол}}/P_{\text{екв}} = 1,0035$, тому у більшості випадків для рішення практичних задач можна нехтувати впливом добового обертання Землі на всі тіла, беручи

$$\vec{P} = \gamma \frac{mM}{R^2}. \quad (1.9)$$

1.2 Дослідження прискорення вільного падіння на екваторі і полюсах

Рух тіла під дією однієї тільки сили ваги \vec{P} називається **вільним падінням**, а прискорення g , набуване при цьому, називається прискоренням вільного падіння, або прискоренням сили ваги.

За другим законом Ньютона

$$g = \frac{\vec{P}}{m} \quad (1.10)$$

Користуючись формулою (1.9), тобто нехтуючи впливом добового обертання Землі, знайдемо:

$$g = \frac{\gamma M}{R^2} = \gamma \frac{M}{(R_0 + h)^2}, \quad (1.11)$$

де R – радіус поверхні Землі, h – відстань від центра ваги тіла до поверхні Землі.

Із (1.11) слідує, що:

а) прискорення сили ваги не залежить від маси, розмірів і інших характеристик тіла, тому всі тіла вільно падають у безповітряному просторі з однаковим прискоренням;

б) при віддалені від поверхні Землі прискорення сили ваги змінюється по закону

$$\frac{g_0}{g} = \left(\frac{R}{R_0}\right)^2 = \left(\frac{R_0 - h}{R_0}\right)^2 = \left(1 - \frac{h}{R_0}\right)^2, \quad (1.12)$$

де g і g_0 – прискорення сили ваги відповідно на висоті h і біля поверхні Землі.

Поблизу поверхні Землі $h \ll R_0$ і

$$\frac{g}{g_0} \approx 1 - \frac{2h}{R_0}, \quad (1.13)$$

тобто з підйомом на 1 км прискорення сили тяжіння (ваги) зменшується приблизно на 0,03 %.

Некульоподібність форми Землі і вплив добового обертання приводять до того, що прискорення сили тяжіння g_0 залежить від географічної широти місця, змінюючись від 9,832 м/с² на полюсах до 9,780 м/с² на екваторі. На широті 45° воно дорівнює 9,80665 м/с² і називається **нормальним прискоренням**.

В нашому випадку

$$\frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{екв}}} = \frac{g_{\text{пол}}}{g_{\text{екв}}} = \frac{9,832}{9,780} = 1,0053$$

1.3 Встановлення залежності прискорення вільного падіння від широти

Вважаючи Землю кулеподібною, знайдемо залежність прискорення вільного падіння від широти місцевості.

Обчислимо g на полюсі, екваторі і широті Одеси ($\varphi = 46,5^\circ$).

На основі рис. 1 за теоремою косинусів запишемо:

$$P^2 = F^2 + f^2 - 2Ff \cos \varphi, \quad (1.14)$$

Звідки, враховуючи, що вага тіла P

$$P = mg, \quad (1.15)$$

отримаємо:

$$g = \sqrt{\gamma^2 \frac{M^2}{R^4} - \omega^4 R^2 \cos^2 \varphi - 2\gamma \frac{M}{R} \omega^2 \cos \varphi}. \quad (1.16)$$

Тоді, прискорення вільного падіння на полюсі ($\varphi = 90^\circ$):

$$g_{\text{пол}} = \gamma \frac{M}{R^2}, \quad (1.17)$$

і

$$g_{\text{пол}} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \text{кг}}{(6371032 \text{м})^2} = 9,826 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

$$g_{\text{екв}} = \sqrt{\left(9,826 \frac{M}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \cdot \frac{1}{c}\right)^4 \cdot (6,37 \cdot 10^6 M)^2 - 2 \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{M^3}{\text{кг} \cdot c^2}}{6,37 \cdot 10^6 M} \cdot \left(\frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \frac{1}{c}\right)^2}$$

або

$$g_{\text{екв}} = \sqrt{96,550 - 1,135 \cdot 10^{-3} - 6,623 \cdot 10^{-1}} = \sqrt{95,886} = 9,792 \frac{M}{c^2}$$

тоді

$$\frac{g_{\text{пол}}}{g_{\text{екв}}} = \frac{9,826}{9,792} = 1,0035.$$

$$g_{46,5^\circ} = \sqrt{96,550 - 1,135 \cdot 10^{-3} \cos^2(46,5^\circ) - 6,623 \cdot 10^{-1} \cos(46,5^\circ)} = \sqrt{96,093} = 9,803 \frac{M}{c^2}$$

1.4 встановлення залежності вільного падіння від висоти тіла над рівнем моря

Знаючи залежність прискорення вільного падіння від широти, встановимо, на якій віддалі від поверхні Землі прискорення зміниться вдвічі.

Нехтуючи впливом добового обертання Землі, запишемо формулу (1.11)

$$g = \gamma \frac{M}{(R_0 + h)^2},$$

звідки

$$(R_0 + h)^2 = \gamma \frac{M}{g}$$

і

$$(R_0 + h) = \sqrt{\gamma \frac{M}{g}},$$

а

$$h = \sqrt{\gamma \frac{M}{g}} - R_0 \quad (1.18)$$

При $\gamma = 6,67 \times 10^{-11} \frac{M^3}{\text{кг} \cdot c^2}$, $g_{\text{пол}} = 9,826 \frac{M}{c^2}$, $M = 5,98 \times 10^{24} \text{ кг}$, $R_0 = 6,37 \times 10^6 \text{ м}$, прискорення зменшиться вдвічі на висоті:

$$h = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{M^3}{\text{кг} \cdot c^2} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}}{0,5 \cdot 9,832 \frac{M}{c^2}}} - 6,37 \cdot 10^6 \text{ м} = 9,01 \cdot 10^6 - 6,37 \cdot 10^6 = 2,64 \cdot 10^6 \text{ м} = 2640 \text{ км}.$$

Для контролю приведемо формулу (1.12):

$$\frac{g_0}{g} = \left(1 + \frac{h}{R_0}\right)^2,$$

звідки

$$\frac{(R_0 + h)}{R_0} = \sqrt{\frac{g_0}{g}},$$

$$h = R_0 \left(\sqrt{\frac{g_0}{g}} - 1 \right) \quad (1.19)$$

Тоді

$$h = 6,37 \cdot 10^6 \cdot \text{м} \left(\sqrt{\frac{9,832 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{0,5 \cdot 9,832 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} - 1 \right) = 6,37 \cdot 10^6 (\sqrt{2} - 1) = 2,612 \cdot 10^6 \cdot \text{м} = 2612 \text{ км}$$

1.4 дослідження прискорення вільного падіння в глибині Землі

Знайдемо зміну прискорення вільного падіння від висоти тіла на глибині h від поверхні Землі. Встановимо глибину, на якій прискорення вільного падіння складе 0,3 від прискорення вільного падіння на поверхні Землі. Щільність Землі будемо вважати постійною, а також вважатимемо, що зі сторони вище лежачого шару тіло не має ніякого притягання.

Позначимо масу тіла через m , відстань від центра Землі через R_1 , прискорення вільного падіння на глибині h через g_1 . тоді, на глибині h вага тіла Q

$$Q = mg_1 \quad (1.20)$$

З іншої сторони

$$Q = F_1 = \gamma \frac{mM_1}{R_1^2}, \quad (1.21)$$

де M_1 – маса землі в об'ємі кулі радіуса R_1 .
Маса Землі

$$M_1 = \frac{4}{3} \pi R_1^3 \rho, \quad (1.22)$$

де ρ – середня щільність маси Землі.

Порівнюючи (1.20) і (1.21), отримаємо:

$$mg_1 = \gamma m \frac{4}{3} \pi R_1 \rho \quad (1.23)$$

На поверхні Землі вага тіла

$$P = mg = \gamma \frac{mM}{R^2} \text{ або } P = \gamma m \frac{4}{3} \pi R \rho \quad (1.24, 1.25)$$

Поділивши ліві і праві частини (1.23) і (1.24), отримаємо

$$\frac{g_1}{g} = \frac{R_1}{R} \quad (1.26)$$

звідки

$$\frac{g_1}{g} = \frac{(R-h)}{R} \quad (1.27)$$

тоді

$$g_1 = \frac{(R-h)g}{R} \text{ або } h = R \left(1 - \frac{g_1}{g} \right) \quad (1.28, 1.29)$$

Якщо $\frac{g_1}{g} = 0,3$, то $h = 0,7 R$.

Таким чином, на глибині 0,7 від радіуса Землі прискорення вільного падіння складе 0,3 від прискорення вільного падіння на поверхні Землі.

Дослідження напруженості гравітаційного поля

2.1 дослідження напруженості гравітаційного поля на півкільця

Тонке однорідне на півкільце радіусом R має масу M . Встановимо формулу для сили взаємодії між цим на півкільцем і тілом масою m , поміщеним в центр кривизни i для напруженості гравітаційного поля на півкільця в цій точці.

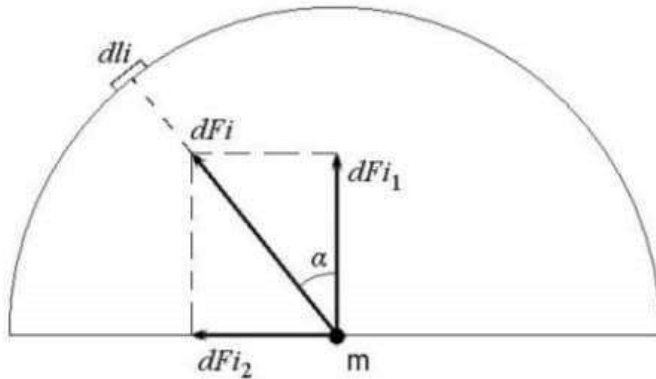


рис.2.1 Точка m в центрі напівкільця

Розіб'ємо кільце на нескінченно малі елементи довжини dl . Маса такого елемента:

$$dM = \frac{M}{\pi R} dl \quad (2.1)$$

Розглянемо довільний елемент dl . За законом всесвітнього тяжіння:

$$dF_i = \gamma \frac{mdM}{R^2} \quad (2.2)$$

або

$$dF_i = \gamma \frac{mM}{\pi R^3} dl \quad (2.3)$$

Розкладемо dF_i на дві складові dF_{i1} і dF_{i2} (рис 2.1). Очевидно, $\sum dF_{i2} = 0$ і сила взаємодії між на півкільцем і матеріальною точкою m

$$F = \int_l dF_{i1} = \int_l dF_i \cos \alpha, \quad (2.4)$$

або

$$F = \gamma \frac{mM}{\pi R^3} \int_l dl \cos \alpha, \quad (2.5)$$

і

$$F = \gamma \frac{mM}{\pi R^3} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos \alpha d\alpha \quad (2.6)$$

Тобто, сила взаємодії між на півкільцем і тілом масою m буде:

$$F = \frac{2\gamma Mm}{\pi R^2} \quad (2.7)$$

Напруженість гравітаційного поля на півкільця в точці m

$$E = \frac{F}{m} = \frac{2\gamma M}{\pi R^2} \quad (2.8)$$

2.2 напруженість гравітаційного поля через замкнуту сферичну поверхню

Доведемо, що у випадку точкової маси M потік вектора напруженості гравітаційного поля через замкнуту сферичну поверхню довільного радіуса, яка охоплює масу M , дорівнює $N = 4\pi\gamma M$.

Потік вектора напруженості гравітаційного поля через довільну замкнуту поверхню, яка охоплює маси m_1, m_2, \dots, m_n буде

$$N = 4\pi\gamma \sum_{i=1}^n m_i \quad (2.9)$$

Це твердження аналогічне теоремі Гауса-Остроградського в електростатиці. Виділимо нескінченно малу площину dS (рис 2.2).

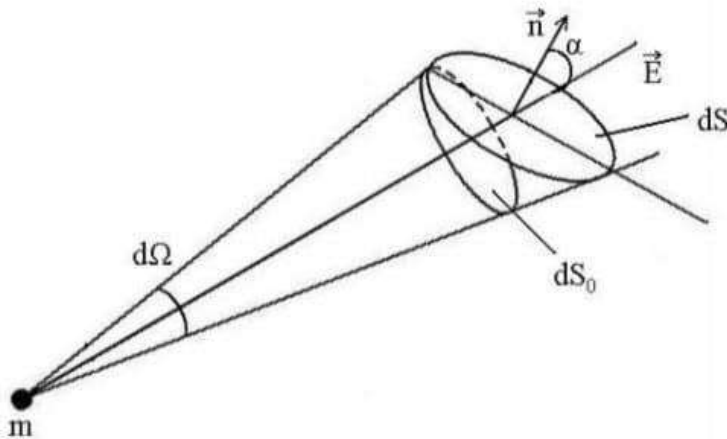


рис. 2.2 Елемент dS в гравітаційному полі

По визначеному потоку

$$dN = E_n dS, \quad (2.10)$$

або

$$dN = E dS \cos \alpha, \quad (2.11)$$

і

$$dN = E dS_0 \quad (2.12)$$

Повний потік через замкнуту сферичну поверхню

$$N = \int_S dN \quad (2.13)$$

тобто

$$N = \int_S E dS_0 \quad (2.14)$$

або

$$N = \gamma M \int_S \frac{dS_0}{R^2}, \quad (2.15)$$

і

$$N = \gamma M \int_{\Omega} d\Omega = 4\pi\gamma M \quad (2.16)$$

що і потрібно було довести.

2.3 Напруженість гравітаційного поля тонкої нескінченно однорідної площини

Дослідимо напруженість гравітаційного поля тонкої нескінченно однорідної площини, маса одиниці поверхні якої дорівнює σ .

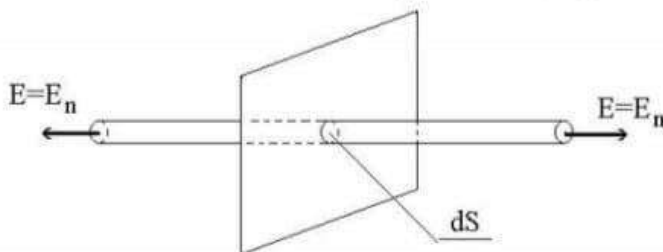


рис. 2.3 Напруженість гравітаційного поля однорідної площини

Виділимо нескінченно малу площину dS . Її маса dm буде

$$dm = \sigma \cdot dS \quad (2.17)$$

Виберемо в якості поверхні, що охоплює масу, циліндричну поверхню. Тоді

$$dN = 2dN_{\text{осн}} + dN_{\text{бічн. пов. цил}} \quad (2.18)$$

Але $dN_{\text{бічн. пов. цил.}} = 0$, а

$$d_{\text{осн}} = E_N dS \quad (2.19)$$

і

$$dN_{\text{осн}} = E dS \quad (2.20)$$

За теоремою Гауса

$$dN = 4\pi\gamma M \quad (2.21)$$

звідки

$$E = 4\pi\gamma \frac{dm}{dS} \quad (2.22)$$

і

$$E = 4\pi\gamma\sigma \quad (2.23)$$

Таким чином, напруженість гравітаційного поля тонкої нескінченно однорідної площини, маса одиниці поверхні якої дорівнює σ , розраховується за формулою (2.23).

2.4 Напруженість гравітаційного поля між двома тонкими площинами

Знайдемо напруженість гравітаційного поля між двома тонкими нескінченно однорідними площинами і зовні їх. Маса одиниці поверхні між пластинами $\sigma = 0$.

З обох сторін тонкої нескінченно однорідної площини напруженість гравітаційного поля буде $E = 4\pi\gamma\sigma$. Між пластинами $E = 0$, тому що гравітаційне поле не утворює замкнуту охоплюючу поверхню і $\sigma = 0$.

Зовні пластин напруженість гравітаційного поля буде

$$E = 4\pi\gamma\sigma \quad (2.24)$$

2.5 Дослідження напруженості гравітаційного поля, створюваного суцільною однорідною сферою

Встановимо напруженість гравітаційного поля, створюваного суцільною однорідною сферою радіусу R всередині і зовні сфери. Щільність матеріалу сфери ρ . Побудуємо графік залежності $E = f(r)$.

