

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Коледж інформаційних технологій та землевпорядкування
НАЦІОНАЛЬНОГО АВІАЦІЙНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ФІЗИКА

Закони Ньютона
Маса. Сила. Додавання сил.

ФОРМУЛЮВАННЯ

Спираючись на спостереження явищ руху, грецькі учені 2400 років тому дійшли висновку, що природним положенням тіла є спокій, оскільки всі тіла від природи "ліниві", або інертні (від лат. *iners* - бездіяльний, нерухомий). Виникнення рухів тіл можливе лише в результаті дії активної сили, а припинення дії цієї сили призводить до зупинки тіла. Математично міркування греків можна записати так:

→

$$\mathbf{v} = \text{const}$$

доки

→

$$\mathbf{F} = \text{const}$$

ФОРМУЛЮВАННЯ

Помилки в розумінні механічних рухів давньогрецьких учених виправив італійський учений Г. Галілей, спираючись на експерименти з нескладними механічними системами. У досліджах зі скочуванням свинцевої кульки з похилої площини він помітив, що відстань S_1 руху кульки по піску (по горизонтальній поверхні) (рис.1) менша від відстаней S_2 і S_3 , які пройшла кулька по гладкій дошці і мармурі. Цю відмінність Галілей пояснив тим, що сила тертя

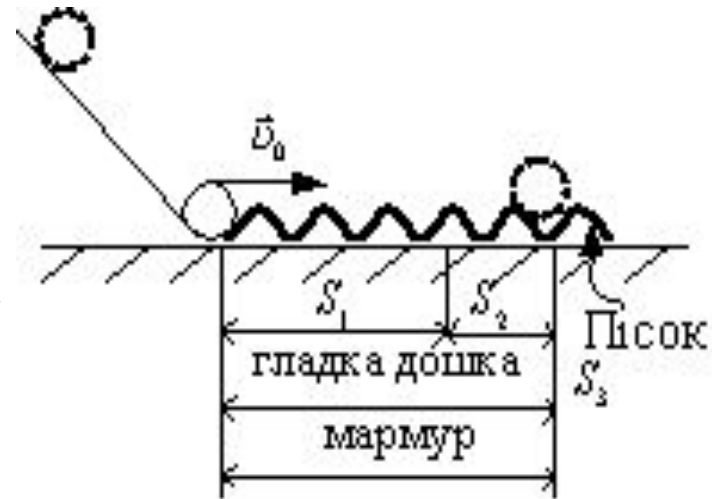
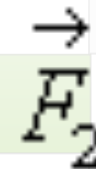


Рис.1



під час руху по піску набагато більша за силу



ФОРМУЛЮВАННЯ

Результати експериментів Галілея свідчили про те, що чим менший опір рухові, тим менша зміна швидкості і тим довше рухається кулька. Розмірковуючи над цими результатами, Галілей дійшов геніального висновку: за повної відсутності сили тертя або опору швидкість тіла стає постійною, і для підтримання руху не потрібно прикладати жодної сили. Математично це можна записати так:

$$\vec{v} = \mathit{const} \quad , \text{ якщо } \vec{F} = \mathbf{0}$$

Явище збереження тілом швидкості за відсутності зовнішніх дій на нього з боку інших тіл, називають інерцією, а цю властивість тіла - інертністю .

ПЕРШИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Визначивши роль системи відліку, сформулюємо *перший закон Ньютона* так: в інерціальній системі відліку матеріальна точка зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на неї не діють інші тіла або дія зовнішніх тіл скомпенсована.

Як впливає із першого закону Ньютона, за умов рівноваги всіх прикладених до тіла сил, воно рухається прямолінійно зі сталою швидкістю, як кажуть "по інерції". Тому цей закон іноді називають також законом інерції, вважаючи за "інертність" не млявість тіл, а їх властивість зберігати стан свого руху, доки дія зовнішніх сил не змінить його.

МАСА. СИЛА. ДОДАВАННЯ СИЛ. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Інертність тіл приводить до того, що миттєво змінити швидкість тіла неможливо - дія на нього другого тіла має тривати певний час. Чим інертніше тіло, тим менше змінюється його швидкість за певний час, тобто тим меншого прискорення набуває тіло. Кількісну міру інертності тіла називають його масою. Чим більшу інертність має тіло, тим більша його маса.

Отже, маса - це скалярна фізична величина, що є мірою інертних і гравітаційних властивостей тіл. У сучасній фізиці досить точно доведено тотожність значень гравітаційної та інертної мас тіла ($m_t = m_i$). Тому їх не розділяють і говорять просто про масу тіла m .

Відомо, що чим більша маса тіла, тим меншого прискорення набуває це тіло під час взаємодії з іншим тілом. Тому можна припустити, що відношення модулів прискорень, одержуваних тілами під час взаємодії між собою, дорівнює величині, оберненій відношенню мас цих тіл, тобто

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (1).$$

впливає, що

$$m_2 = m_1 \frac{a_1}{a_2}$$

МАСА. СИЛА. ДОДАВАННЯ СИЛ. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Для того щоб зуміти визначити масу будь-якого тіла, насамперед необхідно вибрати тіло, масу якого m_e можна вважати одиницею маси. Таке тіло називають еталоном.

