

Лекція 1. МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН ЯК ПРИКЛАД ФОРМАЛІЗОВАНОЇ МОВИ

Як ми вже говорили, побудова формалізованої мови починається з того, що встановлюють алфавіт мови, тобто застосований набір символів – літер і знаків. У міжнародній системі одиниць фізичних величин (скорочено – СІ, від французького найменування *Systeme International*) використовуються літери латинської й грецької мов, літери національних мов кожної країни, наприклад, української або російської, а також математичні знаки (+, -, , :, /, = і т.д.).

У мові системи СІ є три базисних терміни: маса (m), шлях або переміщення (S) і час (t). Взагалі базисні терміни приймаються без визначень, але для маси зроблене виключення. Маса – міра інертності тіла. Таке визначення насправді нічого не визначає, а просто заміняє один невизначений термін іншим. Прийmemo із чисто навчальними цілями інше визначення: маса – міра кількості речовини (так визначали масу в 18-19 ст.). Будь-яке тіло складається з якоїсь кількості молекул або атомів; маса атома практично повністю визначається кількістю нуклонів (протонів і нейтронів) у ньому. Якщо не порушувати цілісності тіла, ця кількість не зміниться, у яких умовах ми не вимірювали б масу – на Землі, на Місяці, на МКС (поки не проявляються релятивістські ефекти).

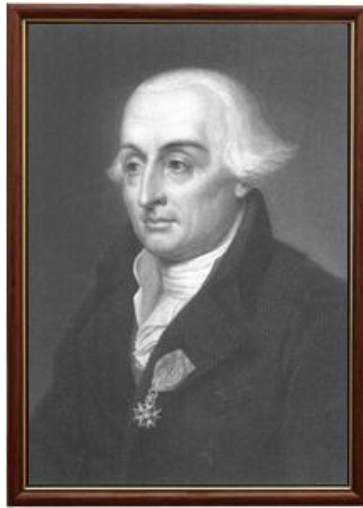
Одиниці виміру базисних величин: кілограм, метр, секунда. Ці одиниці були запропоновані в ході Великої французької революції. З 1789 р. спеціальна комісія (голова – Лаплас, члени Лагранж, Монж, Кондорсе й Борда; спочатку також Лавуазьє й Тилле) розробляла метричну систему одиниць. Одиницю довжини запропонував Лаплас і визначив її як одну сорокамільйонну частку довжини Паризького меридіана.

Зараз приймають дещо точніші значення:

Довжина географічного меридіана дорівнює 40008,55 км, екватора 40075,696. Довжина дуги 1° на екваторі $111,3213777778 \approx 111,321$ км, на широті Харкова $49,97^\circ$ – 71,60064 км. Екваторіальний радіус – 6378,14 км. Полярний радіус – 6356,755 км. Середній радіус Землі – 6371,004 км.



П'єр Сімон Лаплас (1749-1827) – французький астроном, математик, фізик

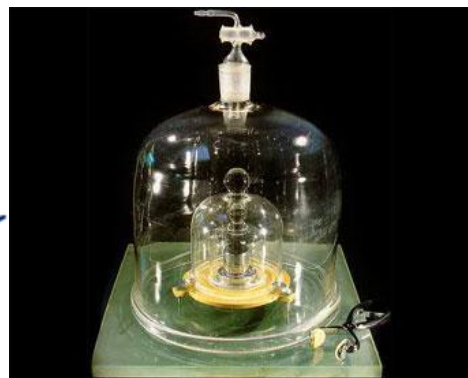
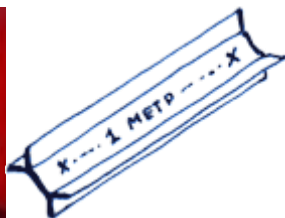


Жозеф Луї Лагранж (1736-1813) – французський математик і механік



Монж Гаспар (1746-1818)- французський геометр і суспільний діяч, творець начертатель-ной геометрії