2.5.1 Спочатку розглянемо гравітаційне поле зовні сфери. Із міркувань симетрії в якості охоплюючої поверхні виберемо сферичну поверхню радіусу r . Очевидно, у будь-якій точці цієї поверхні

$$E_n = E = \text{const} \quad (2.25)$$

Тоді, повний потік через замкнену сферичну поверхню

$$N = \int_s E_n dS \quad (2.26)$$

або

$$N = E \int_s dS \quad (2.27)$$

і

$$N = 4\pi r^2 E \quad (2.28)$$

тобто

$$N = 4\pi\gamma M \quad (2.29)$$

Таким чином,

$$E = \frac{\gamma M}{r^2} \quad (2.30)$$

або

$$E = \frac{4}{3} \pi R^3 \frac{\rho \gamma}{r^2} \quad (2.31)$$

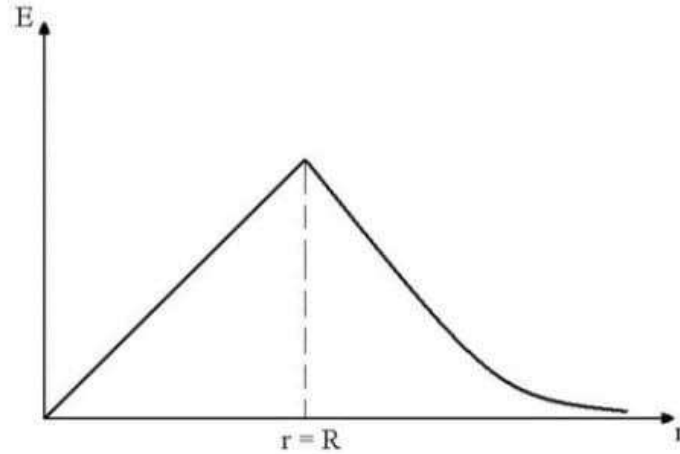


рис 2.4 Графік залежності $E = f(r)$

2.5.2 розглянемо гравітаційне поле всередині сфери. Виділимо сферу радіусом r' . Очевидно

$$E \cdot 4\pi r'^2 = 4\pi \gamma M' \quad (2.32)$$

де
$$M' = \frac{4}{3} \pi r'^3 \rho \quad (2.33)$$

тоді, напруженість гравітаційного поля всередині сфери

$$E = \frac{4}{3} \pi r r' \gamma \quad (2.34)$$

2.6 Вивід формули напруженості гравітаційного поля, створюваного тонкою сферичною оболонкою.

Виведемо формулу для напруженості гравітаційного поля, створюваного тонкою сферичною оболонкою радіусом R всередині і зовні оболонки. Маса одиниці поверхні оболонки σ . Побудуємо графік залежності $E = f(r)$.

Беручи до уваги те, що повний потік через замкнуту сферичну поверхню розраховується за формулою (2.16), напруженість гравітаційного поля зовнішньої охоплюючої оболонки радіуса r

$$E = \frac{4\pi \gamma M}{4\pi r^2} = \frac{\gamma M}{r^2} \quad (2.35)$$

Площа поверхні кулі

$$S = 4\pi R^2 \quad (2.36)$$

а маса тонкої сферичної оболонки радіуса R з одиницею поверхні σ

$$M = 4\pi R^2 \sigma \quad (2.37)$$

Таким чином, формула напруженості гравітаційного поля, створюваного тонкою сферичною оболонкою радіуса R на зовнішній охоплюючій сферичній поверхні радіуса r буде

$$E = \frac{4\pi R^2 \gamma \sigma}{r^2} \quad (2.38)$$

Всередині порожньої оболонки маса буде рівною $\sigma = 0$, тому напруженість гравітаційного поля всередині порожньої оболонки

$$E = 0 \quad (2.39)$$

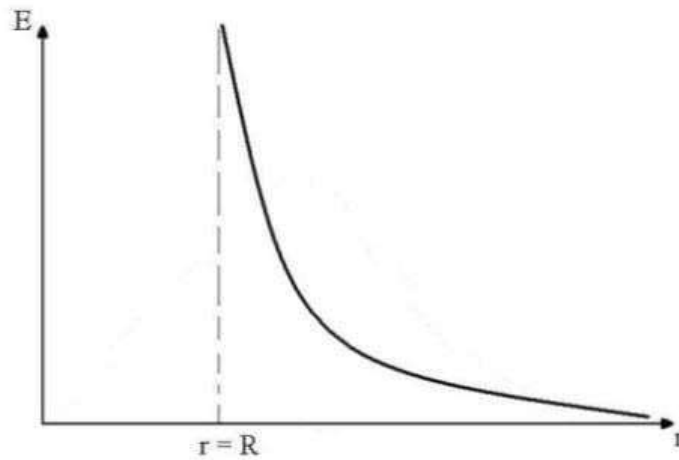


рис 2.5 Графік залежності $E = f(r)$

2.7 Дослідження сили гравітаційної взаємодії між тонкою ниткою і матеріальною точкою

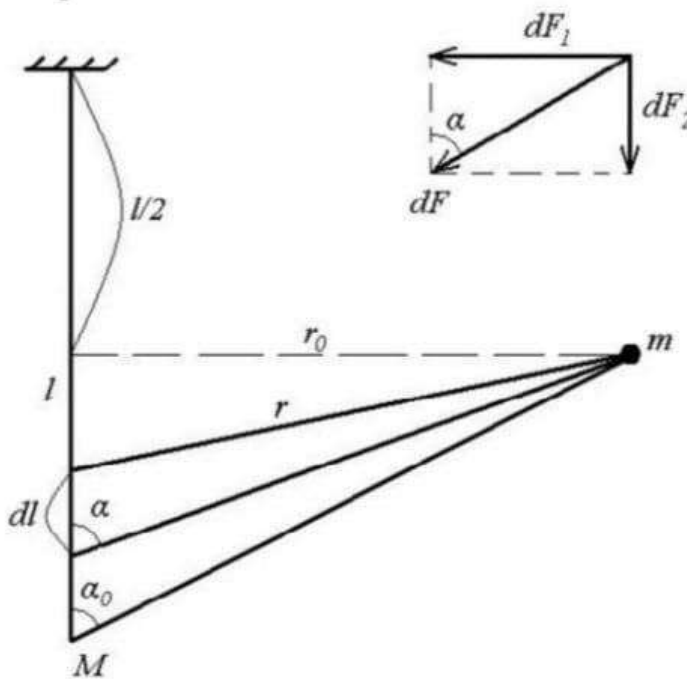


рис 2.6 Нитка масою M і точка масою m

Знайдемо силу гравітаційної взаємодії між тонкою однорідною ниткою довжиною l масою M і матеріальною точкою m , яка лежить на відрізку перпендикуляра, довжиною r_0 , поставленого до середини нитки. Розглянемо також випадок $l \gg r_0$. Скористаємося принципом суперпозиції

$$F = \int_l dF_1 \quad (2.40)$$

або

$$F = \int_l dF \sin \alpha \quad (2.41)$$

Враховуючи, що

$$dl = \frac{r}{\sin \alpha} d\alpha \quad (2.42)$$

$$i \quad r = \frac{r_0}{\sin \alpha} \quad (2.43)$$

$$a \quad dF = \gamma \frac{m \sigma dl}{r^2} \quad (2.44)$$

після інтегрування отримаємо:

$$F = \frac{2\gamma m \sigma}{r_0} \cos \alpha_0 \quad (2.45)$$

Але

$$\cos \alpha_0 = \frac{l}{2\sqrt{\frac{l^2}{4} + r_0^2}} \quad (2.46)$$

Тоді

$$F = \frac{\gamma m M}{r_0 \sqrt{\frac{l^2}{4} + r_0^2}} \quad (2.47)$$

Якщо виконується умова $l \gg r_0$, то

$$F = \frac{2\gamma m M}{r_0 l} \quad (2.48)$$

Таким чином, нами встановлені формули сили гравітаційної взаємодії між тонкою однорідною ниткою і матеріальною точкою.

2.8 Дослідження напруженості і гравітаційного поля між тонкою ниткою на відстані r

Визначимо напруженість гравітаційного поля, створюваного тонкою нескінченно однорідною ниткою на відстані r_0 . Маса одиниці довжини нитки σ . Розглянемо:

- а) Вивід на основі принципу суперпозиції;
- б) методом Гауса.

2.8.1 Принцип суперпозиції

Напруженість гравітаційного поля

$$E = \frac{F}{m}$$

$$\text{Маса нитки} \quad M = l\sigma \quad (2.49)$$

На основі формул (2.48) і (2.49) отримаємо

$$E = \frac{2\gamma l \sigma m}{r_0 l m},$$

І напруженість гравітаційного поля, створюваного тонкою нескінченно однорідною ниткою на відстані r_0 , буде:

$$E = \frac{2\gamma\sigma}{r_0} \quad (2.50)$$

2.8.2 Метод Гауса

В якості охоплюючої поверхні із міркувань симетрії виберемо циліндричну поверхню радіусом r_0 . Для всіх точок бічної поверхні циліндра $E_n = E = \text{const}$.

Тоді

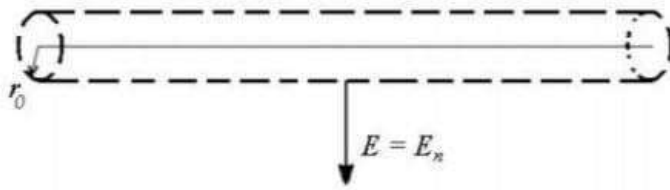


рис 2.7 Охоплююча циліндрична поверхня радіусом r_0

$$N = E \int_S dS = 2\pi r_0 l E = 4\pi \gamma M \quad (2.51)$$

звідки

$$E = \frac{4\pi \gamma M}{2\pi r_0 l}$$

або

$$E = \frac{2\gamma\sigma}{r_0}$$

Що необхідно було довести.

2.9 Напруженість поля і сили гравітаційної взаємодії тонкого кільця і матеріальної точки

Знайдемо формулу для напруженості поля і сили гравітаційної взаємодії між тонким однорідним кільцем радіусом R і масою M та матеріальною точкою, масою m , яка лежить:

- а) на висоті h на перпендикулярі, опущеному із центра кільця до його площини;
- б) в центрі кільця.

2.9.1 Виділимо елемент довжиною dl з масою

$$dM = \sigma dl \quad (2.52)$$

На основі принципу суперпозиції

$$F = \int_l dF_1 = \int_l dF \sin \alpha \quad (2.53)$$

або

$$F = \gamma \frac{\sigma m}{r^2} \sin \alpha \int_0^{2\pi} dl \quad (2.54)$$

Інтегруючи, отримаємо:

$$F = \frac{\gamma m M}{r^2} \sin \alpha \quad (2.55)$$

Вважаючи, що

$$\sin \alpha = \frac{h}{r} \quad (2.56)$$

а

$$r = \sqrt{R^2 + h^2} \quad (2.57)$$

Звідки сила гравітаційної взаємодії між кільцем і точкою з масою m

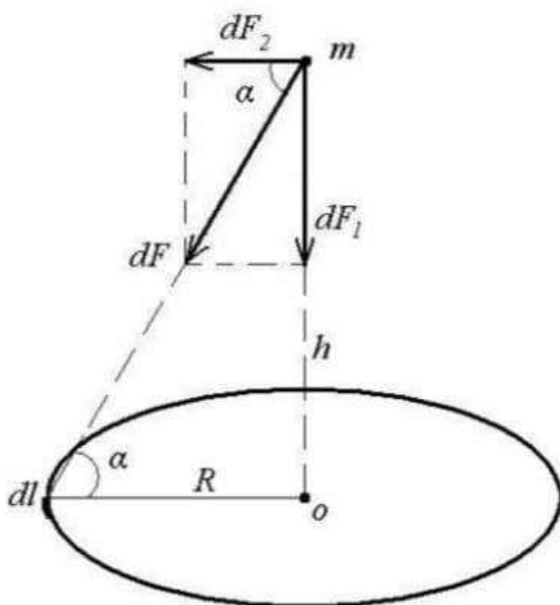


рис 2.8 Гравітаційна взаємодія тонкого або однорідного кільця і точки m

$$F = \gamma \frac{mM}{(R^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot h \quad (2.58)$$

Напруженість поля

$$F = \gamma \frac{Mh}{(R^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.59)$$

2.9.2 В центрі кільця $F = 0, E = 0$, тому що там немає ніякої маси, яка б створювала напруженість гравітаційного поля.

Встановлено, що максимальною буде напруженість на відстані $h = \frac{\sqrt{2}}{2} R$ від кільця, а мінімальною - в центрі кільця.

2.10 Дослідження сили гравітаційної взаємодії між диском і матеріальною точкою.

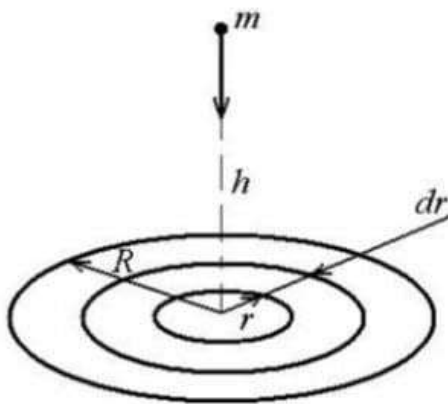


рис 2.9 Гравітаційна взаємодія диска і точки m

Тонкий однорідний диск радіусом R має масу M . Встановимо силу гравітаційної взаємодії між цим диском і матеріальною точкою з масою m , яка знаходиться:

- а) на осі диска на відстані h від нього;
- б) в центрі диска.

2.10.1 Виділимо кільце радіуса r , товщиною dr .

Сила взаємодії між цим кільцем і матеріальною точкою m (див. п. 2.9)

$$dF = \gamma \frac{mdM}{(r^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot h \quad (2.60)$$

Маса кільця

$$dM = \frac{M}{\pi R^2} dS \quad (2.61)$$

або

$$dM = \frac{2Mr}{R^2} dr \quad (2.62)$$

Повна сила взаємодії:

$$F = \int_s dF \quad (2.63)$$

і

$$F = \frac{2\gamma mMh}{R^2} \int_0^R \frac{rdr}{(r^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.64)$$

Або

$$F = -\frac{2\gamma m M h}{R^2} \left| \frac{r dr}{(r^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}} \right|_0^R \quad (2.65)$$

Тобто

$$F = \frac{2\gamma m M}{R^2} \left[1 - \frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}} \right] \quad (2.66)$$

2.10.2 В центрі диска ($h = 0$)

$$F = \frac{2\gamma m M}{R^2} \quad (2.67)$$

Таким чином, напруженість гравітаційного поля буде максимальною при $h = 0$, тобто

$$E_{\max} = \frac{2\gamma M}{R^2} \quad (2.68)$$

При збільшенні h E монотонно зменшується (при $h \rightarrow \infty, E \rightarrow 0$)

Дослідження космічних швидкостей

3.1 Встановлення першої космічної швидкості

Знайдемо мінімальну швидкість, яку необхідно надати тілу, щоб вивести його на орбіту навколо Землі (так звана перша космічна швидкість).

Якщо тіло є супутником Землі, воно обертається навколо неї під дією однієї тільки сили тяжіння, яка відіграє, очевидно, роль доцентрової сили

$$F_{\text{доц}} = \frac{mV^2}{r} \quad (3.1)$$

Оскільки йдеться про мінімальну швидкість, то достатньо розглянути орбіти, наближені до поверхні Землі, для яких $r \approx R$.

