

ТЕМА 2. ДИНАМІКА

Лекція № 8.

Тема: Закони Ньютона та їх застосування.

План

1. Основне завдання динаміки.
2. Інерціальні системи відліку. Перший закон.
3. Інертність тіл. Маса.
4. Сила. Додавання сил. Другий закон.
5. Третій закон Ньютона. Межі застосування.

Структура заняття.

1. Актуалізація опорних знань

Фронтальна бесіда:

- що таке сила, одиниці вимірювання сили;
- навести приклади сил;
- як поводить тіло у разі відсутності дії на нього сил? якщо всі сили скомпенсовані?

2. Мотивація навчальної діяльності. Засвоєння нових знань.

Динаміка (від грец. сильний, сила) – розділ фізики, що вивчає причини зміни швидкості руху тіл під дією інших тіл.

Ісаак Ньютон (1643 – 1727) – засновник динаміки. Його закони лежать в основі динаміки.

✍ I закон динаміки (закон інерції)

Існують такі системи відліку, відносно яких тіло зберігає свою швидкість сталою, якщо на нього не діють інші тіла, або дії інших тіл скомпенсовані.

?? Навести приклади, коли дії кількох тіл компенсуються.

Явище збереження швидкості тіла називається *інерцією*.

Відкриття закону інерції покінчило з неправильною думою про те, що коли немає зовнішнього впливу, воно перебуває тільки в стані спокою.

?? Як в цьому випадку може рухатися тіло?

Сила – міра взаємодії тіл, часток, або часток і поля (в фізиці).

Сила – причина прискорення тіл або частин тіла.

Сила – векторна величина. $[F] = 1 \text{ Н}$.

Сила характеризується напрямком, точкою прикладення та модулем.

Принцип відносності Г. Галілея:

Всі механічні явища природи відбуваються однаково в будь-яких інерціальних системах відліку.

Всі механічні явища можна пояснити за допомогою *трьох видів сил*:

- сили всесвітнього тяжіння;
- сили пружності;
- сили тертя.

На сьогодні достовірно відоме існування чотирьох фундаментальних взаємодій: **гравітаційної, електромагнітної, сильної і слабкої** взаємодій. Ведуться пошуки інших типів взаємодій, як в явищах мікросвіту, так і на космічних масштабах, проте поки існування якого-небудь іншого типу взаємодії не знайдено.

II закон Ньютона:

В інерціальних системах відліку прискорення тіла напрямлено вздовж вектора сили, пропорційне її модулю і обернено пропорційне масі тіла.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Або:

Рівнодійна всіх сил, прикладених до тіла, дорівнює добутку маси тіла на здобуте прискорення:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad [\vec{F}] = 1 \text{ Н} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$$

Зауваження:

1) Якщо взаємодіють два тіла з різними масами, то більше прискорення матиме те тіло,

маса якого менша: $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$. Таким чином, масу тіла можна визначити методом

взаємодії тіла невідомої маси с тілом відомої маси.

?? Навести приклади вимірювання маси таким способом.

2) Якщо на тіло діє декілька сил, то знаходять рівнодійну діючих сил:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

III закон Ньютона:

При взаємодії тіла діють одне на одне із силами, рівними за модулем і протилежними за напрямком: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Закони динаміки мають межі застосування. Вони виконуються:

- в інерціальних системах відліку,
- коли тіла рухаються зі швидкостями, набагато меншими швидкості світла.

1. Розв'язання задач.

Якісні задачі:

- М'яч вдаряється об стінку. На яке з тіл (м'яч чи стіна) діє більша сила?
- Чи може тіло рухатись вперед, якщо рівнодійна всіх сил спрямована в протилежний бік? Наведіть приклад.
- Чи правильне твердження: «прискорення тіла завжди спрямована так, як і діюча сила»?
- Чи правильне твердження: «швидкість тіла завжди спрямована так, як і діюча сила»?
- Чи може рівнодійна двох сил 5Н та 9Н дорівнювати: 3Н? 5Н? 7Н? 15Н? 20Н? Яке максимальне та мінімальне значення рівнодійної в цьому випадку? Розв'язати графічно.
- За якої умови тіло рухається рівномірно?
- За якої умови тіло рухається рівно прискорено?
- За якої умови тіло рухається нерівно прискорено?