Назву метр (грецьк. – міра) уперше ввів в 1675 р. італійський учений і винахідник Тіто Лівіо Бураттіні. Англійський філософ і лінгвіст Джон Уілкінс у книзі "Універсальна міра" (1668) запропонував вибрати як одиниця довжину маятника з напівперіодом коливань рівним 1 с. Подібні маятники були незадовго до цього продемонстровані Християном Гюйгенсом, і їхня довжина була досить близька до довжини сучасного метра (на широті 45° 0,994 м). За одиницю ваги був прийнятий грам – вага 1 см³ чистої води при 4°С – температурі її найбільшої густини. Пізніше грам і кілограм стали одиницями не ваги, а маси. Секунда – 1/86400 середньої сонячної доби (86400 = 24·60·60). Відзначимо, що такі одиниці часу (година з 60 часток – хвилин – і хвилина з 60 часток – секунд) були прийняті ще в Древньої Вавилонії (там була прийнята 60-рична система рахунку).



Еталони метра й кілограма

Із цих трьох базисних термінів (тобто фізичних величин) будуються всі інші, похідні. З величини шлях – площа, тобто добуток довжини на ширину (шлях уздовж однієї сторони на шлях уздовж іншої сторони)

$$F = S_1 \cdot S_2, \text{ м}^2; \text{ об'єм } V = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3, \text{ м}^3.$$

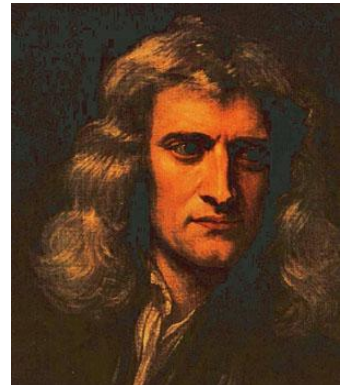
Можна було б продовжувати таке множення, одержуючи похідні величини S_4, S_5 , але в нашому тривимірному світі вони не мають фізичного змісту й не використовуються.

Сполучення базисних величин шлях і час дає похідні величини швидкість – шлях за одиницю часу, $v=S/t$, м/с (інакше – похідна шляху за часом), і прискорення – зміна швидкості за одиницю часу, $a=v/t=S/t^2$, м/с² (друга похідна шляху за часом). При проектуванні ліфтів застосовують ще одиницю ривок швидкості – $a/t=S/t^3$, м/с³ (третя похідна шляху за часом). Виявляється, занадто великі значення ривка швидкості негативно впливають на людину, викликаючи нудоту й запаморочення.

Сполучення базисної величини маса з похідною величиною об'єм дозволяє одержати похідну фізичну величину густина – маса одиниці об'єму матеріалу: $\rho=m/V$, кг/м³. Густина води – 1000 кг/м³, бензину – 700-780 кг/м³, дизельного палива 840-860 кг/м³, повітря в середньому 1,22 кг/м³.

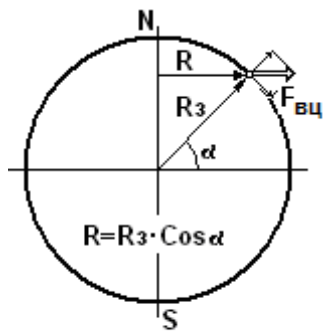
УВАГА! Комп'ютерні перекладачі звичайно перекладають російський термін "плотность" як густина. Це помилка – густина характеризує непроникність для рідин чи газів, а густина – масу одиниці об'єму.

Термін сила визначається в динаміці як причина зміни швидкості тіла, у статиці – як міра взаємодії тіл (F). Значення сили обчислюють за другим законом Ньютона $F = ma$ (де a – прискорення). Одиниця сили має розмірність кг·м/с² і власну назву – ньютон (Н).