Згідно закону всесвітнього тяжіння

$$F = \frac{\gamma \cdot m \cdot M}{R^2} \quad (3.2)$$

Тоді, прирівнюючи (3.2) і (3.1), отримаємо:

$$\gamma \frac{mM}{R^2} = \frac{mV^2}{R} \quad (3.3)$$

звідки знаходимо

$$V = \sqrt{\gamma \frac{M}{R}} \quad (3.4)$$

Далі, враховуючи, що для тих випадків, коли справедливий закон всесвітнього тяжіння у формулі (3.2), потенціальна енергія взаємодії двох тіл буде:

$$U = -\frac{m_1 m_2}{r} \quad (3.5)$$

Потенціальна енергія від'ємна, що відповідає, як завжди, притягання тіл. Тоді

$$V = \sqrt{\gamma \frac{M}{R^2}} R = \sqrt{gR} \quad (3.6)$$

Підставивши в (3.6) величини $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, $R = 6370 \text{ км}$, знайдемо

$$V \approx 7,9 \text{ км/с.}$$

Таким чином, для того, щоб вивести штучний супутник Землі на навколосупутничу орбіту, йому необхідно надати швидкість 7,9 км/с.

3.2 Встановлення другої космічної швидкості

Встановимо мінімальну швидкість, яку необхідно надати тілу, щоб воно спромоглося покинути Землю, подолавши поле тяжіння Землі (так звана друга космічна швидкість).

Сумарна енергія E тіла, якому надана швидкість біля поверхні Землі, складається з кінетичної енергії W_k

$$W_k = \frac{mV^2}{2} \quad (3.7)$$

І потенціальній енергії U

$$U = -\gamma \frac{mM}{R} \quad (3.8)$$

де m – маса тіла, M – маса Землі, R – радіус Землі.

$$E = W_k + U \quad (3.9)$$

або

$$E = \frac{mV^2}{2} - \gamma \frac{mM}{R} \quad (3.10)$$

Якщо тіло значно віддалиться від Землі (теоретично на нескінченність), його потенціальна енергія, як видно із формули (3.5), дорівнюватиме нулю; що ж до кінетичної енергії, то досить, щоб вона мала мінімально можливе значення, тобто також дорівнювала нулю.

Таким чином, повна енергія тіла на нескінченності перетвориться в нуль. Але за законом збереження енергії, вона дорівнює E , отже

$$E = 0 \quad (3.11)$$

З рівнянь (3.10) і (3.11) знаходимо

$$V = \sqrt{\frac{2\gamma M}{R}} \quad (3.12)$$

або

$$V = \sqrt{2gR} \quad (3.13)$$

де

$$g = \gamma \frac{M}{R} \quad (3.14)$$

І в нашому випадку:

$$V = \sqrt{2 \cdot 9,8 \frac{M}{c^2} \cdot 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}} = \sqrt{1,248 \cdot 10^8} = 1,117 \cdot 10^4 \frac{M}{c} = 11,2 \frac{\text{км}}{c}$$

Як бачимо, друга космічна швидкість у $\sqrt{2}$ раз більша, ніж перша.

3.3 Встановлення третьої космічної швидкості

Встановимо початкову швидкість, яку потрібно надати ракеті, щоб вона змогла вийти за межі сонячної системи. Ракета стартує так, що напрям її швидкості утворює кут $\varphi = 45^\circ$ з напрямком орбітального руху Землі навколо Сонця.

Розглянемо рух ракети в системі відліку, пов'язаній з Сонцем.

Нехай шукана початкова швидкість ракети відносно Землі буде V , а швидкість орбітального руху Землі V_0 . необхідно врахувати, що ці дві швидкості мають різні напрямки і, отже, їх необхідно розглядати, як векторні величини.

Повну енергію ракети E для початкового моменту можна записати у вигляді:

$$E = W_k + U = \frac{m(V + V_0)^2}{2} - \gamma \frac{mM_3}{R_3} - \gamma \frac{mM_c}{R_o}, \quad (3.15)$$

де m – маса ракети, M_3 і M_c – маси Землі і Сонця, R_3 і R_o – радіуси Землі та її орбіти навколо Сонця.

Перший доданок у формулі (3.15) описує кінетичну енергію ракети, другий і третій – потенціальні енергії її взаємодії з Землею і Сонцем.

Міркуючи, як і раніше, легко впевнитися, що умовою виходу ракети за межі сонячної системи буде

$$E = 0 \quad (3.16)$$

Підставляючи замість E вираз (3.15) і розкриваючи в його першому доданку дужки:

$$(V + V_0)^2 = V^2 + V_0^2 + 2(VV_0) = V^2 + V_0^2 + 2VV_0 \cos \varphi \quad (3.17)$$

дістанемо таке квадратне відносно V рівняння

$$\frac{m}{2}(V^2 + V_0^2 + 2VV_0 \cos \varphi) - \gamma \frac{mM_3}{R_3} - \gamma \frac{mM_c}{R_o} = 0 \quad (3.18)$$

Канонічна формула цього рівняння має наступний вигляд:

$$V^2 + 2VV_0 \cos \varphi + V_0^2 - 2\gamma \left(\frac{M_3}{R_3} + \frac{M_c}{R_o} \right) = 0 \quad (3.19)$$

Знаходимо його розв'язок:

$$V = -V_0 \cos \varphi \pm \sqrt{2\gamma \left(\frac{M_3}{R_3} + \frac{M_c}{R_o} \right) - V_0^2 \sin^2 \varphi}, \quad (3.20)$$

причому, розв'язок із знаком мінус перед радикалом потрібно, очевидно, відкинути, як такий, що не має фізичного змісту.

Далі, розглядаючи рух Землі навколо Сонця, можна записати:

$$\frac{M_3 V_0^2}{R_o} = \gamma \frac{M_3 M_c}{R_o^2} \quad (3.21)$$

звідки

$$V_0 = \sqrt{\frac{\gamma M_c}{R_o}} \quad (3.22)$$

Підставляючи вираз (3.22) для V_0 у (3.20), знаходимо:

$$V = \sqrt{\frac{\gamma M_c}{R_o}} \left\{ \sqrt{2 \left(1 + \frac{M_3 R_o}{M_c R_3} \right) - \sin^2 \varphi} - \cos \varphi \right\} \quad (3.23)$$

Так як $\left(1 + \frac{M_3 R_o}{M_c R_3} \right) > 1$, підкореневий вираз у дужках завжди додатний. При

$$\varphi = 45^\circ \quad \sin \varphi = \cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

і

$$V = \sqrt{\frac{\gamma M_c}{R_o}} \left(\sqrt{3 + \frac{4M_3 R_o}{M_c R_3}} - 1 \right) \quad (3.24)$$

Підставляючи у формулу (3.24)

$M_3 = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}, M_C = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}, R_3 = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}, R_0 = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$, знаходимо

$$V = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}}{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}}} \left(\sqrt{3 + \frac{4 \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ кг} \cdot 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}}{2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \cdot 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}}} - 1 \right);$$

або

$$V = \sqrt{4,447 \cdot 10^8} (\sqrt{3,28} - 1) = 21,1(1,81 - 1) = 17,0 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Таким чином, для того, щоб вивести об'єкт за межі сонячної системи, йому необхідно надати швидкість 17,0 км/с.

3.4 Встановлення другої космічної швидкості для Місяця

Встановимо другу космічну швидкість для Місяця і дослідимо, як вона відрізняється від відповідної швидкості для Землі.

Ньютон підтвердив правильність закону всесвітнього тяжіння, довівши, що сила, яка втримує Місяць на його орбіті, є сила тяжіння Місяця до Землі. Якщо вважати, що Місяць рівномірно рухається навколо Землі по коловій орбіті радіусом R , то центробіжне прискорення Місяця буде

$$a = \frac{4\pi}{T^2} R \quad (3.25)$$

де T – період обертання Місяця.

Із астрономії було відомо, що $T = 27,3$ доби, а R більше радіуса Землі R_0 в 60,3 рази, тому:

$$a = 2,70 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Прискорення g сили тяжіння на відстані R від центра Землі, як видно із формули:

$$\frac{g_0}{g} = \left(1 + \frac{h}{R_0} \right)^2 \quad (3.26)$$

дорівнює

$$g = g_0 \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 = \frac{9,81}{(60,3)^2} = 2,70 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

тобто співпадає з a .

Таким чином, центробіжна сила, яка діє на місяць, дійсно дорівнює силі тяжіння Місяця до Землі

$$F_{ц} = m_M a = m_M g = \gamma \frac{m_M M}{R^2},$$

де m_M - маса Місяця.

За допомогою закону всесвітнього тяжіння і законів динаміки Ньютон обґрунтував закони руху небесних тіл. Він визначив відношення маси Сонця до маси кожної із планет, у яких були відомі супутники; дав метод обчислення орбіт комет, пояснив явища приливів і відливів і т.і.

Для того, щоб знайти другу космічну швидкість Місяця, встановимо прискорення місячного тяжіння $g_{міс}$ за формулою

$$g_{міс} = \gamma \frac{M_{міс}}{R_{міс}^2}, \quad (3.28)$$

Вважаючи, що маса Місяця складає $M_{міс} = 7,3 \cdot 10^{22}$ кг, а радіус Місяця $R_{міс} = 1,74 \cdot 10^6$ м, за формулою (3.28) отримаємо

$$g_{міс} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{М^3}{Кг^2 \cdot С^2} \cdot 7,3 \cdot 10^{22} Кг}{(1,74 \cdot 10^6 М)^2} = 1,61 \frac{М}{С^2}$$

Тоді, другу космічну швидкість для запуску космічних об'єктів з Місяця розрахуємо за формулою:

$$V_{2косм.шв.міс.} = \sqrt{2g_{міс} R_{міс}} \quad (3.29)$$

І в нашому випадку

$$V_{2косм.шв.міс.} = \sqrt{2 \cdot 1,61 \frac{М}{С^2} \cdot 1,74 \cdot 10^6 М} = 2,4 \cdot 10^3 \frac{М}{С} = 2,4 \frac{КМ}{С}$$

Порівнюючи другу космічну швидкість для Землі і Місяця, отримаємо

$$\frac{V_{зем}}{V_{міс}} = \frac{11,2}{2,4} = 4,67,$$

Тобто, у 4,7 рази друга космічна швидкість для Землі більша, ніж для Місяця.

3.5 Встановлення роботи для виводу об'єкта на орбіту штучної планети сонячної системи

Встановимо, яку роботу необхідно здійснити, щоб вивести об'єкт масою 500 кг на орбіту штучної планети сонячної системи.

Щоб подолати силу тяжіння Землі, необхідно здійснити роботу за допомогою сили, направленої протилежно притяганню:

$$A = \int_{R_1}^{\infty} \gamma m M_3 \frac{dr}{r^2} \quad (3.30)$$

Інтегруючи (3.30), отримаємо

$$A = \gamma m M_3 \frac{1}{R_3} \quad (3.31)$$

І в нашому випадку:

$$A = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{М^3}{Кг^2 \cdot С^2} \cdot 500 Кг \cdot 5,96 \cdot 10^{24} Кг}{6,37 \cdot 10^6 М} = 3,12 \cdot 10^{10} \frac{М^2 Кг}{С^2} = 3,12 \cdot 10^{10} Дж.$$

Таким чином, для того, щоб вивести об'єкт масою 500 кг на орбіту штучної планети сонячної системи, необхідно затратити $3,12 \cdot 10^{10}$ Дж.

САМОСТІЙНА РОБОТА

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Рівняння руху матеріальної точки вздовж осі x має вигляд: $x = A + Bt + Ct^3$, де $A = 2\text{ м}$, $B = 1\text{ м/с}$, $C = -0,5\text{ м/с}^3$. Знайти координату x , швидкість V_x та прискорення a_x точки в момент часу $t = 2\text{ с}$.

Розв'язок

Координату x знайдемо, підставивши в рівняння числові значення коефіцієнтів A , B і C та часу t :

$$x = (2 + 1 \cdot 2 - 0,5 \cdot 2^3)\text{ м} = 0$$

Миттєва швидкість відносно осі x є перша похідна від координати по часу:

$$V_x = dx/dt = B + 3Ct^2$$

Прискорення - друга похідна від швидкості:

$$a_x = dV_x/dt = 6Ct$$

В момент часу $t = 2\text{ с}$:

$$V_x = (1 - 3 \cdot 0,5 \cdot 2^2) = -5\text{ м/с},$$

$$a_x = 6 \cdot (-0,5) \cdot 2\text{ м/с}^2 = -6\text{ м/с}^2$$

Приклад 2. Тіло обертається навколо нерухомої осі по закону $\varphi = A + Bt + Ct^2$, де $A = 10\text{ рад}$, $B = 20\text{ рад/с}$, $C = -2\text{ рад/с}^2$. Знайти повне прискорення точки, що знаходиться на відстані $r = 0,1\text{ м}$ від осі обертання, для моменту часу $t = 4\text{ с}$.

Розв'язок

Повне прискорення точки:

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n,$$

де \vec{a}_τ - тангенціальне прискорення,

\vec{a}_n - нормальне прискорення (дивись рисунок 1.4).

\vec{a}_τ та \vec{a}_n взаємноперпендикулярні, тому модуль прискорення

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \qquad a_\tau = \beta \cdot r, \qquad a_n = \omega^2 \cdot r,$$

де ω - модуль кутової швидкості,

β - модуль кутового прискорення.

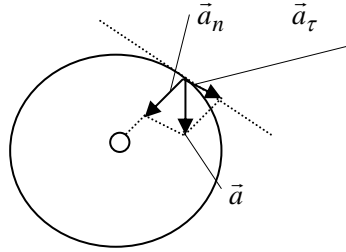


Рисунок 1.4

$$a = \sqrt{\beta^2 \cdot r^2 + \omega^4 \cdot r^2} = r \cdot \sqrt{\beta^2 + \omega^4} \quad (1.1)$$

Кутова швидкість $\omega = d\varphi / dt = B + Ct$.

В момент часу $t = 4\text{с}$ модуль кутової швидкості

$$\omega = [20 + 2 \cdot (-2) \cdot 4] \text{ рад/с} = 4 \text{ рад/с.}$$

Кутове прискорення $\beta = d\omega / dt = 2C = -4 \text{ рад/с}^2$.

Підставивши значення ω , β та r в формулу (1.1), одержимо

$$a = 0,1 \cdot \sqrt{(-4)^2 + 4^2} = 0,564 \text{ м/с}^2.$$

Приклад 3. При пострілі із пружинного пістолета вертикально вгору куля масою $m = 20\text{г}$ піднялась на висоту $h = 5\text{м}$. Визначити жорсткість пружини пістолета, якщо вона була стиснута на $x = 10\text{см}$. Масою пружини та силами тертя знехтувати.

Розв'язок

Використовуємо закон збереження енергії в механіці, тому що в системі пружина-куля діють тільки консервативні сили.

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2},$$

де E_{k1} - кінетична енергія системи до пострілу,

E_{p1} - потенціальна енергія системи до пострілу,

E_{k2} - кінетична енергія системи в кінцевому стані,

E_{p2} - потенціальна енергія системи в кінцевому стані.

$$E_{k1} = E_{k2} = 0,$$

$$E_{p1} = E_{p2} \quad (1.2),$$

$$E_{p1} = kx^2/2, \quad E_{p2} = mgh.$$

Після підстановки E_{p1} та E_{p2} в формулу (1.2) одержимо

$$k = 2 mgh/x^2.$$

Перевірка на відповідність одиницям вимірювання:

$$[k] = \text{кг}\cdot\text{м}\cdot\text{м}/\text{с}^2/\text{м}^2 = \text{кг}/\text{с}^2 = \text{Н}/\text{м},$$

$$k = 2\cdot 0,02\cdot 9,81\cdot 5/(0,1)^2 = 196 \text{ Н}/\text{м}.$$

Приклад 4. Куля масою m_1 , що рухається горизонтально з деякою швидкістю V_1 , стикається з нерухомою кулею масою m_2 . Кулі абсолютно пружні. Удар прямий, центральний. Яку частину своєї кінетичної енергії перша куля передала другій?