Розрахункові задачі:

№ 1. (Зб. Гельфгат № 12. 23)

Автомобіль масою 2 т, рухаючись з місця, за 40 с набрав швидкість 36 км/год, потім рухався прямолінійно рівномірно. Перед перехрестям він зупинився за 8с. Знайти рівнодійну сил на кожній ділянці руху. (Відповідь: 500Н, 0Н, 2,5кН)

№ 2.

Швидкість тіла змінюється за законом $v = 20 - 1,5t$. Знайти силу, що діє на тіло, якщо його маса 2 кг. Як рухається це тіло? (Відповідь: -3 Н)

№ 3. Фізика 10 кл. В. Д. Сиротюк: № 174 (с. 130)

Автомобіль, маса якого 14 т, рушаючи з місця, перші 50 м проходить за 10 с. Визначте силу тяги, якщо коефіцієнт опору дорівнює 0,05. (Відповідь: 21 кН)

№ 4. Фізика 10 кл. В. Д. Сиротюк: № 120 (с. 104)

М'яч масою 0,5 кг після удару, що тривав 0,2 с, набуває швидкості 10 м/с. Визначте середню силу удару. (Відповідь: 25 Н)

2. Підведення підсумків, видача завдання для домашньої роботи студентів.

- Фізика 10 кл. В. Д. Сиротюк: § 20 – 21; № 116 (с. 104)
- **Задача:** (Зб. Гельфгат №12.24)

Літак масою 30т торкається посадочної смуги на швидкості 144 км/год. Якою була сила протистояння руху, якщо до зупинки він пробіг 800м. (Відповідь: 30кН)

№ 116. Під дією якої сталої сили тіло масою 300 г, що знаходилось у стані спокою, протягом 5 с пройде шлях 25 м? (Відповідь: 0,3 Н)

Лекція № 9.

Тема: Гравітаційна взаємодія. Закон всесвітнього тяжіння.

План

1. Закон всесвітнього тяжіння.
2. Сила тяжіння.

Структура заняття.1. Мотивація навчальної діяльності.

Гравітація – це властивість масивних тіл притягуватись одне до одного.

Гравітація є, зокрема, причиною земного тяжіння, внаслідок якого предмети падають на Землю. Також орбіта Місяця навколо Землі і Землі та інших планет навколо Сонця визначається законами гравітації.

2. Засвоєння нових знань.

Закон всесвітнього тяжіння був вперше сформульований Ісааком Ньютоном у 1687 році в роботі «Математичні принципи натуральної філософії».

Вивчивши відомі на той час дані про рух планет, а саме Землі та місяця, Ньютон дійшов висновку, що сила тяжіння між тілами не тільки пропорційна масі тіл, а й залежить від відстані між тілами.

Закон всесвітнього тяжіння:

Дві матеріальні точки масами m_1 та m_2 притягуються із силою, прямо пропорційною добутку мас цих тіл і обернено пропорційною квадрату відстані між ними:

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

$$G \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot m^2}{кг^2} - \text{гравітаційна стала.}$$

Знайдемо прискорення вільного падіння, застосовуючи закон всесвітнього тяжіння. Для

тіла, що знаходиться поблизу Землі: $F = G \frac{M_3 m_T}{R_3^2}$,

де $M_3 = 5,98 \cdot 10^{24}$ кг – маса Землі; $R_3 = 6,4 \cdot 10^6$ м – радіус Землі, m_T – маса тіла.

З іншого боку $F = mg \rightarrow g = \frac{F}{m_T}$. Отже, $g = G \frac{M_3}{R_3^2}$ – прискорення вільного падіння.