Ісаак Ньютон (1642-1727)

Найвідоміший різновид сили – це вага, тобто сила, з якого тіло давить на опору або розтягує підвіс. Це рівнодіюча трьох сил: $G = G_{\text{гр}} - F_{\text{вц}} - F_{\text{вишт}} = mg$. (у середньому для Землі прискорення вільного падіння $g=9,80665$ м/с²; у Харкові й області через наявність залізовмісних порід трохи вище – 9,809973, тобто практично 9,81 м/с²). Гравітаційна сила (за законом всесвітнього тяжіння): $G_{\text{гр}} = \gamma m_1 m_2 / r^2$ (γ – гравітаційна постійна, $6,672 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг²; m_1, m_2 – маси двох тіл, що тяжіють; r – відстань між центрами мас цих тіл).



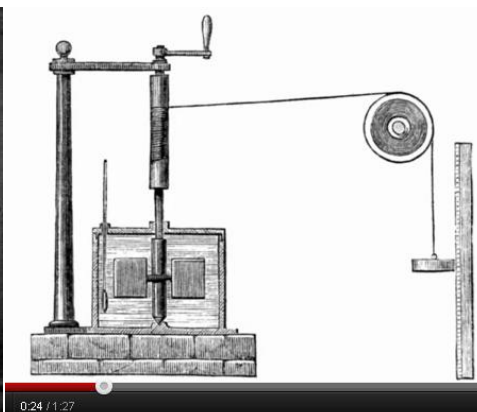
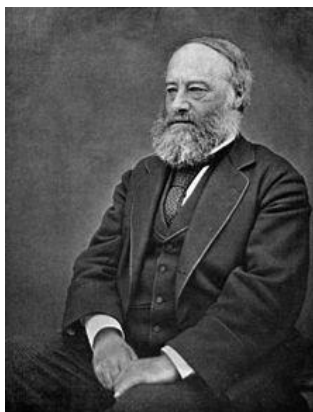
Відцентрова сила на поверхні Землі

Відцентрова сила: $F_{вц} = m\omega^2 R = mv^2/R$ (ω – кутова швидкість; v – колова швидкість на радіусі R ; R – відстань від точки до осі обертання; на поверхні Землі $R=R_3 \cdot \cos \alpha$, де α – географічна широта; для Харкова $\alpha = 50^\circ$).

Виштовхуюча (Архимедова) сила середовища, у якому виконується зважування: $F_{вишт} = V \cdot g$ (V – об'єм тіла, ρ – густина середовища).

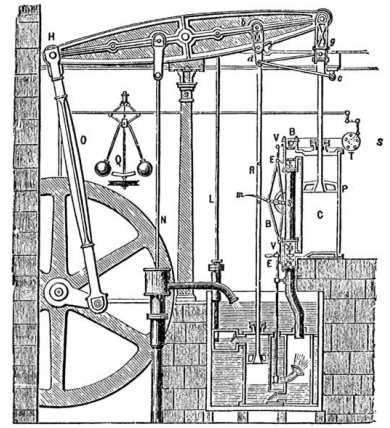
Зрозуміло, якщо тіло потрапить у місце з іншим тяжінням, його вага зміниться: на Місяці стане менше в 6 разів, на Марсі – в 3,5 рази, на МКС зникне повністю – а маса залишиться незмінною.

Сполучення сили з іншими одиницями створює нові похідні одиниці. Робота сили $A = F \cdot S$, Н·м. Одиниця роботи має власне ім'я – джоуль. Якщо ми піднімаємо тіло масою m на висоту h , зроблена нами робота надає цьому тілу потенційну енергію $P_{пот} = m \cdot g \cdot h$ (природно, розмірність та ж – Дж=Н·м). Якщо скинути потім тіло назад на колишній рівень, то потенційна енергія, відповідно до закону збереження енергії (енергія не зникає й не з'являється, а тільки переходить із одного виду в іншій), перетворюється в кінетичну: $W_k = mv^2/2$ з тією же розмірністю. При цьому закон збереження енергії запишеться так: $P_{пот}=W_k$; $mgh=mv^2/2$. Звідси легко знайти швидкість тіла, що падає з висоти h : $v = (2gh)^{1/2}$. Потужність, тобто робота, чинена за одиницю часу, $N=W/t=FS/t=Fv$. Одиниця потужності – ватт (Вт, W) з розмірністю Н·м/с.