Розв'язок

Частина енергії, що передана першою кулею другій, буде визначатися співвідношенням:

$$\xi = E_{k2}/E_{k1} = m_2 U_2^2 / m_1 V_1^2 = m_2/m_1 (U_2/V_1)^2, \quad (1.3)$$

де E_{k1} – кінетична енергія першої кулі до зіткнення,

E_{k2} – кінетична енергія другої кулі після зіткнення,

U_2 – швидкість другої кулі після зіткнення.

По закону збереження імпульсу:

$$m_1 V_1 = m_1 U_1 + m_2 U_2 \quad (1.4)$$

По закону збереження енергії:

$$m_1 V_1^2 / 2 = m_1 U_1^2 / 2 + m_2 U_2^2 / 2 \quad (1.5)$$

Розв'язуємо систему рівнянь (1,4) та (1,5):

$$U_2 = 2m_1 V_1 / (m_1 + m_2)$$

Підставляємо цей вираз в формулу (1,3) і одержуємо:

$$\xi = m_2/m_1 [2m_1 V_1 / V_1 / (m_1 + m_2)]^2 = 4m_1 m_2 / (m_1 + m_2)^2$$

Із одержаного співвідношення видно, що доля переданої енергії залежить тільки від мас взаємодіючих куль.

Приклад 5. Маховик у вигляді суцільного диску радіусом $R = 0,2\text{м}$ і масою $m = 50\text{кг}$ розкручений до частоти $n_1 = 480 \text{ хв}^{-1}$. Під дією сил тертя він зупинився через $t = 50 \text{ с}$. Знайти момент сил тертя.

Розв'язок

Скористаємося основним рівнянням динаміки обертального руху у вигляді:

$$dL_z = M_z dt, \quad (1.6)$$

де dL_z - зміна проекції на вісь z моменту імпульсу маховика, що обертається відносно осі z , яка співпадає з геометричною віссю маховика, за інтервал часу dt ; M_z – момент зовнішніх сил (сил тертя), діючих на маховик відносно осі z .

Момент сил тертя можна вважати сталим у часі, тому інтегрування рівняння (1.6) приводить до виразу:

$$\Delta L_z = M_z \Delta t, \quad (1.7)$$

При обертанні твердого тіла відносно нерухомої осі зміна проекції моменту імпульсу може бути записана як:

$$\Delta L_z = I_z \Delta \omega, \quad (1.8)$$

де I_z – момент інерції маховика відносно осі z , $\Delta \omega$ - зміна кутової швидкості маховика.

Прирівнявши праві частини (1.7) і (1.8), одержуємо $M_z \Delta t = I_z \Delta \omega$, звідки:

$$M_z = I_z \Delta \omega / \Delta t. \quad (1.9)$$

$I_z = mR^2/2$ – момент інерції суцільного диска,

$$\Delta \omega = \omega_2 - \omega_1 = 2\pi n_2 - 2\pi n_1 = 2\pi(n_2 - n_1).$$

Підставляючи в формулу (1.9) вирази I_z та $\Delta \omega$, одержимо:

$$M_z = \pi mR^2 (n_2 - n_1) / \Delta t. \quad (1.10)$$

Перевірка розмірності розрахункової формули (1.10):

$$[M_z] = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1} / \text{с} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2 = \text{Н} \cdot \text{м},$$

$$M_z = 3,14 \cdot 50 \cdot (0,2)^2 \cdot (0 - 8) / 50 = - 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Знак мінус вказує, що момент сил тертя буде гальмувати маховик.

Приклад 6. Платформа у вигляді суцільного диска радіусом $R = 1,5 \text{ м}$ і масою $m = 180 \text{ кг}$ обертається навколо вертикальної осі, яка проходить через її центр мас, з частотою $n_1 = 10 \text{ хв}^{-1}$. В центрі платформи стоїть людина масою $m = 60 \text{ кг}$. Яку лінійну швидкість V відносно підлоги приміщення буде мати людина, якщо вона перейде на край платформи?

Розв'язок

Скористаємося законом збереження моменту імпульсу. Момент зовнішніх сил відносно осі обертання z , що співпадає з геометричною віссю платформи, можна вважати рівним нулю (за умовами задачі).

При цій умові:

$$L_z = I_z \cdot \omega, \quad (1.11)$$

де I_z – момент інерції платформи з людиною,

ω - кутова швидкість платформи,

$I_z = I_1 + I_2$ - в початковому стані,

$I'_z = I'_1 + I'_2$ - в кінцевому стані.

З урахуванням цього рівняння (1.11) приймає вигляд:

$$(I_1 + I_2)\omega = (I'_1 + I'_2)\omega' \quad (1.12)$$

Момент інерції платформи не змінюється: $I_1 = I'_1 = m_1 R^2/2$.

Момент інерції людини змінюється: $I_2 = 0$, $I'_2 = m_2 R^2$.

Підставляємо моменти інерції в рівняння (1.12), а також враховуємо, що $\omega = 2\pi n$, а кінцева швидкість платформи $\omega = V/R$, де V - швидкість людини відносно підлоги.

$$(m_1 R^2/2 + 0) \cdot 2\pi n = (m_1 R^2/2 + m_2 R^2) \cdot V/R$$

$$V = 2\pi n R m_1 / (m_1 + 2m_2) = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 30 / (180 + 120) = 0,94 \text{ м/с.}$$

Перевіримо розмірність:

$$[V] = \text{с}^{-1} \cdot \text{м} \cdot \text{кг} / \text{кг} = \text{м/с}$$

САМОСТІЙНА РОБОТА

(виконується студентом в окремому зошиті)

Таблиця варіантів

(зазвичай номер варіанту відповідає номеру студента в списку)

Варіант	Номери задач									
1	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325
2	101	126	151	176	201	226	251	276	301	326
3	102	127	152	177	202	227	252	277	302	327
4	103	128	153	178	203	228	253	278	303	328
5	104	129	154	179	204	229	254	279	304	329
6	105	130	155	180	205	230	255	280	305	330
7	106	131	156	181	206	231	256	281	306	331
8	107	132	157	182	207	232	257	282	307	332
9	108	133	158	183	208	233	258	283	308	333
10	109	134	159	184	209	234	259	284	309	334
11	110	135	160	185	210	235	260	285	310	335
12	111	136	161	186	211	236	261	286	311	336
13	112	137	162	187	212	237	262	287	312	337
14	113	138	163	188	213	238	263	288	313	338
15	114	139	164	189	214	239	264	289	314	339
16	115	140	165	190	215	240	265	290	315	340
17	116	141	166	191	216	241	266	291	316	341
18	117	142	167	192	217	242	267	292	317	342
19	118	143	168	193	218	243	268	293	318	343
20	119	144	169	194	219	244	269	294	319	344
21	120	145	170	195	220	245	270	295	320	345
22	121	146	171	196	221	246	271	296	321	346
23	122	147	172	197	222	247	272	297	322	347
24	123	148	173	198	223	248	273	298	323	348
25	124	149	174	199	224	249	274	299	324	349

100. Швидкість тіла змінюється за законом $V = At^2 + Ce^{Bt}$, де $A = 3 \text{ м/с}^3$, $B = \text{с}^{-1}$, $C = 1 \text{ м/с}$. Знайти прискорення тіла наприкінці першої секунди руху, шлях, пройдений тілом, і середню швидкість за цей же час.
101. Тіло кинуто з поверхні землі під кутом $\alpha = 30^\circ$ до горизонту з початковою швидкістю $V_0 = 10 \text{ м/с}$. Не враховуючи опір повітря, знайти: а) швидкість тіла в момент часу $t_1 = 0,8 \text{ с}$; б) рівняння траєкторії; в) час підйому і час спуску; г) далькість польоту; д) радіус кривизни траєкторії в момент часу t_1 .
102. Знайти нормальне і тангенціальне прискорення тіла, яке кинуто з початковою швидкістю $V_0 = 10 \text{ м/с}$ під кутом $\alpha = 30^\circ$ до горизонту, через $t_1 = 0,7 \text{ с}$ польоту. В яких точках траєкторії ці прискорення будуть найбільшими і чому дорівнюють?
103. Частинка рухається згідно з рівняннями $x = kt$; $y = mt^2 + bt$; $z = ct^2$, де k, m, b, c – сталі. Знайти швидкість частинки, її прискорення та модуль переміщення за перші t секунд руху.
104. Тіло рухається згідно з рівняннями $x = 5\sin 2\pi t$ і $y = 5\cos 2\pi t$. Знайти шлях, пройдений тілом за час $t = 10,25 \text{ с}$. Чому дорівнює модуль переміщення за цей час?
105. Точка рухається по колу зі швидкістю $V = a_0 t$, де $a_0 = 1 \text{ м/с}^2$. Знайти її повне прискорення після того, як вона зробить повний оберт.
106. Колесо радіуса $R = 0,1 \text{ м}$ обертається так, що залежність кута повороту радіуса колеса від часу описується рівнянням $\varphi = A \sin Bt + ct^2$, де $A = 1 \text{ рад}$, $B = 3 \text{ с}^{-1}$, $c = 2 \text{ рад/с}^3$. Для точок на ободі колеса знайти через $t_1 = 2\pi/3 \text{ с}$ після початку руху: а) кутову швидкість; б) лінійну швидкість; в) кутове прискорення; г) тангенціальне прискорення; д) нормальне прискорення.
107. Камінь кидають горизонтально з вершини гори, яка має кут нахилу 30° . З якою початковою швидкістю треба кинути камінь, щоб він упав на відстані 30 м від вершини?
108. Тіло має початкову швидкість 10 м/с і рухається прямолінійно з прискоренням 2 м/с^2 . Який шлях пройде тіло за п'ять секунд руху?
109. П'ять секунд тіло рухалось із швидкістю 10 м/с , а десять секунд із швидкістю 15 м/с . Яка середня швидкість руху за весь час?
110. Шайба почала рухатись по поверхні льоду із швидкістю 20 м/с . Через 20 секунд вона зупинилась. Який шлях пройшла шайба і яке її прискорення? Рух вважати рівнозмінним.
111. Половину шляху автомобіль проїхав із швидкістю 40 км/год , а другу половину із швидкістю 60 км/год . Яка середня швидкість?
112. Третю частину шляху автомобіль рухався із швидкістю 40 км/год , а решту шляху із швидкістю 80 км/год . Яка середня швидкість?
113. Відстань між двома станціями в 3 км поїзд проходить із середньою швидкістю 54 км/год . При цьому на розгін він витрачає 20 секунд, потім іде деякий час рівномірно, а на сповільнення до зупинки витрачає 10 секунд. Знайти найбільшу швидкість поїзда.
114. Кулька котилася по столу і упала на підлогу на відстані $0,5 \text{ м}$ від нього. Яка початкова швидкість кульки, якщо висота стола $1,25 \text{ м}$?
115. Яка небезпечна висота польоту літаків над полігоном, де проводяться артилерійські стрільби? Початкова швидкість снарядів 1000 м/с , а кут стволів над горизонтом 15° . Опір повітря не враховувати.
116. З якої висоти вільно упало тіло, якщо останню третину шляху воно пролетіло за одну секунду?
117. Автомобіль рухається від зупинки з постійним прискоренням $1,5 \text{ м/с}^2$ і набуває швидкості 15 м/с . Яку відстань пройшов автомобіль за цей час?
118. Два велосипедисти знаходяться на відстані 300 м і рухаються назустріч один одному із швидкостями 36 км/год і 18 км/год . Через який час і де вони зустрінуться?
119. Яку швидкість набула ракета на шляху 750 м , якщо вона із стану спокою рухається вертикально вгору з прискоренням 60 м/с^2 ?
120. Вільно падаючи, тіло досягає землі за 4 секунди. Яким буде час падіння з тієї ж висоти, якщо тіло кинути вертикально вниз із початковою швидкістю 30 м/с ?
121. Камінь вільно падає з висоти 45 м . Який шлях проходить камінь за останню секунду і яка його середня швидкість на цьому останньому відрізку шляху?
122. Тіло вільно упало з висоти 5 м . Яка середня швидкість його руху?

123. Тіло кинуто вертикально вгору із швидкістю 40 м/с. Через який час воно упало на землю, та яка максимальна висота польоту?
124. Який шлях проходить тіло за десятку секунду свого вільного падіння і яка його середня швидкість на цьому останньому участку?
125. За який час вільно падаюче тіло пройде шлях 4,9 м? Яка його кінцева швидкість?
126. Тіло із стану спокою почало рухатись рівноприскорено і за десятку секунду пройшло шлях 38 м. Який шлях був пройдений за 5-ту секунду?
127. Тіло кинуто під кутом 60° до горизонту з початковою швидкістю 20 м/с. Через який час воно буде рухатись під кутом 45° до горизонту?
128. Повз річкову пристань пропливає пліт. У цей момент в селище, яке знаходиться на відстані 15 км від пристані, вниз по річці відправляється моторний човен. Він доплив до селища за 45 хв і відразу поплив назад. На відстані 9 км від селища знову зустрів пліт. Визначити швидкість течії ріки і швидкість човна відносно води.
129. Два поїзди відійшли від станції один за одним з інтервалом 10 хв і рухаються із швидкістю 60 км/год. З якою швидкістю рухається зустрічний поїзд, якщо він зустрів ці поїзди з інтервалом у 6 хв?
130. Уздовж дороги паралельними курсами рухаються дві колони автомобілів з інтервалом 20 м і 30 м. Швидкості колон відповідно 15 м/с і 20 м/с. Нерухоми спостерігач, який знаходиться близько від дороги, помічає, що іноді повз нього проходить пара автомобілів. Куди і з якою швидкістю повинен рухатись спостерігач, щоб зустрічати автомобілі тільки парами?
131. Йдучи до школи, учень помітив, що кожні 6 хв його наздоганяє автобус, а кожні 3 хв проходить зустрічний автобус. Через який інтервал часу відходять автобуси від кінцевих зупинок?
132. Вільно падаюча кулька досягає швидкості 2 м/с і пружньо стикається з похилою площиною, яка утворює з горизонтом кут 30° . Знайти відстань вздовж похилої площини до наступного удару кульки.
133. Для повороту трактора, який рухається із швидкістю 18 км/год, тракторист пригальмовує одну із гусениць так, що вісь її ведучого колеса починає рухатись вперед із швидкістю 14 км/год. Відстань між гусеницями 1,5 м. Дугу якого радіуса опише центр трактора?
134. По горизонтальному столу, швидко обертаючись, без тертя рухається дзига у формі перевернутого конуса висотою 10 см і радіусом основи 10 см. При якій швидкості поступального руху дзига не зачепиться за край стола, зіскочивши з нього? Вісь дзиги залишається весь час вертикальною.
135. Із однієї точки одночасно вилітають дві частинки з горизонтальними протилежно направленими швидкостями 2 м/с і 5 м/с. Через який час кут між напрямками швидкостей цих частинок стане прямим? Прискорення вільного падіння прийняти 10 м/с^2 .
136. Кругле ядро радіусом R летить із постійною швидкістю V і потрапляє в рій мух, які летять із швидкістю U перпендикулярно до напрямку польоту ядра. Товщина рою дорівнює d , а в одиниці об'єму в середньому знаходиться n мух. Скільки мух убу'є ядро? Впливом сили тяжіння знехтувати.
137. Проти течії ріки моторний човен пливе повільніше, ніж в стоячій воді, а за течією – швидше. Де швидше човен пропливе одну і ту ж відстань туди і назад: у річці чи в озері? Відповідь обґрунтувати.
138. Ліфт починає підніматись з прискоренням $2,2 \text{ м/с}^2$. Коли його швидкість досягла 2,4 м/с, від стелі ліфта відірвалась гайка. Чому дорівнює час падіння гайки на підлогу ліфта? Висота кабіни ліфта 2,4 м, прискорення вільного падіння $9,8 \text{ м/с}^2$.
139. При швидкості вітру 10 м/с краплі дощу падають під кутом 30° до вертикалі. При якій швидкості вітру краплі будуть падати під кутом 45° ?
140. Автомобіль проїхав першу третину шляху із швидкістю 30 км/год, другу третину із швидкістю 40 км/год, а решту шляху із швидкістю 50 км/год. Яка середня швидкість автомобіля?
141. За останню секунду вільно падаюче тіло пролетіло $3/4$ свого шляху. Скільки часу падало тіло? Опором повітря знехтувати.