У випадку коли тіло піднято на висоту h :

$$F = G \frac{m_1 m_2}{(R+h)^2} - \text{закон всесвітнього тяжіння на висоті } h;$$

$$g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2} - \text{прискорення вільного падіння на висоті } h.$$

Маса тіла.

Маса – фізична величина, яка є однією з основних характеристик матерії та визначає її інерційні, енергетичні та гравітаційні властивості.

Маса зазвичай позначається латинською літерою m $[m] = 1$ кг

- **Маса як міра інертних властивостей тіла** характеризує здатність тіла протидіяти зміні його швидкості під дією сили.

Наприклад, за умови, що сила однакова, об'єкт з меншою масою легше змінює свою швидкість ніж об'єкт з більшою масою. Інертна маса фігурує у другому законі Ньютона.

- **Маса як міра гравітаційних властивостей тіла** характеризує інтенсивність взаємодії тіла з гравітаційним полем. Вона фігурує у Ньютонівському законі всесвітнього тяжіння.

3. Розв'язання задач.**Середній рівень:**№ 1.

Знайти відстань між двома матеріальними точками масою по 100 кг кожна, що притягуються з силою 0,1 мкН. (Відповідь: 2,58 м)

Достатній рівень:**№ 3.**

Знайти прискорення вільного падіння на висоті, рівній радіусу Землі.

(Відповідь: $2,4\text{м/с}^2$)

№ 4.

На якій відстані від Землі прискорення вільного падіння дорівнює 1м/с^2 ?

(Відповідь: 13600км)

№ 5. (Зб. Гельфгат № 14.13)

Космічний корабель вийшов на кругову орбіту радіусом 10млн км відкритої зірки. Знайти масу зорі, якщо період обертання корабля навколо зорі 628000с .

(Відповідь: $1,5 \cdot 10^{30}\text{кг}$)

4. Підведення підсумків, видача завдання для домашньої роботи студентів.

- Фізика 10 кл. В. Д. Сиротюк: § 22 – 27 № 130
- Опрацювати самостійно тему: «Внесок українських вчених у розвиток космонавтики (Ю.Кондратюк, С.Корольов та ін.)»

№ 130. Якою буде сила взаємного притягання між двома супутниками Землі масою по $3,87\text{т}$ кожен, якщо вони наблизяться один до одного на відстань 100м ?

Лекція № 10.

Тема: Штучні супутники Землі.

План

1. Космічні швидкості. Штучні супутники.
2. Гравітаційне поле.
3. Вага тіла.

Структура заняття.1. Засвоєння нових знань.**Вага і невагомість.**

Вага – сила, з якою тіло діє на горизонтальну опору або на вертикальний підвіс внаслідок впливу сили тяжіння цього об'єкту.

У випадку коли тіло знаходиться в стані спокою або рухається прямолінійно рівномірно вага за модулем дорівнює силі тяжіння: $P=F=mg$.

Залежність ваги від прискорення

Із означення ваги, як сили, з якою тіло діє на опору, тобто сили реакції, вага тіла залежить від його прискорення. Наприклад, у ліфті, що рушає вгору, вага тіла збільшується на величину прискорення ліфта, а у ліфті, який спускається донизу, вага тіла зменшується на величину прискорення:

$P=m(g+a)$ – тіло рухається з прискоренням a , спрямованим вгору.

$P=m(g-a)$ – тіло рухається з прискоренням a , спрямованим вниз.

Тіло, яке вільно падає з висоти, втрачає вагу. Такий стан називається *невагомістю*: $P=0$, якщо $g=a$

Вплив невагомість на здоров'я людини

Після появи космічних станцій, було виявлено, що перебування у невагомість має шкідливі наслідки на здоров'я людини. Після тривалого періоду перебування у середовищі невагомість різні фізіологічні системи починають змінюватися і атрофуватися. Хоча ці зміни є зазвичай тимчасовими, вони можуть призвести до серйозніших хвороб.