Джеймс Джоуль і калориметр, за допомогою якого він установив механічний еквівалент теплоти (робота 427 кгс·м = 1 ккал тепла)

Джеймс Уатт (1736-1819)
і креслення його парової
машини



Тиск: $p=F/S$ (S – площа). Одиниця виміру – $\text{Н}/\text{м}^2$ – називається паскаль. Це дуже мала величина: такий тиск створює шар води глибиною 0,1 мм.

Блез Паскаль (1623-1662) – французький математик, фізик, філософ і письменник

Експеримент із бочкою

З висловлень Паскаля:

Все наше достоїнство – у здатності мислити. Тільки думка підносить нас, а не простір і час, у яких ми – ніщо. Постараємося ж мислити гідно – у цьому основа моральності.

І найблискучіша мова набридає, якщо її затягти.

Нашому розуму властиво вірити, а волі – хотіти; і якщо в них немає гідних предметів для віри й бажання, вони спрямовуються до негідних.

Нехай людині немає ніякої вигоди брехати – це ще не означає, що вона говорить правду: брешуть просто в ім'я неправди.

Жорсткість тіла: $c=F/\delta$ (δ – деформація тіла). Податливість тіла: $\lambda=1/c=\delta/F$.

Система СІ когерентна, тобто побудована так, що якщо користуватися тільки основними одиницями (не кратними й не частковими), тоді всі розрахункові формули записуються без числових коефіцієнтів. Якщо використані кратні або часткові одиниці, то з'являються числові коефіцієнти, які дорівнюють різним ступеням числа 10. Якщо ж у формулі є числовий коефіцієнт, не кратний 10, то у



ній використані позасистемні одиниці фізичних величин, наприклад, швидкість у км/год: $1 \text{ км/год} = 1000 \text{ м} / 3600 \text{ с} = 1/3,6 \text{ м/с} \approx 0,2778 \text{ м/с}$.

Часто доводиться користуватися літературою й приладами, де фізичні величини і їхні одиниці представлені в застарілій технічній системі М.КС.С. Там базисні величини – шлях (м), сила (кгс) і час (с). Кілограм-сила – це вага тіла масою 1 кг:

$$G = m \cdot g; \quad 1 \text{ кгс} = 1 \text{ кг} \cdot 9,80665 \text{ м/с}^2 = 9,80665 \text{ Н}.$$

Величину "густина" у технічній системі звичайно не застосовували, користувалися питомою вагою в гс/см^3 . Чисельно $1 \text{ гс/см}^3 = 1 \text{ т/м}^3 = 1 \text{ кг/л}$. Маса 1 літра води при $4 \text{ }^\circ\text{C}$, 760 мм рт. ст. – 1 кг.

Тиск вимірювали в технічних атмосферах.

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 9,80665 \text{ Н} / 10^{-4} \text{ м}^2 = 98066,5 \text{ Па} \approx 100 \text{ кПа} \approx 0,1 \text{ МПа}.$$

У літературі можна зустріти ще кілька одиниць тиску:

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}; \quad 1 \text{ торр} = 1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Па};$$

$$1 \text{ фіз. атм.} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101\,325 \text{ Па}.$$

Деякі завдання зручніше вирішувати саме в технічній системі. Приклад: з якою силою атмосферний стовп давить на стіл площею 1 м^2 ?

$$F = pS = 1 \text{ кгс/см}^2 \cdot (100 \times 100 \text{ см}^2) = 10\,000 \text{ кгс} = 10 \text{ тонн}$$

Питання, чому стіл не ламається, вирішите самостійно.