Тоді маса довільного тіла

$$m = m_e \frac{a_e}{a} \quad (2), \quad \text{де } a_e - \text{ прискорення еталона; } a - \text{ прискорення даного тіла.}$$

За одиницю маси 1899 року було взято 1 кг (кілограм). Це одна з основних одиниць СІ. *Кілограм* - це маса еталону, що дорівнює масі міжнародного прототипу кілограма. *Еталон* - це відлите з сплаву платини та іридію циліндричне тіло з твірною, що дорівнює його діаметрові - по 39 мм. Він зберігається в місті Севр поблизу Парижа (Франція), в Міжнародному бюро мір і ваг. В усіх країнах є копії цього еталона, виготовлені з високою точністю. В Україні еталон кілограма знаходиться в Інституті метрології (м. Харків).

МАСА. СИЛА. ДОДАВАННЯ СИЛ. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Очевидно, для вимірювання маси тіла зовсім не обов'язково змушувати це тіло рухатися і зіштовхувати його з еталоном маси, визначаючи потім прискорення тіла й еталона. Існує інший, більш зручний спосіб визначення маси - зважування тіл на вагових терезах. Нехай два тіла лежать на шальках рівноплечих терезів і кожне з них, притягуючись до Землі, прагне повернути коромисло терезів навколо осі обертання. Відомо, що прискорення вільного падіння тіл будь-якої маси однакове в будь-якому місці Землі. Тому у формулі (2) $a_e = a$, тобто

$$\frac{a_e}{a} = 1$$

Отже, якщо терези знаходяться в рівновазі, маса тіла дорівнює масі еталона.

У повсякденних вимірюваннях замість еталона маси використовують гирі. Зрівноважування певного тіла на терезах гирями дозволяє визначити масу цього тіла. Об'єднуючи декілька тіл в одне, їх маси додають. Порушення цього правила, яке називається законом збереження маси речовини, відбувається у мікросвіті з елементарними частинками.

МАСА. СИЛА. ДОДАВАННЯ СИЛ. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Для вираження зв'язку маси тіла з його об'ємом уведено поняття густини. Густиною речовини називають величину, що дорівнює відношенню маси тіла до його об'єму, тобто

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

У випадку неоднорідних тіл за формулою (3) визначають середню густину тіла.

МАСА. СИЛА. ДОДАВАННЯ СИЛ. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Маса тіла не залежить від того, у яких саме взаємодіях з іншими тілами це тіло бере участь. Однак маса може залежати від швидкості руху тіла. Ця залежність виявляється тільки під час рухів зі швидкостями, що наближаються до швидкості світла. Тому у фізиці розрізняють два якісно різні випадки руху.

Рух, що відбувається зі швидкістю v , набагато меншою від швидкості світла c у вакуумі ($v \ll c$, де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с), називають *нерелятивістським*. У разі нерелятивістського руху маса тіла майже не залежить від його швидкості, тобто можна вважати, що в такому русі $m = \text{const}$.

Рух, що відбувається зі швидкістю, близькою до швидкості світла у вакуумі ($v \approx c$), називають *релятивістським*. Зі спеціальної теорії відносності Ейнштейна випливає, що під час релятивістського руху залежність маси від швидкості суттєва. Це враховують під час конструювання прискорювачів заряджених частинок та кольорових телевізорів з електронно-променевими трубками.

МАСА. СИЛА. ДОДАВАННЯ СИЛ. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Відомо, що зміна швидкості тіла, тобто поява прискорення, відбувається під дією оточуючих тіл на це тіло. Різні взаємодії тіл, відомі сучасній фізиці, поділяються на чотири типи:

1. гравітаційні взаємодії, які виникають між тілами відповідно до закону всесвітнього тяжіння;
2. електромагнітна взаємодія, яка відбувається між тілами, що набули електричного заряду;
3. сильні взаємодії. Вони існують між частинками, з яких складаються ядра атомів, а також між р-мезонами і мезонами;
4. слабкі взаємодії, які характерні для процесів перетворення деяких елементарних частинок. Для характеристики цих взаємодій введено поняття сили. Сила - це фізична векторна величина, що є мірою дії на деяке тіло інших тіл (або полів), яка може викликати прискорення і деформацію тіла.

МАСА. СИЛА. ДОДАВАННЯ СИЛ. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Якщо на тіло діє тільки одна сила, вона обов'язково викликає і прискорення, і деформацію цього тіла. Якщо ж на тіло одночасно діє декілька сил, то можлива їх компенсація (зрівноваження) і тіло може не набувати прискорення. Одночасна дія на тіло декількох сил еквівалентна дії однієї сили (рівнодійної), яка дорівнює векторній сумі цих сил.