Під час перших годин у стані невагомість приблизно 45 % усіх людей зазнають симптомів синдрому космічної адаптації (СКА), також знаний як космічна хвороба. До ознак космічної хвороби належать нудота і блювота, запаморочення, головний біль, млявість або повне нездужання. Перший випадок СКА був повідомлений космонавтом Германом Титовим у 1961 році. Тривалість космічної хвороби змінюється, але не було зафіксовано випадків, коли вона тривала більше 72 годин.

Штучні супутники Землі

Якщо тілу на висоті h над Землею надати горизонтальної швидкості, то воно падатиме по параболі, але, якщо швидкість буде достатньо великою, то за рахунок віддалення Землі тіло може облетіти всю Землю, ставши його штучним супутником.

Швидкість, яку треба надати тілу, щоб воно змогло стати штучним супутником, називається *I космічною швидкістю*.

Розрахунок I космічної швидкості.

Оскільки штучний супутник рухається по круговій орбіті, то $a = \frac{v_1^2}{R_3}$. За II законом

Ньютона $F = ma$. За законом всесвітнього тяжіння: $F = G \frac{M_3 m_T}{R_3^2}$. Отже, $G \frac{M_3 m_T}{R_3^2} = \frac{m_T v_1^2}{R_3}$

$$\rightarrow v_1^2 = G \frac{M_3}{R_3} \quad \text{або} \quad v_1 = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3}}$$

Розрахуємо I космічну швидкість:

$$v_1 = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{6 \cdot 10^{24}}{6,4 \cdot 10^6}} = \sqrt{62,5 \cdot 10^6} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ м/с}$$

На висоті h I космічна швидкість дорівнює: $v_I = \sqrt{G \frac{M_3}{(R_3 + h)}}$

2. **Розв'язання задач.**

№ 1. Фізика 10 кл. В. Д. Сиротюк: № 159 с.123

Шахтна кліть у стані спокою важить 2500 Н. З яким прискоренням опустилася кліть, якщо її вага зменшилася до 2000 Н? (Відповідь: 2 м/с²)

3. **Підведення підсумків, видача завдання для домашньої роботи студентів.**

- Фізика 10 кл. В. Д. Сиротюк: § 22 – 27 № 130

Лекція № 11.

Тема: Деформації і сила пружності.

План

1. Деформація.
2. Сила пружності.
3. Закон Гука.

Структура заняття.1. Засвоєння нових знань.

Сила пружності.

Якщо до твердого тіла прикласти силу, воно деформується, тобто змінює свій об'єм або форму, або й те, й інше. Деформації бувають *пружними* та *непружними (пластичними)*.

?? Навести приклади, дати визначення.

Види деформацій. Усі види деформацій можна звести до двох основних: *розтягу* (або *стискання*) та *зсуву*. Деформації розтягу зазнають троси, канати, ланцюги, а деформацію стискання – опори.

Під час розтягу або стискання головне – це зміна об'єму тіла (хоча при цьому в деякій мірі змінюється і його форма). Комбінацією деформацій розтягу й стискання є *згин*. Деформації згину зазнають, наприклад, перекриття будівель.

При деформації зсуву головне – це зміна форми тіла. За такої деформації відбувається зсув шарів тіла відносно один одного. Комбінацією деформацій зсуву є *крутіння* – такої деформації зазнають, наприклад, болти під час закручування.

Під час деформацій виникають сили, що намагаються повернути тіло в початковий стан.

Сила пружності – сила, що виникає при деформації тіла.

Закон Гука.

Відкритий в 1660 році англ. вченим Робертом Гуком (Хуком) (англ. *Robert Hooke*).

Для тонкого пружно деформованого стрижня закон Гука має вигляд: $F = -k\Delta l$

Тут F сила натягу стрижня, Δl – його видовження (стискання) – абсолютне видовження, а k – коефіцієнтом пружності (або жорсткість) $[k] = \text{Н/м}$

Мінус в рівнянні вказує на те, що сила розтягу завжди направлена в сторону, протилежну до деформації.

Динамометр – прилад для вимірювання сил. Дозволяє за величиною деформації пружини на основі закону Гука знайти модуль діючої сили.