142. Баскетболіст кидає м'яч у кільце. Швидкість м'яча в момент кидка 8 м/с і утворює з горизонтом кут 60° . З якою швидкістю м'яч попав у кільце, якщо він долетів до нього за 1 сек ? Опір повітря не враховувати.
143. М'яч, кинутий одним гравцем другому під деяким кутом до горизонту із швидкістю 20 м/с , досяг найвищої точки траєкторії через 1 секунду . На якій відстані один від одного знаходяться гравці? Опором повітря знехтувати.
144. По дорозі паралельно залізничній колії рухається велосипедист із швидкістю 8 км/год . В деякий момент часу його наздоганяє поїзд довжиною 120 м і обганяє його за 6 секунд . Рух поїзда рівномірний. Знайти швидкість поїзда.
145. У вертикальний лобовий щит танка, який рухається по горизонтальній поверхні із швидкістю 54 км/год , пружно ударяє куля, яка летить в горизонтальній площині із швидкістю 1800 км/год під кутом 60° до напрямку руху танка, і відскакує від нього. Знайти швидкість кулі після відбивання. Удар вважати абсолютно пружним.
146. Барон Мюнхаузен розповідає: "Одного разу я біг вздовж залізничної колії. Назустріч мені промчались два поїзди з інтервалом 6 хвилин . Я знав, що обидва поїзди мають швидкість 60 км/год , причому другий поїзд відійшов від станції на 10 хвилин пізніше, ніж перший. По цим даним я швидко вирахував свою швидкість. А Ви зможете її вирахувати?"
147. Від поштовху куля закочується на похилу площину без тертя. На відстані 30 см від початкової точки руху куля побувала двічі: через 1 і 2 секунди після поштовху. Знайти початкову швидкість і прискорення руху кулі.
148. На нерухому похилу площину, яка утворює з горизонтом кут $\alpha=30^\circ$, з висоти $H=20 \text{ м}$ вільно падає м'яч і пружно відбивається від неї з тією ж за величиною швидкістю. Визначити відстань вздовж похилої площини до наступного удару м'яча по ній. Опором повітря знехтувати.
149. В горизонтальне кільце з діаметром 40 см , яке знаходиться на висоті 3 м , кидають кульки так, щоб вони при падінні пролітали через нього. Початкова швидкість кульок 10 м/с . Кульки кидають з відстані 5 м по прямій до центра кільця. Яким повинен бути мінімальний і максимальний кути кидання. Розмірами кульки знехтувати.
150. М'яч кинули з початковою швидкістю 8 м/с під кутом 30° до горизонту. На висоті $0,5 \text{ м}$ він пружно вдаряється об нерухому горизонтальну дощечку. Яка буде дальність польоту м'яча?
151. Два автомобілі рухаються зі сталими швидкостями V_1 та V_2 дорогами, що перетинаються під прямим кутом. Коли перший автомобіль знаходиться на перехресті, то другому залишилося проїхати до цього місця відстань L . Через який час t після цього відстань між автомобілями буде найменшою? Чому дорівнює ця відстань?
152. З висоти H на горизонтальну плиту падає кулька. Побудуйте графік залежності від часу проекції швидкості і висоти кульки на вертикальну вісь. Зіткнення вважати пружними, а їх тривалість дуже малою.
153. Із шлангу, який лежить на землі, під кутом 45° до горизонту б'є вода з початковою швидкістю $V_0=10 \text{ м/с}$. Площа перерізу отвору шлангу $S=5 \text{ см}^2$. Знайти масу води, яка перебуває в повітрі.
154. Нижній край драбини, яка опирається на стіну, ковзає по підлозі зі швидкістю 2 м/с . Знайти швидкість верхнього краю драбини в ту мить, коли вона утворює зі стіною кут 60° .
155. Спортсмени біжать колоною, що має довжину L_0 із швидкістю V . Назустріч біжить тренер із швидкістю $U < V$. Коли спортсмен зустрічає тренера, то повертає назад і біжить з тією ж швидкістю. Яка буде довжина колони, коли всі спортсмени повернуть назад?
156. Тіло проходить із сталою швидкістю відстань L , а потім гальмує з прискоренням a до зупинки. Якою повинна бути швидкість рівномірного руху, щоб час руху був мінімальним?
157. Камінь кинуто вертикально вгору із колодязя глибиною 30 м з початковою швидкістю 30 м/с . З якою швидкістю камінь впаде на поверхню землі і через який час? Прискорення вільного падіння 10 м/с^2 .
158. Тіло кинули вертикально вгору із швидкістю $V_1=30 \text{ м/с}$. Через $\Delta t = 0,1 \text{ с}$ з тієї точки вгору кидають друге тіло із швидкістю $V_2=40 \text{ м/с}$. Чому дорівнює відносна швидкість $V_{\text{відн}}$ другого тіла відносно першого під час польоту обох тіл і висота, на якій вони зустрінуться ($g = 10 \text{ м/с}^2$)?

159. Вертикально вгору з інтервалом в 1 с кинули два тіла з однаковою початковою швидкістю. На висоті 50 м тіла зустрічаються. Яка була їх початкова швидкість ($g = 10 \text{ м/с}^2$)?
160. З високого берега річки, що має висоту h над поверхнею води, кидають на інший берег тіло під кутом α до горизонту. Ширина річки S . Яка повинна бути найменша початкова швидкість тіла, щоб воно досягло іншого берега?
161. Гора утворює кут α з горизонтом. Біля підніжжя гори стоїть гармата, яка стріляє під кутом β до горизонту. Снаряд має початкову швидкість v_0 . На якій відстані від підніжжя гори впаде снаряд на її схилі?
162. Тіло починає вільно падати з висоти 45 м. В ту саму мить з точки на висоті 24 м кидають вгору друге тіло. Тіла падають на землю одночасно. Знайти початкову швидкість другого тіла.
163. По дузі кола радіуса 10 м рухається точка. В деякий момент часу нормальне прискорення точки дорівнює $4,9 \text{ м/с}^2$; вектор повного прискорення утворює у цей момент з вектором нормального прискорення кут 60° . Знайти швидкість та тангенціальне прискорення точки.
164. Два тіла падають без початкової швидкості з однакової висоти H . На шляху одного з них розміщена під кутом 45° до горизонту площадка, з якою це тіло стикається. Як відрізняються час і кінцеві швидкості падіння тіл? На якій висоті слід розмістити площадку, щоб друге тіло впало якомога пізніше?
165. З високого берега озера вибирають мотузку зі швидкістю v . До мотузки прив'язано човен. Яку швидкість матиме човен в ту мить, коли кут між мотузкою і вертикаллю дорівнюватиме α ?
166. Із однієї точки в протилежних напрямках під кутами α_1 та α_2 до горизонту кинули два тіла з однаковою початковою швидкістю v . Яка буде швидкість руху цих тіл одне відносно іншого? Яка буде відстань між ними через деякий час τ ?
167. Коли два човни рухаються назустріч один одному по річці, то відстань між ними скорочується на 20 м за кожні 10 с. Якщо ж вони рухаються в одному напрямі, то відстань між ними зростає на 10 м за кожні 10 с. Знайти швидкості човнів відносно води.
168. Дві прямі дороги перетинаються під кутом $\alpha=60^\circ$. Від перехрестя віддаляються по ним автомобілі: один зі швидкістю 60 км/год, другий зі швидкістю 80 км/год. Визначити швидкість, з якою один автомобіль віддаляється від іншого. Перехрестя автомобілі пройшли одночасно.
169. Точка рухалась 15 с зі швидкістю 5 м/с, 10 с зі швидкістю 8 м/с та 6 с зі швидкістю 20 м/с. визначити середню швидкість руху точки.
170. Три чверті свого шляху автомобіль пройшов зі швидкістю 60 км/год, останню частину шляху - зі швидкістю 80 км/год. Яка середня швидкість руху автомобіля?
171. Першу половину шляху тіло рухалось зі швидкістю 2 м/с, другу половину шляху - зі швидкістю 8 м/с. Визначити середню швидкість руху.
172. Тіло пройшло першу половину шляху за 2 с, другу за 8 с. Визначити середню швидкість руху, якщо весь шлях 20 м.
173. Точка рухається по колу радіуса 2 м згідно рівнянню $s = At^3$, де $A=2 \text{ м/с}^3$. В який момент часу нормальне прискорення точки буде дорівнювати тангенціальному? Чому буде дорівнювати повне прискорення точки в цей момент часу?
174. Рух точки по кривій заданий рівняннями $x = A_1 t^3$, де $A_1=1 \text{ м/с}^3$, та $y = A_2 t$, де $A_2=2 \text{ м/с}$. Знайти рівняння траєкторії точки, її швидкість та прискорення у момент часу 0,8 с.
175. Рівняння прямолінійного руху має вид: $x = At + Bt^2$, де $A=3 \text{ м/с}$, $B= -0,25 \text{ м/с}^2$. Побудувати графіки залежності координати та шляху від часу для заданого руху
176. Колесо обертається з постійним кутовим прискоренням $\varepsilon=2 \text{ рад/сек}^2$. Через $t=0,5$ сек після початку руху повне прискорення колеса стало дорівнювати $a=13,6 \text{ см/сек}^2$. Знайти радіус колеса.
177. Рух матеріальної точки задається рівнянням: $x = At + Bt^2$, де $A=4 \text{ м/с}$, $B=-0,05 \text{ м/с}^2$. Визначити момент часу, коли швидкість точки дорівнює нулю. Знайти координату та прискорення в цей момент. Побудувати графіки координати, шляху, швидкості та прискорення цього руху.
178. Поруч з поїздом на одній лінії з передніми буферами паровозу стоїть людина. В той момент, коли поїзд почав рухатися з прискоренням $0,1 \text{ м/с}^2$, людина пішла в тому ж напрямку зі

- швидкістю 1,5 м/с. Через який час поїзд наздогонить людину? Яку швидкість матиме поїзд в цей момент? Який шлях пройде людина за цей час?
179. З одного і тогож місця почали рівноприскоренно рухатися дві точки в одному напрямку. Але друга точка почала свій рух через 2 с після першої. Перша точка рухалась з початковою швидкістю 1 м/с та прискоренням 2 м/с², друга - з початковою швидкістю 10 м/с та прискоренням 1 м/с². Коли і де друга точка дожене першу?
180. Рухи двох матеріальних точок задаються рівняннями: $x_1 = A_1 + V_1t + C_1t^2$, де $A_1=20$ м, $V_1=2$ м/с, $C_1=-4$ м/с²; $x_2 = A_2 + V_2t + C_2t^2$, де $A_2=2$ м, $V_2=2$ м/с, $C_2=0,5$ м/с². В який момент часу швидкості цих точок будуть однаковими? Якими будуть швидкості та прискорення точок в цей момент?
181. Дві матеріальні точки рухаються згідно рівнянням: $x_1 = A_1 + V_1t + C_1t^2$, де $A_1=4$ м/с, $V_1=8$ м/с², $C_1=-16$ м/с³; $x_2 = A_2 + V_2t + C_2t^2$, де $A_2=2$ м/с, $V_2=-4$ м/с², $C_2=1$ м/с³. В який момент часу прискорення цих точок будуть однаковими? Знайти швидкості точок в цей момент.
182. З якої висоти упало тіло, якщо останній метр свого шляху воно пройшло за 0,1 с?
183. Камінь падає з висоти 1200 м. Який шлях пройде камінь за останню секунду свого падіння?
184. Камінь кинуто вертикально вгору з початковою швидкістю 20 м/с. Через скільки секунд камінь буде знаходитися на висоті 15 м? Якою буде його швидкість на цій висоті? Опором повітря знехтувати.
185. Вертикально вгору з початковою швидкістю 20 м/с кинуто камінь. Через 1 с після цього кинуто вертикально вгору другий камінь з такою же швидкістю. На якій висоті зустрінуться камені?
186. Тіло, що було кинуто вертикально вгору, знаходилося на одній висоті 8,6 м двічі з інтервалом 3 с. Нехтуючи опором повітря, знайдіть початкову швидкість кинутного тіла.
187. З балкону кинули мяч вертикально вгору з початковою швидкістю 5 м/с. Через 2 с мяч упав на землю. Визначити висоту балкону над землею та швидкість мяча в момент удару о землю.
188. Тіло кинуто з балкону вертикально вгору зі швидкістю 10 м/с. Висота балкону над поверхнею Землі 12,5 м. Написати рівняння руху та визначити середню швидкість за весь час руху.
189. Рух точки по прямій заданий рівнянням $x = At + Bt^2$, де $A=2$ м/с, $B=-0,5$ м/с². Знайти середню швидкість руху точки в інтервалі часу від 1 с до 3 с.
190. Точка рухається по прямій відповідно до рівняння $x = At + Bt^2$, де $A=6$ м/с, $B=-0,125$ м/с². Знайти середню швидкість руху точки в інтервалі часу від 2 с до 6 с.
191. Залежність пройденого тілом шляху S від часу t має вигляд: $S=ct^2+dt^3$, $c=2$ м/с², $d=-3$ м/с³. Знайти прискорення, швидкість тіла в момент $t=3$ с.
192. Після того як матеріальна точка почала рухатись по колу з радіусом 1 м і її швидкість стала 4 м/с, пройшло 0,5 с. Яке було прискорення матеріальної точки в цю мить?
193. Ротор турбіни, яка робить 12000 об/хв. має діаметр 40 см. Яке доцентрове прискорення кінців лопаток турбіни?
194. Під кутом α відносно високої і дуже довгої стіни рухається автомобіль із швидкістю v . На відстані L від стінки він подав короткий звуковий сигнал. Яку відстань пройде автомобіль за час, коли до нього повернеться ехо від сигналу? Швидкість звуку дорівнює c .
195. Точка рухається по кривій з постійним тангенціальним прискоренням 0,5 м/с². Визначити повне прискорення точки на ділянці кривій з радіусом кривізми 3 м, якщо точка рухається на цій ділянці зі швидкістю 2 м/с.
196. Рух точки по колу радіуса 4 м заданий рівнянням $s = A + Bt + Ct^2$, де $A=10$ м, $B=-2$ м/с, $C=1$ м/с². Знайти тангенціальне, нормальне та повне прискорення точки в момент часу 2 с.
197. На гладкому столі лежить брусок масою 4 кг. До бруска прикріплений шнур, до другого кінця якого прикладена сила 1 кгс, що спрямована паралельно поверхні стола. З яким прискоренням буде рухатися брусок?