Знаходження рівнодійної означає додавання сил за правилами додавання векторів (рис. 5, 6): Існує принцип незалежності дії сил: якщо на тіло діють одночасно декілька сил, дію кожної з них можна розглядати незалежно від дії інших.

Оскільки сила здатна надати тілу прискорення і деформувати його, то обидві ці дії можна використовувати для вимірювання сили і маси. Виникнення прискорення і деформації, наприклад пружин, можна використовувати для порівняння і вимірювання сил. Прилади для вимірювання сил називають динамометрами.

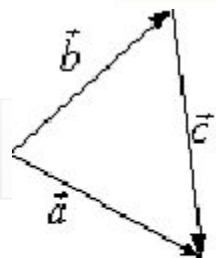


Рис. 5.

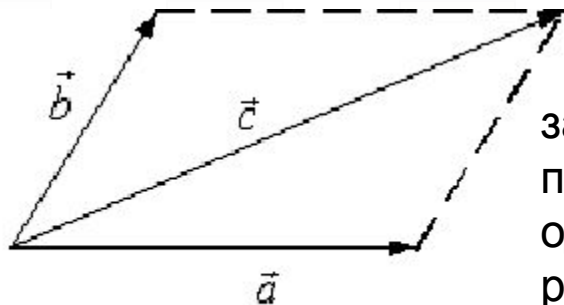


Рис. 6.

Знаходження рівнодійної означає додавання сил за правилами додавання векторів (рис. 5, 6): Існує принцип незалежності дії сил: якщо на тіло діють одночасно декілька сил, дію кожної з них можна розглядати незалежно від дії інших.

МАСА. СИЛА. ДОДАВАННЯ СИЛ. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Із спостережень випливає, що якщо на одне і те саме тіло по чергово діяти різними силами, то модулі прискорень, яких набуде це тіло, виявляться пропорційними модулям цих сил, тобто

$$a = \frac{F}{m}, \text{ або у векторній формі: } \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \text{ (6),}$$

Формула (6) виражає другий закон Ньютона: в ІСВ прискорення тіла (матеріальної точки) напрямлене вздовж напрямку дії сили, пропорційне її модулю і обернено пропорційне масі тіла. Сила - це причина, а прискорення - наслідок. Результуюче прискорення має таке саме значення, якщо б діяла одна сила, яка дорівнює рівнодійній сил. Під дією постійної сили тіло рухається із постійним прискоренням.

У вигляді формули (6) другий закон Ньютона справедливий і для нерелятивістського руху матеріальних точок, і нерелятивістського поступального руху твердих тіл.

$$\vec{F} = m \vec{a} \text{ (7)}$$

МАСА. СИЛА. ДОДАВАННЯ СИЛ. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Для багатьох практичних завдань зручним для використання є запис другого закону Ньютона у такій математичній формі:

$$\vec{F} = m \vec{a} \text{ (7)}$$

Із формули (7) встановлюють одиницю сили. За одиницю сили в СІ взято таку силу, яка тілу масою 1 кг надає прискорення 1 м/с². Цю одиницю сили позначають 1 Н і називають ньютоніом:

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м} / \text{с}^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}.$$

У механіці враховують гравітаційні сили (сили притягання), які виникають між оточуючими тілами, а також два різновиди електромагнітних сил - сили *пружності* і сили *тертя*.

ТРЕТІЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Коли будь-яке тіло діє на інше, відбувається не одностороння дія, а взаємодія тіл. Сили такої взаємодії між тілами мають однакову природу, з'являються і зникають одночасно. Під час взаємодії двох тіл (рис. 9) обидва тіла набувають прискорень, що напрямлені по одній прямій в протилежні боки.



Рис. 9.

тобто $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ (10)

Рівність (10) виражає **третій закон Ньютона**: тіла взаємодіють одне з одним із силами, однаковими за модулем і протилежними за напрямом та напрямленими вздовж однієї прямої

Третій закон Ньютона виконується як у разі взаємодії безпосередньо контактуючих тіл, так і у разі взаємодії тіл завдяки наявності магнітного поля. Найпростішим буде таке формулювання третього закону Ньютона: **дія дорівнює протидії**.

ТРЕТІЙ ЗАКОН НЬЮТОНА.

Таким чином, перший закон Ньютона стверджує: якщо на тіло не діють сторонні тіла, то воно знаходиться в стані спокою чи рівномірного прямолінійного руху відносно ІСВ. З нього випливає, що причиною зміни швидкості тіла є сила. Другий закон Ньютона пояснює, як рухається тіло під дією сили. Він встановлює кількісне співвідношення між

$$\vec{a} \quad \text{і} \quad \vec{F}$$

У першому і другому законах Ньютона розглядається лише одне тіло. У третьому законі розглядається взаємодія двох тіл із силами, однаковими за модулем і протилежними за напрямом. Ці сили називають силами взаємодії. Вони напрямлені вздовж однієї прямої і прикладені до різних тіл. Між законами Ньютона існує взаємний зв'язок: вони виконуються лише в інерціальних системах відліку.