Сила тертя.

За своєю фізичною природою сила тертя належить до електростатичних сил і не є фундаментальним типом взаємодії. В мікроскопічному світі сили тертя немає.

Сила тертя завжди направлена проти вектора швидкості.

Коли тіло пересувається на поверхні іншого тіла, сила тертя пропорційна *силі реакції опори* N із коефіцієнтом пропорційності μ , який називається *коефіцієнтом тертя*: $F_{\text{терт}} = \mu N$ – сила тертя ковзання.

Розрізняють **тертя кочення** й **тертя ковзання**. Тертя кочення виникає у випадку, коли одне тіло котиться по поверхні іншого. Зазвичай тертя кочення значно менше тертя ковзання.

Окремо виділяється **тертя спокою**, оскільки сила, необхідна для того, щоб зрушити тіло з місця більша за силу, необхідну для того, щоб підтримати сталу швидкість.

$$F_{\text{терт. спок}} \leq \mu N \text{ – сила тертя спокою.}$$

Сила тертя – це сила, яка протидіє рухові фізичного тіла, розсіюючи його механічну енергію в тепло.

?? Навести приклади зменшення або збільшення сили тертя.

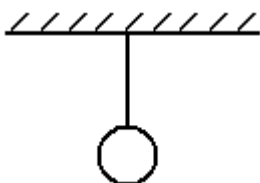
2. Розв'язання задач.

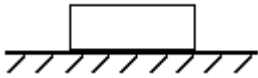
Середній рівень:

№ 1.

Покажіть на малюнку сили, що виникають в кожному випадку:

а) шарик висить на пружній нитці





- б) брусок лежить на столі;
 в) брусок намагаються зрушити з місця, прикладаючи певну силу;
 г) брусок рухається вздовж столу з постійною швидкістю (з прискоренням)

№ 2.

Знайти жорсткість стрижня, який під дією вантажу 1кН видовжився на 1мм.

№ 3.

Дерев'яний ящик важить 400Н. Щоб зрушити його з місця, була прикладена сила 200Н, спрямована горизонтально. Знайти коефіцієнт тертя.

Достатній рівень:**№ 4.**

На скільки видовжиться риболовецька ліска (коефіцієнт жорсткості $k = 0,5\text{кН/м}$), на якій висить риба масою 200г?

№ 5.

Дерев'яний брусок масою 2кг рівномірно тягнуть вздовж дерев'яної горизонтальної поверхні за допомогою пружини жорсткістю 100Н/м. Знайти видовження пружини ($\mu = 0,3$)

3. Узагальнення та систематизація знань.**Запитання до студентів:**

- Коли виникає сила тертя спокою?
- Чому дорівнює сила тертя спокою?
- Чи завжди сила тертя заважає руху?
- Коли виникає сила тертя ковзання, який напрямок вона має?
- Від чого залежить сила тертя ковзання?

4. Підведення підсумків, видача завдання для домашньої роботи студентів.

- Фізика 10 кл. В. Д. Сиротюк: § 16 – 19, 28, 29;
- № 167, 168 (с. 130) – середній рівень
- № 181 (с. 131) – достатній рівень

№167. Визначте жорсткість пружини динамометра, якщо під дією сили 27 Н вона видовжилась на 9 см. На скільки видовжиться пружина під навантаженням 18 Н? (Відповідь: 300 Н/м; 0,006 м)

№ 168. Бетонну плиту вагою 120 кН рівномірно тягнуть по Землі. Сила тяги 54 кН. Визначте коефіцієнт тертя. (Відповідь: 0,45)

№ 181. Брусок масою 3 кг за допомогою пружини тягнуть рівномірно по дошці, розміщеній горизонтально. Яка жорсткість пружини, якщо вона видовжилась при цьому на 5 см? Коефіцієнт тертя між бруском і поверхнею 0,25. (Відповідь: 15 Н/м)

Лекція № 12.

Тема: Рівновага тіл.

План

1. Умови рівноваги.
2. Центр тяжіння та центр мас тіла.
3. Види рівноваги. Стійкість тіл.