198. На столі стоїть візок масою 4 кг. До візка прикріплений один кінець шнура, перекинутий через блок. З яким прискоренням буде рухатися візок, якщо до другого кінця шнура прикріпити гиру масою 1 кг?
199. До динамометра підвісили блок. Через блок перекинули шнур, до кінців якого прикріпили тягарі масою 1,5 кг та 3 кг. Що покаже динамометр під час руху тягарів? Масою блока та шнура знехтувати.
200. Два бруска з масами 1 кг та 4 кг, з'єднані шнуром, лежать на столі. З яким прискоренням будуть рухатися бруски, якщо до одного із них прикласти силу 10 Н, спрямовану горизонтально? Якою буде сила натягу шнура, якщо сила буде прикладена до першого бруска? Якщо до другого? Тертям знехтувати.
201. На гладкому столі лежить брусок масою 4 кг. До бруска приєднані два шнура, що перекинуті через нерухомі блоки, закріплені на протилежних краях стола. До кінців шнурів підвішені гири, маси яких 1 кг та 2 кг. Знайти прискорення a , з яким рухається брусок та силу F натягу кожного з шнурів. Масою блоків та тертям знехтувати.
202. Похила площина, що утворює кут $\alpha=25^\circ$ з горизонтом має довжину $l=2$ м. Тіло, рухаючись рівноприскорено, зісковзнуло з цієї площини за час $t=2$ с. Визначити коефіцієнт тертя f тіла о площину.
203. Матеріальна точка з масою $m=2$ кг рухається під дією деякої сили за рівнянням $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, де $C=1$ м/с², $D=-0,2$ м/с³. Знайти значення цієї сили на момент часу $t_1=2$ с та $t_2=5$ с. В який момент часу сила дорівнює нулю.
204. Молот масою $m=1$ т падає з висоти $h=1,77$ м на наковальню. Тривалість удару $t=0,01$ с. Визначити середнє значення сили удару F .
205. Шайба, пущена по поверхні льоду з початковою швидкістю $v_0=20$ м/с, зупинилась через $t=40$ с. Знайти коефіцієнт тертя шайби по льоду.
206. Матеріальна точка масою $m=1$ кг, рухаючись рівномірно, проходить чверть кола радіусу $r=1,2$ м за час $t=2$ с. Знайти зміну імпульсу точки.
207. Тіло масою $m=5$ кг кинуте під кутом $\varphi=30^\circ$ до горизонту з початковою швидкістю $v_0=20$ м/с. Нехтуючи опором повітря, знайти: 1) імпульс сили F , що діє на тіло за час політу; 2) зміну імпульсу на тіла за час політу. Порівняти знайдені величини.
208. Кулька масою $m=100$ г впала з висоти $h=2,5$ м на горизонтальну плиту, маса котрої значно більша маси кульки, та відскочила від неї вгору. Вважаючи удар абсолютно пружним, визначити імпульс p , отриманий плитою.
209. Кулька масою $m=300$ г вдарилась о стіну та відскочила від неї. Визначити імпульс p_1 , який отримала стіна, якщо перед ударом кулька мала швидкість $v=10$ м/с, спрямовану під кутом $\varphi=30^\circ$ до поверхні стіни. Удар вважати абсолютно пружним.
210. Тіло масою 0,2 кг зісковзує без тертя по жолобу висотою 2 м. Початкова швидкість тіла дорівнює нулю. Знайти зміну імпульсу тіла та імпульс, отриманий жолобом при русі тіла.
211. Ракета масою $m=1$ т, запущена з поверхні Землі вертикально вгору, підіймається з прискоренням $a=2g$. Швидкість струменя газів, що виходять з сопла $v=1200$ м/с. Знайти витрату пального m_1 .
212. Космічний корабель має масу $m=3,5$ т. Під час маневрування з його двигунів виходить струмінь газів зі швидкістю $v=800$ м/с; витрата пального $m_1=0,2$ кг/с. Знайти реактивну силу R двигунів та прискорення a , яке вона надає кораблю.
213. Вертоліт з ротором, діаметром $d=18$ м, масою $m=3,5$ т, “висить” у повітрі. З якою швидкістю v ротор відкидає вертикально униз струмінь повітря? Вважати, що діаметр струменя дорівнює діаметру ротора.
214. Брусок масою $m_2=5$ кг може вільно ковзати по горизонтальній поверхні без тертя. На ньому знаходиться брусок масою $m_1=1$ кг. Коефіцієнт тертя між поверхнями брусків $f=0,3$. Знайти максимальне значення сили що прикладена до нижнього бруска, при якій почне зісковзувати верхній брусок.
215. Літак летить горизонтально з прискоренням 20 м/с². Яке перевантаження діє на пасажира? (Перевантаження це відношення сили, що діє на пасажира до його ваги).

216. Автоцистерна з гасом рухається з прискоренням $0,7 \text{ м/с}^2$. Під яким кутом до площини горизонту розміщений рівень гасу у цистерні?
217. Бак у тендері паровозу має довжину 4 м. Яка різниця рівней води у переднього та заднього кінців баку при русі потяга з прискоренням $0,5 \text{ м/с}^2$?
218. Нерухома труба з площею перерізу 10 см^2 зігнута під кутом 90° та прикріплена до стіни. По трубі протікає 50 л води в секунду. Знайти тиск струменя води, викликаний вигином труби.
219. Струмінь води ударяється о нерухому площину, поставлену під кутом 60° до напрямку руху струменя. Швидкість струменя 20 м/с , площа перерізу 5 см^2 . Знайти силу тиску струменя на площину.
220. Куля масою 10 кг стикається з кулею масою 4 кг. Швидкість першої кулі 4 м/с , другої - 12 м/с . Знайти загальну швидкість куль після удару у двох випадках: 1) коли мала куля доганяє більшу кулю, що рухається у тому же напрямку; 2) коли кулі рухаються назустріч одна одній. Удар вважати прямим, непружним.
221. В човні масою 240 кг стоїть людина масою 60 кг. Човен пливе зі швидкістю 2 м/с . Людина стрибає з човна в горизонтальному напрямі зі швидкістю 4 м/с відносно човна. Знайти швидкість руху човна після стрибка людини: 1) вперед по руху човна та 2) в бік, протилежний руху човна.
222. На підлозі стоїть візок у вигляді довгої дошки на легких колесах. На одному кінці дошки стоїть людина. Маса людини 60 кг , маса дошки 20 кг . З якою швидкістю відносно підлоги буде рухатися візок, якщо людина піде вздовж дошки зі швидкістю відносно дошки 1 м/с ? Масу колес та тертя у втулках не враховувати.
223. На залізничній платформі встановлена гармата. Маса платформи з гарматою 15 т . Гармата стріляє вгору під кутом 60° до горизонту в напрямку колії. З якою швидкістю покотиться платформа внаслідок віддачі, якщо маса снаряда 20 кг та він вилітає зі швидкістю 600 м/с ?
224. Снаряд масою 10 кг мав швидкість 200 м/с у верхній точці траєкторії. В цій точці він розірвався на дві частини. Менша масою 3 кг одержала швидкість 400 м/с у попередньому напрямі. Знайти швидкість другої, більшої частини.
225. Диск радіусом $R=40 \text{ см}$ обертається навколо вертикальної осі. На краю диска стоїть кубик. Приймаючи коефіцієнт тертя $f=0,4$, знайти, за якої кількості обертів за хвилину кубик зісковзне з диску.
226. Акробат на мотоциклі виконує “мертву петлю” радіуса $r=4 \text{ м}$. З якою найменшою швидкістю v_{\min} акробат має проїзжати вершню точки петлі, щоб не зірватись?
227. До шнуру підвішена гиря. Гирю відвели вбік так, що шнур прийняв горизонтальне положення, та відпустили. Яка сила натягу шнура в момент, коли гиря проходить положення рівноваги? Який кут з вертикаллю утворює шнур в момент, коли сила натягу шнура дорівнює вазі гирі?
228. Літак виконує петлю Нестерова радіуса $r=200 \text{ м}$. В скільки разів сила f , з якою пілот давить на сидіння у нижній точці петлі, більша за вагу пілота G , якщо швидкість літака $v=100 \text{ м/с}$.
229. Вантаж, прив'язаний до шнура довжиною $l=50 \text{ см}$ описує коло у горизонтальній площині, роблячи 1 об/с. Який кут φ утворює шнур з вертикаллю.
230. Вантаж, прив'язаний до нитки довжиною $l=1 \text{ м}$ описує коло у горизонтальній площині. Визначити період T обертання, якщо нитка відхилена на кут $\varphi=60^\circ$ від вертикалі.
231. При посадці маховика на вісь центр ваги опинився на відстані $r=0,1 \text{ мм}$ від вісі обертання. В яких межах змінюється сила F тиску вісі на підшипники, якщо частота обертання маховика $n=10 \text{ с}^{-1}$? Маса маховика $m=100 \text{ кг}$.
232. Мотоцикл їде по внутрішній поверхні вертикального циліндра радіусом $11,2 \text{ м}$. Центр тяжіння мотоцикла з людиною знаходиться на відстані $0,8 \text{ м}$ від поверхні циліндра. коефіцієнт тертя покришок по поверхні циліндра $k=0,6$. З якою мінімальною швидкістю повинен їхати мотоцикліст? Яким буде при цьому кут нахилу його до площини горизонту?
233. Автомобіль масою 5 т рухається зі швидкістю 10 м/с по випуклому мосту. Визначити силу тиску автомобіля на міст в його верхній частині, якщо радіус кривизни моста 50 м .
234. Посудина з рідиною обертається з частотою 2 об/с навколо вертикальної вісі. Поверхня рідини має вигляд воронки. Чому дорівнює кут нахилу поверхні рідини в точках, що лежать на відстані 5 см від вісі?

235. Автомобіль їде по закругленню шосе, радіус якого 200 м. коефіцієнт тертя колес по покриттю дороги 0,1 (ожеlediця). При якій швидкості автомобіля почнеться його занос?
236. Яку найбільшу швидкість може розвинути велосипедист, проїздяючи закруглення радіусом 50 м, якщо коефіцієнт тертя ковзання між шинами та асфальтом 0,3? Який кут відхилення велосипедиста від вертикалі, коли велосипедист рухається по закругленню?
237. Літак масою 2,5 т летить зі швидкістю 400 км/год. Він виконує в горизонтальній площині віраж(віраж - політ літака по дузі кола з деяким кутом крену). Радіус траєкторії літака 500 м. Знайти поперечний кут нахилу літака ту підйомну силу крил під час польоту.
238. Знайти час, за який тіло зісковзне без тертя з похилої площини висотою $h = 0,2$ м і довжиною $L = 1$ м. Прискорення вільного падіння 10 м/с^2 .
239. Електровоз штовхає поперед себе два вагони масами $m_1 = m_2 = 60$ т з прискоренням $a = 0,1 \text{ м/с}^2$. Коефіцієнт опору $\mu = 0,005$. З якою силою стиснуто пружини буферів вагонів?
240. Тіло масою $m = 5$ кг кинуте в горизонтальному напрямку зі швидкістю $V_1 = 10$ м/с. Знайти: а) приріст імпульсу тіла за перші $t_0 = 3$ хв вільного падіння; б) приріст імпульсу тіла, якщо воно кинуте зі швидкістю $V_2 = 7,9$ км/с.
241. На похилій площині з кутом нахилу $\alpha = 30^\circ$ лежить тіло. З яким мінімальним прискоренням треба рухати похилу площину, щоб вага тіла збільшилась вдвічі?
242. Тіло лежить на похилій площині з кутом нахилу α . Коефіцієнт тертя тіла на площині дорівнює f . У скільки разів мінімальна сила, з якою треба діяти на тіло, щоб витягнути його на похилу площину, більша за силу, необхідну для утримання тіла на похилій площині?
243. Човен масою m рухається в стоячій воді зі швидкістю V_0 . Сила опору руху $F = -kV$, де k – стала, що залежить від форми човна. В момент $t = 0$ двигун було зупинено. Знайти залежність від часу швидкості і шляху, який проходить човен.
244. Визначити час підйому тіла, кинутого вгору зі швидкістю V_0 . Вважати, що сила опору руху $F = -kV$.
245. На снаряд, що вилетів з гармати, діє сила опору, внаслідок чого він рухається з прискоренням. Яку відстань пролетить снаряд, якщо його початкова швидкість $V_0 = 0,8$ км/с, кут нахилу вектора швидкості V_0 до горизонту $\alpha = 30^\circ$, а сила опору діє в горизонтальному напрямі і спричиняє прискорення $a = 0,05 \text{ м/с}^2$?
246. Тоненький ланцюжок масою $m = 3$ г і довжиною $l = 30$ см висить на нитці, торкаючись підлоги. Після перепалювання нитки ланцюжок впав на підлогу. Як змінювалася сила, що діяла на підлогу з боку ланцюжка?
247. У шахті на глибині $h_0 = 1$ км математичний маятник має період коливань T . На якій висоті над рівнем моря період коливань маятника також дорівнюватиме T ?
248. Дві кулі масами $m_1 = 2$ кг і $m_2 = 3$ кг рухаються взаємно перпендикулярно зі швидкостями $V_1 = 2$ м/с і $V_2 = 1$ м/с. Визначити швидкість куль U після їх зіткнення. Вважати зіткнення непружним.
249. Куля, яка рухається, пружно стикається з такою самою кулею. Удар нецентральный. Довести, що кулі розлітаються під прямим кутом одна до одної.
250. Дві шайби масами $m_1 = 400$ г і $m_2 = 200$ г рухаються без тертя вздовж похилої площини. В момент, коли їхні швидкості відповідно $V_1 = 10$ м/с і $V_2 = 8$ м/с, шайби пружно стикаються. Удар центральний. Знайти швидкості шайб відразу після зіткнення.
251. Три вагонетки масами m_1, m_2 і m_3 рухаються одна за одною зі швидкостями V . Як зміниться їхня швидкість, якщо з середньої вагонетки кинути в інші вагонетки вантажі масами m , що рухаються зі швидкістю U відносно вагонеток?
252. Куля масою $m = 100$ г впала з висоти $h_1 = 1$ м на горизонтальну плиту і підскочила вгору на висоту $h_2 = 0,8$ м. Визначити імпульс p , набутий плитою.
253. На горизонтальну поверхню вертикально падає дощ. Густина крапель $n = 10^4 \text{ м}^{-3}$. Маса краплі $m = 50$ мг, швидкість - $V = 10$ м/с. Знайти "тиск" дощу на поверхню. Вважати, що краплі не відскакують від поверхні.
254. Снаряд масою $m = 10$ кг мав початкову швидкість $V = 800$ м/с, яка спрямована під кутом $\alpha = 60^\circ$ до горизонту. Через деякий час після пострілу снаряд розірвався на два осколки. Один осколок мав масу $m_1 = 3$ кг. Його швидкість через $t_0 = 30$ с з моменту пострілу була $V_1 = 600$ м/с,