В'язкість:

$$1 \text{ пуаз} = \text{г}/(\text{см} \cdot \text{с}) = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad 1 \text{ стокс} = \text{см}^2/\text{с} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad 1 \text{ сантостокс} = \text{мм}^2/\text{с}$$

Позасистемні одиниці довжини: 1 ангстрем = $10^{-10} \text{ м} = 0,1 \text{ нм}$

$$1 \text{ астрономічна одиниця} = 1,495993 \cdot 10^{11} \text{ м} = 149\,599,3 \text{ млн км}$$

$$1 \text{ світловий рік} = 9,46073 \cdot 10^{15} \text{ м}. \quad 1 \text{ парсек} = 3,085678 \cdot 10^{16} \text{ м} = 3,26 \text{ св. року}.$$

$$\text{Відстань від Сонця до Центавра: } 4,37 \text{ св. року} = 1,34 \text{ парсека}$$

Старі російські одиниці: Вершок = $7/4$ дюйма = 44,45 мм. Спочатку рівнялася довжині фаланги вказівного пальця. 4 вершків = 1 п'яді. Лікоть – відстань від кінця пальців до зігнутого ліктя. Аршин = 16 вершків = 0,7112 м. Сажень = 3 аршини = 2,1336 м. Верста = 500 сажнів = 1066,8 м. Фунт = 409,512 41 г.



Англо-американські одиниці

1 миля=1,609344 км. 1 морська миля=1,852 км. Назва миля походить від латинського слова "тисяча". Миля – це тисяча кроків легіонера, що йде в поході. Усе, що стосувалося швидкості руху легіонів, було чітко нормовано. Подвійний крок – passus – рівнявся 5 римським футам або 1,48 м. Простий крок – gradus – 2,5 римські фути, 0,74 м. До речі, сучасний англійський "пейс" (military pace) – "військовий крок" дорівнює 76,2 см, або 2,5 англійського фута. Зверніть увагу на назву римського простого кроку – градус. От звідки походять всі сучасні градуси, кутові й температурні.

1 дюйм=25,4 мм. 1 фут=12 дюймів= 0,3048 м. 1 ярд=3 фути= 0,9144 м.

ярд – це відстань від кінчика носа короля [Едгара](#) (959—975) до кінця середнього пальця його витягнутої руки.

Великим поширенням у Європі користувався шток (рулетка, мірна стрічка), ця міра рівнялася сумарній довжині ступень 16 чоловіків "високих і низьких", що виходять із церкви в неділю після заутрені. Цією мірою (4,88 м) належало вимірювати поля. 1/16 частка штока називалася "фут" – foot – нога, ступня.

Древня Греція (пус)	28...33 см
Древній Рим (pes, пєс)	29,57 см
Англія (foot, фут)	30,48 см
Франція (pied, пьє)	30,48 см
Італія (pieda, пьєда)	29,76 см
Прусія (Fuß, фус)	31,38 см
Данія (fod, фод)	31,38 см
Швеція (fot, фот)	29,69 см
Іспанія (pie, пі)	27,87 см

1 лікоть=18 дюймів=0,4572 м. 1 акр=4840 кв. ярдів=0,4047 га

1 пінта рідинна (США) pt liq (US) = 0,473 180 л

1 пінта суха (США) pt dry = 0,555 610 л

1 пінта (Великобританія) pt (UK) = 0,568 266 л. 1 кварта=2 пінти (будь-яких)

1 галон імперський (Великобританія) gal (UK) = 4,546 087 л. (4 кварта)

1 галон США (вінчестерський, рідинний) gal (US)= 231 дюйм³ = **3,785 412 л.**

1 галон сухий (США) gal dry = 4,404 884 л. (8 пінт)

1 барель сухий (США) bl dry (US) = 115,628 л. (105 кварт)

1 барель рідинний (США) bl (US) = 119,240 л. (31,5 галона)

1 барель нафтовий (США) bl = 158,9873 л. (42 галона)

1 барель сухий (Великобританія) bbl dry (UK) = 163,659 л (36 галонів)

1 фунт-маса (GB) = 1 lb 0,453 5924 кг. 1 фунт-сила = 1 lbf = 4,448222 Н

Швидкість судна або літака – 1 вузол = 1 морська миля за годину (1,852 км/год)

Швидкість автомобіля – 1 статутна миля за годину (1,609 км/год)

Тиск: 1 psi = 1 pound per square inch = 6894,758 Па 1 ksi = 1000 psi

Співвідношення температури в градусах Цельсія й Фаренгейта:

$$t = (t - 32) / 1,8.$$