Структура заняття.

1. Контроль засвоєння знань. Перевірка д/з.

➤ **Фронтальна бесіда:**

- Що таке сила, рівнодійна сил?
- Як змінюється сила тяжіння та прискорення вільного падіння у випадку, коли тіло піднято на висоту h ?
- Що означає вислів: «маса – міра інертних властивостей тіла»?
- Що означає вислів: «маса – міра гравітаційних властивостей тіла»?

➤ **Самостійна робота** (практична складова (5 балів))

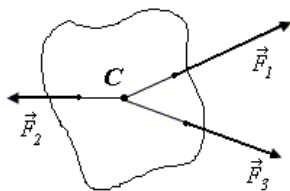
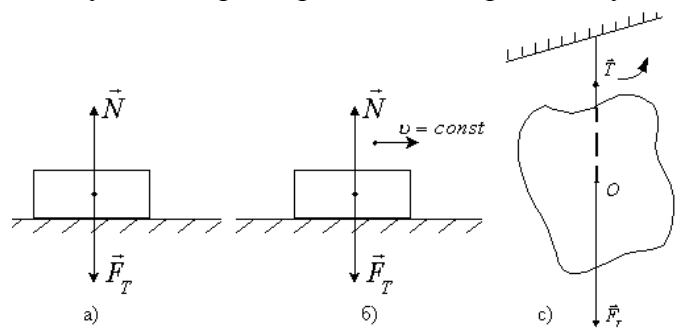
2. Засвоєння нових знань.

Розділ механіки, в якому вивчаються умови рівноваги тіл, називається **статикою**.

Рівновагою тіла називають такий стан, коли будь-яке прискорення тіла дорівнює нулю, тобто всі дії на тіло сил і моментів сил зрівноважені.

При цьому тіло може:

- знаходитись у стані спокою (рис. а);
- рухатись рівномірно і прямолінійно (рис. б);
- рівномірно обертатись навколо осі, яка проходить через центр його тяжіння (рис. с)



Центром мас тіла називають точку, через яку проходять сили, що змушують тіло рухатись поступально.

Центром тяжіння тіла називають точку прикладення сили тяжіння.

Якщо під дією сили тяжіння тіло рухається поступально, то центр мас і центр тяжіння співпадають.

Види рівноваги.

Дослідити поведінку тіла на гладкій поверхні:



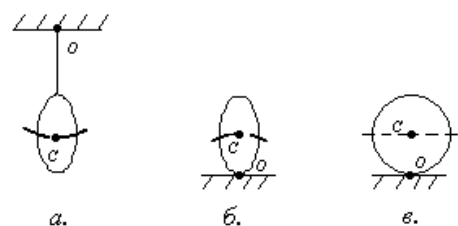
Висновок: Розрізняють **три види рівноваги тіл:**

- 1) **стійку рівновагу**, якщо тіло, будучи виведеним із положення рівноваги в сусіднє найближче положення і залишене в спокої, повернеться в це положення;
- 2) **нестійку рівновагу**, якщо тіло будучи виведеним із положення рівноваги в сусіднє положення і залишене в спокої, буде ще більше відхилятися від цього положення.
- 3) **байдужу рівновагу** - якщо тіло, будучи виведеним в сусіднє положення і залишене в спокої, залишиться в новому своєму положенні.

Дослідити поведінку тіла, що має вісь обертання:

Висновок: Рівновага тіла із закріпленою віссю обертання буде:

- 1) **стійкою**, якщо в положенні рівноваги центр

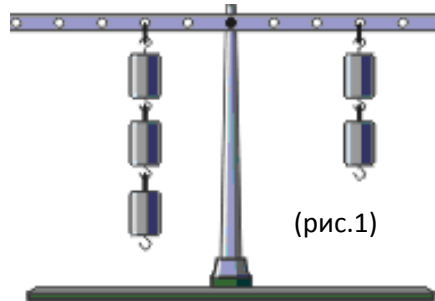


- тяжіння C займає найнижче положення з усіх можливих ближніх положень (рис. а);
- 2) **нестійкою**, якщо центр тяжіння C займає найвище із всіх ближніх положень (рис. б);
 - 3) **байдужою**, якщо центр тяжіння тіла C в усіх ближніх можливих положеннях знаходиться на одному рівні (рис. в).