- а кут, який вона утворювала з горизонтом, дорівнював нулю. Знайти швидкість другого осколка в момент часу t_0 . Рух вільний, $g = 10 \text{ м/с}^2$.
255. Снаряд масою $m = 10 \text{ кг}$ мав початкову швидкість $V_0 = 800 \text{ м/с}$, яка спрямована під кутом $\alpha = 30^\circ$ до горизонту. Через $t_0 = 20 \text{ с}$ після пострілу снаряд розірвався на два осколки. Один осколок мав масу $m_1 = 4 \text{ кг}$ і швидкість $V_1 = 1 \text{ км/с}$. Вектор швидкості V_1 утворював з горизонтом кут $\beta = 40^\circ$. Визначити швидкість другого осколка, якщо всі тіла рухались вільно і в одній площині. Покласти $g = 10 \text{ м/с}^2$.
256. Обчислити роботу, що виконується на шляху $S = 10 \text{ м}$ рівномірно зростаючою з часом силою, якщо на початку руху $F_1 = 10 \text{ Н}$, а наприкінці руху $F_2 = 40 \text{ Н}$.
257. Автомобіль масою $m = 1000 \text{ кг}$ починає рухатися по колу радіуса $R = 100 \text{ м}$ з тангенціальним прискоренням $a_\tau = 1 \text{ м/с}^2$. Обчислити роботу двигуна, яку він виконає за один оберт автомобіля по колу. Коефіцієнт опору $f = 0,1$.
258. Функція потенціальної енергії частинки має вигляд: а) $U = 2x^2 + 3y^3 + 5z$; б) $U = 8xyz$. Визначити силу F , що діє на частинку.
259. Функція потенціальної енергії частинки має вигляд: $U(r) = 3/r - 2/r^2$, де r – відстань від центра поля до частинки. При якому r на частинку не діятиме сила поля?
260. Тіло масою $m = 1 \text{ кг}$ кинуте зі швидкістю $V = 10 \text{ м/с}$ під кутом $\alpha = 30^\circ$ до горизонту. Знайти залежність кінетичної і потенціальної енергії тіла від часу. Опором повітря знехтувати.
261. На столі лежить віршовка масою $m = 1 \text{ кг}$, завдовжки $l = 2 \text{ м}$. Якщо четверту частину ($\eta = 0,25$) віршовки звисити зі столу, то вона почне зісковзувати з нього. Яку роботу виконає сила тертя, що діє на віршовку, при її повному зісковзуванні?
262. Кулька масою $m = 0,01 \text{ кг}$, що має швидкість $V_1 = 500 \text{ м/с}$, пробиває кулю масою $m = 5 \text{ кг}$, що висить на нитці. При цьому швидкість кульки зменшилась до $V_2 = 100 \text{ м/с}$. Яка частина енергії кульки перейшла в теплоту?
263. Під дією сталої сили вагонетка пройшла шлях 5 м та набула швидкість 2 м/с . Визначити роботу сили, якщо маса вагонетки 400 кг та коефіцієнт тертя $0,01$.
264. Визначити роботу, що виконується при рівноприскореному підйомі вантажа масою 100 кг на висоту 4 м за час 2 с .
265. Знайти роботу підйому вантажа по похилій площині, якщо маса вантажа 100 кг , довжина похилої площини 2 м , кут нахилу 30° , коефіцієнт тертя $0,1$ та вантаж рухається з прискоренням 1 м/с^2 .
266. Обчислити роботу, що виконана на шляху $S = 12 \text{ м}$, рівномірно зростаючою силою, якщо на початку шляху сила $F_1 = 10 \text{ Н}$, а наприкінці $F_2 = 46 \text{ Н}$.
267. На тіло, що рухалось зі швидкістю $v = 2 \text{ м/с}$, подіяла сила $F = 2 \text{ Н}$ в напрямку швидкості. Через 10 с від початку дії сили кінетична енергія тіла $T = 100 \text{ Дж}$. Знайти масу m тіла, вважаючи його матеріальною точкою.
268. Тіло масою $m = 1 \text{ кг}$, було кинуте з вишки у горизонтальному напрямку зі швидкістю $v = 20 \text{ м/с}$ та через час $t = 3 \text{ с}$ впало на землю. Визначити кінетичну енергію тіла T в момент удару о землю.
269. Камінь кинуте вгору під кутом $\phi = 60^\circ$ до площини горизонту. Кінетична енергія каменю в початковий момент $T_0 = 20 \text{ Дж}$. Визначити кінетичну T і потенціальну Π енергії каменю у найвищій точці його траєкторії. Опором повітря знехтувати.
270. Насос викидає струмінь води діаметром $d = 2 \text{ см}$ зі швидкістю $v = 20 \text{ м/с}$. Знайти потужність N , необхідну для викидання води.
271. Яка потужність N струменю повітря перерізом $S = 0,55 \text{ м}^2$ при швидкості $v = 20 \text{ м/с}$ та нормальних умовах?
272. Вертоліт масою $M = 3 \text{ т}$ висить у повітрі. Яка потужність N витрачається на підтримку вертоліта у такому стані при діаметрах ротора $d_1 = 18 \text{ м}$ та $d_2 = 8 \text{ м}$? Вважати, що ротор відкидає униз циліндричний струмінь повітря з діаметром, що дорівнює діаметру ротору.
273. Матеріальна точка з масою $m = 2 \text{ кг}$ рухається під дією деякої сили за рівнянням $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, де $A = 10 \text{ м}$; $B = -2 \text{ м/с}$; $C = 1 \text{ м/с}^2$; $D = -0,2 \text{ м/с}^3$. Знайти потужність, що витрачається на рух точки на момент часу $t_1 = 2 \text{ с}$ та $t_2 = 5 \text{ с}$.

274. З якої найменшої висоти h має почати рух акробат на велосипеді (не працюючи ногами), щоб проїхати по дорожці, яка має форму "мертвої петлі" радіуса $r=4$ м і не відірватися від дорожки у верхній точці петлі? Тертям знехтувати.

275. Камінь зковзає з найвищої точки купола, щонає форму напівсфери. Яка дугу (в радіусах) пройде камінь, перш ніж відірветься від поверхні купола? Тертям знехтувати.

276. Мотоцикліст їде по горизонтальній дорожці. Яку найменшу швидкість v він має розвинути, щоб, вимкнувши мотор, проїхати по треку, якій має форму "мертвої петлі" радіуса $r=4$ м? Тертям знехтувати.

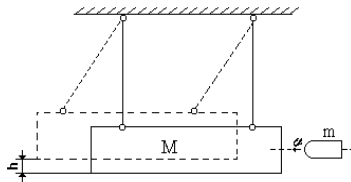
277. Маса снаряду $m_1=10$ кг, маса ствола гармати $m_2=600$ кг. Під час пострілу снаряд отримує кінетичну енергію $T_1=1,8$ МДж. Яку кінетичну енергію отримує ствол гармати внаслідок віддачі?

278. Ядро атома розпадається на два осколки масами $m_1=1,6 \times 10^{-25}$ кг та $m_2=2,4 \times 10^{-25}$ кг. Визначити кінетичну енергію T_2 другого осколка, якщо енергія першого осколка $T_1=18$ нДж.

279. Ковзаняр, стоячи на льоду, кинув вперед гирю масою $m_1=5$ кг і внаслідок віддачі покотився назад зі швидкістю $v=1$ м/с. Маса ковзаняра $m_2=60$ кг. Визначити роботу A , що виконав ковзаняр при киданні гирі.

280. Атом розпадається на дві частини масами $m_1=1,0 \times 10^{-25}$ кг та $m_2=3,0 \times 10^{-25}$ кг. Визначити кінетичні енергії частин атома, якщо їх загальна кінетична енергія $T=32$ пДж. Кінетичною енергією та імпульсом атома до розпаду знехтувати.

281. Куля масою 10 г, що летіла зі швидкістю 600 м/с, влучила у балістичний маятник масою 5 кг та застрягла в ньому. На яку висоту, відхилившись від удару, піднявся маятник?



282. У балістичний маятник масою 5 кг влучила куля масою 10 г та застрягла в ньому. Знайти швидкість кулі, якщо маятник, відхилившись від удару, піднявся на висоту 10 см.

283. Два вантажі масами 10 кг та 5 кг підвішені на нитках довжиною 2 м так, що вантажі дотикаються один до одного. Менший вантаж був відхилений на кут 60° та відпущений. На яку висоту піднімуться обидва вантажі після непружного удару?

284. Дві непружних кулі масами 2 кг та 3 кг рухаються зі швидкостями відповідно 8 м/с та 4 м/с. Знайти роботу деформації куль в двох випадках: 1) менша куля наздоганяє більшу та 2) кулі рухаються назустріч.

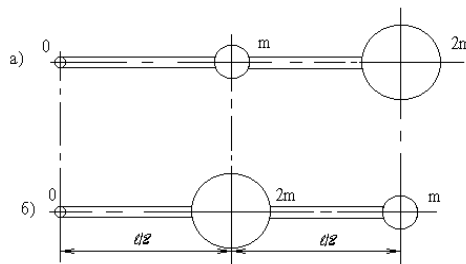
285. Молот масою 5 кг падає на невеликий шматок заліза, що лежить на ковадлі. Маса ковадла 100 кг. Масою шматка заліза знехтувати. Удар непружний. Визначити к.к.д. удару молота при даних умовах.

286. Биток молота масою 500 кг падає на палю масою 100 кг з деякої висоти. Знайти к.к.д. удару битка, вважаючи удар непружним. Зміною потенціальної енергії палі при заглибленні знехтувати.

287. Визначити момент інерції матеріальної точки масою 0,3 кг відносно вісі, що знаходиться на відстані 20 см відносно точки.

288. Дві маленьких кулі масою 10 г кожна скріплені тонким невагомим стержнем довжиною 20 см. Визначити момент інерції системи відносно вісі, що перпендикулярна стержню та проходить через центр мас.

289. Дві кулі масою m та $2m$ ($m=10$ г) закріплені на тонкому, невагомому стержні довжиною $l=40$ см так як показано на рисунках а та б. Визначити момент інерції J системи відносно осі O , перпендикулярної до стержня, яка проходить крізь його кінець в обох випадках. Розмірами куль знехтувати.



290. Визначити момент інерції тонкого стержня довжиною 30 см та масою 100 г відносно вісі, перпендикулярної до стержня. Вісь проходить через: 1) його кінець; 2) його середину; 3) точку, що відстоїть від кінця стержня на одну третину його довжини.
291. Довжина тонкого прямого стержня 60 см, маса 100 г. Визначити момент інерції стержня відносно вісі, що проходить через точку стержня, віддалену на 20 см від одного з його кінців та перпендикулярну до його довжини.
292. Обчислити момент інерції дротяного прямокутника зі сторонами 12 см та 16 см відносно вісі, що лежить в площині прямокутника та проходить через середини його малих сторін. маса рівномірно розподілена по довжині дроту з лінійною густиною 0,1 кг/м.
293. Два однорідних тонких стержня: АВ южиною 40 см та масою 900 г та СД масою 400 г скріплені під прямим кутом. Визначити момент інерції системи стержнів відносно вісі, що проходить через кінець стержня АВ паралельно стержню СД.
294. Знайти момент інерції тонкого однорідного кільця радіусом 20 см та масою 100 г відносно вісі, що є дотичною до кільця.
295. Знайти момент інерції тонкого однорідного кільця радіусом 10 см та масою 50 г відносно вісі, що лежить в площині кільця та проходить через його центр.
296. Діаметр диска 20 см, маса 800 г. Визначити момент інерції диска відносно вісі, що проходить через середину одного з радіусів перпендикулярно до площини диска.
297. У однорідному диску масою 1 кг та радіусом 30 см вирізано круглий отвір діаметром 20 см, центр якого знаходиться на відстані 15 см від вісі диска. Знайти момент інерції одержаного тіла відносно вісі, що проходить перпендикулярно до площини диска через його центр.
298. Довжина однієї сторони плоскої однорідної прямокутної пластини 40 см, маса 800 г. Знайти момент інерції пластини відносно вісі, що співпадає із другою її стороною.
299. Визначити момент інерції тонкої пластини зі сторонами 10 см та 20 см відносно вісі, що проходить через центр мас пластини паралельно більшій стороні. Маса пластини рівномірно розподілена по її площі з поверхневою густиною $1,2 \text{ кг/м}^2$.
300. Знайти момент інерції тонкого однорідного кільця масою $m = 200 \text{ г}$, радіуса $R = 30 \text{ см}$: а) відносно осі, що проходить вздовж діаметра кільця; б) відносно осі, яка є дотичною до кільця.
301. До одного кінця вірьовки, перекинутої через блок, підвішено вантаж масою $m_1 = 1 \text{ кг}$. На другий кінець вірьовки діє сила $F = at + bt^3$, де $a = 3 \text{ Н/с}$, $b = 3 \text{ Н/с}^3$, t – час. Блок має форму диска масою $m_2 = 3 \text{ кг}$. З яким прискоренням рухається вантаж через $t_1 = 1 \text{ с}$ і $t_2 = 2 \text{ с}$ від початку дії сили?
302. Трос довжиною 1 м перекинуто через легкий шків, що може обертатися. Обчислити прискорення кінця троса тоді, коли один його кінець міститься вище від другого на $h = 0,2 \text{ м}$.
303. Обруч радіуса R , який обертається в горизонтальній площині з кутовою швидкістю ω , опускають на горизонтальну поверхню. Коефіцієнт тертя обруча об поверхню f . Скільки обертів зробить обруч на поверхні?
304. Циліндр масою $m = 5 \text{ кг}$ і радіуса $R = 10 \text{ см}$ обертається навколо своєї осі за законом $\varphi = A \sin \omega t$. Як залежить від часу момент сили, що діє на циліндр, і момент імпульсу циліндра? В які моменти часу ці величини набувають максимальних значень?
305. Куля масою m , що летить горизонтально зі швидкістю V , влучає в кулю масою m_1 ($m \ll m_1$), яка лежить на гладенькій поверхні і застряє в ній. Точка зіткнення міститься у вертикальній площині, що проходить через центр кулі, на рівні, розміщеному нижче від центра на відстані r . Знайти кутову швидкість обертання центра кулі відносно миттєвої осі, а також лінійну швидкість центра кулі після зіткнення.
306. Кулька масою $m = 50 \text{ г}$ скочується без просковзування по жолобу з висоти $h = 30 \text{ см}$ і робить "мертву петлю" радіуса $R = 10 \text{ см}$. З якою силою кулька тисне на опору в нижній і верхній точках петлі?
307. Визначити прискорення центра кулі, яка скочується з похилої площини. Маса кулі $m = 100 \text{ г}$, похила площина утворює з горизонтом кут $\alpha = \pi/6$. Чому дорівнює сила тертя, що діє на кулю, та робота цієї сили? Просковзування відсутнє.
308. Автомобіль масою $m = 0,5 \text{ т}$ рухається зі швидкістю $V = 108 \text{ км/год}$. Для його зупинки ввімкнули акумулятор енергії у вигляді маховика ($I = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$). Обчислити частоту обертання маховика після зупинки автомобіля.
309. На який кут треба відхилити однорідний стержень завдовжки $l = 1 \text{ м}$, підвішений за верхній кінець, щоб його нижній кінець при проходженні положення рівноваги мав швидкість $V = 4 \text{ м/с}$?
310. Тіло рухається рівномірно по колу радіусом 0,5 м, маючи кінетичну енергію 10 Дж. Яка сила діє на тіло?
311. При вильоті із ствола автомата куля має швидкість 800 м/с. Яке прискорення руху кулі у стволі, якщо його довжина 0,4 м? Рух вважати рівнозмінним. Скільки часу куля рухається в стволі?