Важіль, види важелів.

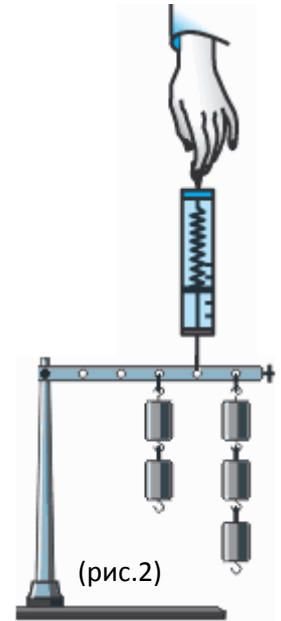
Важіль – простий механічний пристрій, що є твердим тілом, здатним обертатися навколо точки опори.

Важіль I роду – точка опори розташована між лініями прикладення сил (рис.1).



(рис.1)

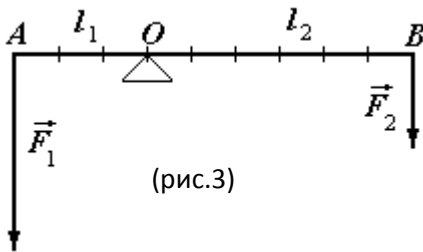
Важіль II роду – точка опори розташована по один бік до ліній прикладення сил (рис.2).



(рис.2)

Найкоротша відстань між точкою опори і прямою, вздовж якої діє на важіль сила, називається **плечем сили**.

Щоб знайти плече сили, треба опустити перпендикуляр з точки опори на лінію, співпадаючу з напрямком дії сили.



(рис.3)

На рис.3 плечем сили F_1 є відстань OA (l_1), а сили F_2 є відстань OB (l_2).

Момент сили – дорівнює добутку сили на відповідне плече: $M = F \cdot l$.

Момент сили, що обертає тіло проти годинникової стрілки, вважають *додатнім*, за годинниковою стрілкою – *від'ємним*.

Умови рівноваги важеля.

I умова рівноваги важеля:

Векторна сума всіх сил, що діють на тіло, дорівнює нулю (сума алгебраїчних проекцій всіх сил на будь-яку вісь дорівнює нулю):

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$$

II умова рівноваги важеля (правило моментів):

Алгебраїчна сума моментів всіх сил, що діють на тіло, відносно будь-якої точки дорівнює нулю:

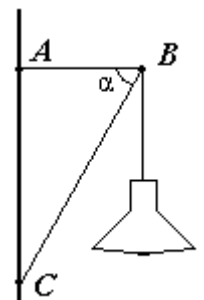
$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

У випадку, коли на тіло діє дві сили правило моментів матиме вигляд: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$

где F_1 и F_2 – сили, що діють на важіль, l_2, l_1 – плечі сил.

3. Розв'язання задач.

№ 1. Невагомий стрижні АВ та ВС шарнірно скріплені між собою та стіною. Знайти сили пружності, що виникають в стрижнях, якщо $\alpha=60^\circ$, а маса ліхтаря 2кг. Фізика 10 кл. С.В. Коршак **впр. 15 № 1, 2.**



4. Підведення підсумків, видача завдання для домашньої роботи студентів.

- Фізика 10 кл. В. Д. Сиротюк: § 30 – 32; с. 141 задача 2 – оформити в зошиті

Задача.

Дошка масою 28 кг і довжиною 1,2 м лежить на двох опорах. Ліва опора знаходиться на відстані 30 см від краю дошки, а права – на відстані 15 см. Яку мінімальну силу треба прикласти, щоб підняти дошку за лівий край? За правий край? (Відповідь: 118 Н; 93,3 Н)