312. Поблизу земної поверхні прискорення вільного падіння $9,8 \text{ м/с}^2$. Яке прискорення на висоті 12800 км? Радіус Землі 6400 км.
313. При аварійному гальмуванні автомобіль, який рухався по горизонтальному участку із швидкістю 72 км/год, зупинився через 5 секунд. Який гальмівний шлях та чому дорівнює коефіцієнт тертя?
314. Тіло масою 10 кг лежить на горизонтальній поверхні. Коефіцієнт тертя дорівнює 0,5. Яку силу необхідно прикласти під кутом 30° до горизонту, щоб тіло рухалось рівномірно?
315. Тіло починає зсковзувати з похилої площини довжиною 16 м, кут нахилу якої 45° . Коефіцієнт тертя 0,5. За який час тіло зісковзне з цієї похилої площини?
316. Ковзаняр рухається із швидкістю 32,4 км/год по колу радіусом 5 м. Під яким кутом до горизонту він повинен нахилитись, щоб не втратити рівновагу?
317. Похила площина з кутом нахилу до горизонту 30° має довжину 2м. Тіло із стану спокою зісковзує з неї за 2 сек. Чому дорівнює коефіцієнт тертя?
318. Скільки часу повинна була б продовжуватись доба на Землі, щоб тіла на екваторі були невагомими? Радіус Землі 6400 км.
319. Яке перевантаження зазнає космонавт при вертикальному підйомі ракети з прискоренням 35 м/с^2 ?
320. Тіло масою 200 кг тисне на підлогу ліфта з силою 1500 Н. Визначити прискорення, характер та можливий напрямок руху ліфта.
321. Автомобіль масою 4000 кг може рухатись з прискоренням $0,3 \text{ м/с}^2$, а якщо його завантажити, то з прискоренням $0,2 \text{ м/с}^2$. Визначити масу вантажу.
322. Два тіла масами 2 кг і 3 кг з'єднані ниткою і рухаються по горизонтальній поверхні під дією горизонтальної сили 10 Н, яка прикладена до більшого тіла. Коефіцієнт тертя дорівнює 0,1. Знайти силу натягу нитки.
323. До кінців стержня масою 10 кг і довжиною 40 см підвішені гири 40 кг і 10 кг. Де знаходиться центр маси такої системи?
324. Для рівномірного підняття вантажу в 40 Н по похилій площині довжиною 1 м необхідно прикласти силу 30 Н паралельно похилій площині. Яка висота похилої площини, якщо сила тертя 10 Н ?
325. Деталь складається з двох зварених циліндрів довжиною 60 см і 40 см. Радіус коротшого циліндра в два рази менший ніж довшого. Де знаходиться центр маси цієї деталі, якщо циліндри виготовлені з одного і того ж матеріалу?
326. Космічний корабель з площею лобового перерізу 49 м^2 , що летить із швидкістю 10 км/с, потрапляє в хмару пилу. В 1 м^3 простору міститься одна пилинка масою 0,02 г. На скільки повинна зрости сила тяги двигуна, щоб швидкість корабля не змінилась? Удар пилінки об обшивку корабля вважати непружним.
327. На залізничній платформі стоїть контейнер у формі куба, центр маси якого знаходиться в його центрі. Опорна грань куба зафіксована невеликими виступами на платформі. З яким максимальним прискоренням може рухатись платформа, щоб контейнер не перекинувся?
328. На тіло, що обертається (без тертя) навколо вертикальної осі, падає шматочок пластиліну і прилипає до нього. Знайти відношення моментів інерції тіла і пластиліну, якщо після падіння пластиліну кутова швидкість тіла зменшилась в 10 разів.
329. Платформа, що має форму диска, може обертатися навколо вертикальної осі. На краю платформи стоїть людина. На який кут φ повернеться платформа, якщо людина пройде вздовж краю платформи та, обійшовши його, повернеться у вихідну точку. маса платформи $M=240 \text{ кг}$, маса людини $m=60 \text{ кг}$. Момент інерції J людини розрахувати як для матеріальної точки.
330. Дві краплі радіусами $R_1 = 1 \text{ мм}$ і $R_2 = 2 \text{ мм}$ обертаються з кутовими швидкостями $\omega_1 = 5 \text{ рад/с}$ і $\omega_2 = 4 \text{ рад/с}$ відповідно, кутові швидкості паралельні одна одній. Визначити кутову швидкість краплі, що утворилась внаслідок злиття двох даних крапель.
331. Людина масою $m_1 = 80 \text{ кг}$ стоїть на нерухомій платформі масою $m_2 = 200 \text{ кг}$. Яку кількість обертів за хвилину робитиме платформа, якщо людина рухатиметься по колу радіуса $R = 5 \text{ м}$ відносно осі обертання платформи зі швидкістю $V = 7,2 \text{ км/год}$ відносно платформи? Радіус платформи $R_2 = 10 \text{ м}$. Людину вважати матеріальною точкою.
332. Відстань від Марса до Сонця більша за відстань від Землі до Сонця в 1,524 рази. Вважаючи орбіти планет коловими, знайти, у скільки разів період обертання Марса навколо Сонця більший від періоду обертання Землі. З якою орбітальною швидкістю рухається Марс? Орбітальна швидкість Землі $V = 29,8 \text{ км/с}$.
333. Маховик обертається відповідна до рівняння $x = A + Bt + Ct^2$, де $A=2 \text{ рад}$; $B=32 \text{ рад/с}$; $C=-4 \text{ рад/с}^2$. Знайти середню потужність N , що розвивається силами які діють на маховик при його обертанні, до його зупинки, якщо його момент інерції $J=100 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

334. Маховик обертається відповідно до рівняння $x = A + Bt + Ct^2$, де $A=2$ рад; $B=16$ рад/с; $C=-2$ рад/с². Знайти закон, по якому змінюється обертальний момент M та потужність N . Чому дорівнює потужність на момент часу $t=3$ с?
335. Маховик у вигляді диску масою 80 кг та радіусом 30 см знаходиться у стані спокою. Яку роботу треба виконати, щоб надати маховику частоту 10 об/с? Яку роботу довелося би виконати, якщо при тій же масі диск мав би меншу товщину та вдвічі більший радіус?
336. Кінетична енергія маховика що обертається 1000 Дж. Під дією постійного гальмуючого моменту маховик почав обертатися рівносповільнено та, зробивши 80 обертів, зупинився. Визначити момент сили гальмування.
337. Маховик, момент інерції якого 40 кг·м², почав обертатися рівноприскорено із стану спокою під дією моменту сили 20 Н·м. Рівноприскорене обертання продовжувалось 10 с. Визначити кінетичну енергію, набуту маховиком.
338. Куля масою 10 г летить зі швидкістю 800 м/с, обертаючись навколо поперечної осі з частотою 3000 об/с. Приймаючи кулю за циліндр діаметром 8 мм, визначити кінетичну енергію кулі.
339. Суцільний циліндр масою 4 кг котиться без просковзування по горизонтальній поверхні. Лінійна швидкість осі циліндра 1 м/с. Визначити повну кінетичну енергію циліндра.
340. Обруч та суцільний циліндр, які мають однакову масу 2 кг, котяться без просковзування з однаковою швидкістю 5 м/с. Знайти кінетичну енергію цих тіл.
341. Куля котиться без просковзування по горизонтальній поверхні. Повна кінетична енергія кулі 14 Дж. Визначити кінетичну енергію поступального та обертового руху кулі.
342. Визначити лінійну швидкість центра кулі, що скотилася без просковзування з похилої площини висотою 1 м.
343. Скільки часу буде скочуватися без просковзування обруч з похилої площини довжиною 2 м та висотою 10 см?
344. Тонкий прямий стержень довжиною 1 м прикріплено до горизонтальної осі, що проходить через його кінець. Стержень відхилили на кут 60° від положення рівноваги та відпустили. Визначити лінійну швидкість нижнього кінця стержня в момент проходження через положення рівноваги.
345. Ракета, маса якої 6 т, піднімається вертикально вгору. Двигун ракети розвиває силу тяги 500 кН. Визначити прискорення ракети та напругу троса, який вільно звисає з ракети, на відстані, що дорівнює $1/4$ його довжини від точки закріплення троса. Маса троса 10 кг. Силою опору повітря знехтувати.
346. Вал обертається з частотою 2400 об/хв. До валу перпендикулярно до його довжини прикріплено стержень дуже малої ваги, що несе на кінцях вантажі масою по 1 кг кожний, які знаходяться на відстані $0,2$ м від осі вала. Знайти силу, що розтягує стержень при обертанні валу. Знайти момент сили, яка діяла би на вал, якщо стержень був би нахилений під кутом 89° до осі вала.
347. Визначити момент інерції дротяного рівностороннього трикутника зі стороною 10 см відносно: 1) осі, що лежить в площині трикутника та проходить через його вершину паралельно стороні, що протилежна цій вершині; 2) осі, що співпадає з однією із сторін трикутника. Маса трикутника 12 г рівномірно розподілена по довжині дроту.
348. Людина стоїть на лавці Жуковського та ловить рукою м'яч масою $0,4$ кг, що летить в горизонтальному напрямі зі швидкістю 20 м/с. Траєкторія м'яча проходить на відстані $0,8$ м від вертикальної осі обертання лавки. З якою кутовою швидкістю почне обертатися лавка Жуковського з людиною, що спіймала м'яч? Вважати, що сумарний момент інерції людини та лавки 6 кг·м².
349. Кулька масою 100 г, що прикріплена до кінця нитки довжиною 1 м, обертається, спираючися на горизонтальну площину з частотою 1 об/с. Нитка вкорочується, наближаючи кульку до осі обертання на відстань $0,5$ м. З якою частотою буде при цьому обертатися кулька? Яку роботу виконає зовнішня сила, вкорочуючи нитку? Тертям кульки по площині знехтувати.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Лопатинський І.Є., Зачек І.Р., Ільчук Г.А., Романишин Б.М. Фізика. Підручник. - Львів: Львівська політехніка, 2009. - 385 с. <https://www.twirpx.com/file/2808600/>
2. Карамзін В.В., Семенець В.В. Курс загальної фізики. Навчальний посібник ждя вищих навчальних закладів.- К.: Кондор, 2016. – 786 с.
3. Літнарівич Р.М. Фізика з основами геофізики. Частина 2. Лабораторний практикум. МEGУ, Рівне 2007, 48с.
<https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/2877.pdf>
4. Лопатинський І.Є. Збірник задач з фізики/ Львів: Львівська політехніка, 2003. - 124 с. <https://www.twirpx.com/file/2171246/>
5. Чолпан П.П. Фізика: підручник. – К.: Вища школа, 2003. – 567 с.

Допоміжна література

1. Лабораторний практикум з фізики. Ч. 1. Лабораторія механіки та молекулярної фізики: Навчальний посібник / І.В. Бандрівчак, – 2-ге вид., випр. і доп. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2008. – 188 с. <https://studfile.net/preview/5200979/>
2. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики: У 3 кн. Кн. 1. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка: навч. посіб. – К.: Вища шк., 2002. – 375 с.
3. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики: У 3 кн. Кн. 2. Електрика і магнетизм: навч. посіб. – К.: Вища шк., 2003. – 278 с.
4. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики: У 3 кн. Кн. 3. Оптика. Фізика атома та атомного ядра: навч. посіб. – К.: Вища шк., 2003. – 311 с.
5. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики: Навч. Посібник: У 2 кн. Кн. 1. Фізичні основи механіки. Електрика і магнетизм. – 2 – ге вид. – К.: Лебідь, 2001. – 446 с.
6. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В. Курс фізики: Навч. Посібник: У 2 кн. Кн. 2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Лебідь, 2001. – 424 с.

Інформаційні ресурси в мережі Інтернет

- | | | |
|---|--|---|
| 1 | Вища фізика | http://www.acmephysics.narod.ru |
| 2 | Механіка | http://mechanics.h1.ru |
| 3 | Механіка для любознательных | http://mexanic.by.ru |
| 4 | Кинетические уравнения | http://kinetic.boom.ru |
| 5 | История исследования электричества | http://electr.nm.ru |
| 6 | Все о радиации | http://stch-chat.chat.ru/Index.html |
| 7 | Неизвестная физика - электронная версия книги Машкова В.В. | http://www.neofizika.narod.ru |
| 8 | Образовательный сервер "ОПТИКА" | http://optics.ifmo.ru |
| 9 | Освіта: Механіка | http://www.emomi.c |

- 10 ПРАОНИКА - МГД-моделирование объектов и явлений микромира. <http://praonics.narod.ru>
- 11 Природа & людина <http://nh.at.ua>
- 12 Природа элементарных частиц и полей <http://theory.da.ru>
- 13 Сайт для поступающих в ВУЗы <http://physicomp.lipetsk.ru>
- 14 Санкт-Петербургская образовательная сеть по физике <http://www.phys.spbu.ru/~monakhov/>
- 15 Сборник научно-популярных статей по физике и астрономии <http://www.enlt.narod.ru>
- 16 Странная физика <http://ph.narod.ru>
- 17 Физика в анимациях <http://physics.nad.ru>
- 18 Физика для всех <http://fizika-abc.at.ua>
- 19 Электростатика – электронный учебник по физике <http://elektrostatika.narod.ru>
- 20 Энергия ветра Ветроэнергетика <http://windpower.boom.ru>
- 21 Фізика і астрономія fizika.net.ua
- 22 Фізична енциклопедія <http://www.phys-encyclopedia.net/index.html>
- 23 Енциклопедія фізики і техніки <http://www.femto.com.ua/>
- 24 Фізикам на допомогу fizikall.ucoz.ru
- 25 Фізика і природознавство http://nh.at.ua/dir/osvitnyo_informaciy_ni_resursy/zikave/9
- 26 Вся фізика <http://all-fizika.com/>

ДОВІДКОВИЙ МАТЕРІАЛ

Таблиця Д.1. Деякі фізичні величини механіки та їх одиниці вимірювання в СІ

Швидкість	$v = \frac{S}{t}$	м/с	Метр за секунду дорівнює швидкості рівномірного прямолінійного руху, при якому точка за 1 с переміщується на відстань 1 м
Прискорення	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	м/с ²	Метр за секунду у квадраті дорівнює прискоренню прямолінійного рівноприскореного руху точки, при якому за 1 с швидкість точки змінюється на 1 м/с
Кутова швидкість	$\omega = \frac{\varphi}{t}$	рад/с	Радіан за секунду дорівнює кутовій швидкості тіла, що рівномірно обертається, всі точки якого за 1 с повертаються на кут 1 рад
Кутове прискорення	$\varepsilon = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$	рад/с ²	Радіан за секунду в квадраті дорівнює кутовому прискоренню тіла, що обертається рівноприскорено, при якому воно за 1с змінює кутову швидкість на 1рад/с
Частота періодичного процесу	$\nu = \frac{1}{T}$	Гц	Герц дорівнює частоті періодичного процесу, при якому за 1 с здійснюється 1 цикл процесу
Густина	$\rho = \frac{m}{V}$	кг/м ³	Кілограм на кубічний метр дорівнює густині однорідної речовини, маса якої при об'ємі 1 м ³ дорівнює 1 кг
Сила	$F = ma$	Н	Ньютон дорівнює силі, яка тілу масою 1 кг надає прискорення 1 м/с ² у напрямку дії сили: 1 Н = 1 кг·м/с ²
Імпульс	$p = mv$	кг·м/с	Кілограм-метр в секунду дорівнює імпульсу матеріальної точки масою 1 кг, що рухається зі швидкістю 1 м/с
Тиск	$P = \frac{F}{S}$	Па	Паскаль дорівнює тиску, що створюється силою 1 Н, рівномірно розподіленою по нормальній до неї поверхні площею 1 м ² : 1 Па = 1 Н/м ²
Робота, енергія	$A = Fs$	Дж	Джоуль дорівнює роботі, що здійснюється силою 1 Н, на шляху 1 м: 1 Дж = 1 Н·м
Потужність	$N = \frac{A}{t}$	Вт	Ват дорівнює потужності, при якій за час 1 с здійснюється робота 1 Дж: 1 Вт = 1 Дж/с
Момент інерції	$J = mr^2$	кг·м ²	Кілограм-метр у квадраті дорівнює моменту інерції матеріальної точки масою 1 кг, що знаходиться від осі на відстані 1 м
Момент сили	$M = Fl$	Н·м	Ньютон-метр це - момент сили, що дорівнює 1 Н, відносно точки, розміщеної на відстані 1 м від лінії дії сили
Момент імпульсу	$L = mvr$	кг·м ² /с	Кілограм- метр у квадраті на секунду дорівнює моменту імпульсу матеріальної точки, що рухається по колу радіусом 1 м і має імпульс 1 кг·м/с

Таблиця Д.2. Деякі астрономічні величини

Радіус Землі	$6,37 \cdot 10^6$ м
Маса Землі	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг
Радіус Місяця	$1,74 \cdot 10^6$ м
Маса Місяця	$7,33 \cdot 10^{22}$ кг
Радіус Сонця	$6,95 \cdot 10^8$ м
Маса Сонця	$1,98 \cdot 10^{30}$ кг
Відстань від центра Землі до центра Місяця	$3,84 \cdot 10^8$ м
Відстань від центра Землі до центра Сонці	$1,49 \cdot 10^{11}$ м

Таблиця Д.4. Динамічна в'язкість деяких рідин

Речовина	Коефіцієнт динамічної в'язкості при 20°C η , мПа·с
Вода	1,00
Гліцерин	1480
Масло касторове	987
Масло машинне	100
Ртуть	1,58

ЗМІСТ

Стор.

Вступ

Практичні/семінарські заняття

Теми рефератів

Тема 1. Дослідження сили тяжіння

Тема 2. Дослідження напруженості гравітаційного поля

Тема 3. Дослідження космічних швидкостей

Самостійна робота

Приклади розв'язування задач

Варіанти пропонованих завдань

Задачі для самостійної роботи

Рекомендована література

Додатки

I. Фізичні величини в механіці та їх одиниці вимірювання

II. Деякі астрономічні величини

III. Динамічна в'язкість твердих тіл

Зміст