Міністерство освіти України

Черкаський національний університет

ім. Богдана Хмельницького

Кафедра фізики

Реферат

на тему:

Сили тяжіння

Черкаси-2003

Зміст:

1. Сили пружності
2. Сили тертя
3. Сили тяжіння(гравітаційні сили)
4. Доцентрова сила
5. Інерціальні і неінерціальні системи відліку. Сили інерції
6. Вага тіл. Рівняння сили тяжіння. Невагомість
7. Приклади розв’язку задач
8. Список використаної літератури

Сили пружності

Дотепер ми говорили про силу взагалі, не цікавлячись її походженням. Тепер перейдемо до розгляду деяких конкретних різновидів сил, широко представлених в природі і техніці і граючих важливу роль в *механічних процесах.* До них відносяться сили пружності, тертя, тяжіння і деякі інші. Почнемо з розгляду сил пружності.

Як вже наголошувалося, сила може деформувати тіло — *зміщувати* складові його частинки один щодо одного. При цьому (відповідно до третього закону Ньютона) всередині деформованого тіла виникає протидіюча сила, рівна по величині деформуючій силі і звана *силою пружності.* Наприклад, вантаж, що розтягує пружину, піддається дії сили пружності пружини. Сили пружності обумовлені взаємодією між частинками *(молекулами* і *атомами)* тіла і мають кінець кінцем електричну природу.

Існує декілька видів деформації тіл: одностороннє розтягування, одностороннє стиснення, всестороннє розтягування, всестороннє стиснення, кручення, зсув, вигин. Кожний вид деформації викликає появу відповідної сили пружності.

Досвід показує, що

*пружна сила F, що виникає при малих деформаціях будь-якого вигляду, пропорційна величині деформації (зсуви) ∆x*:

(1)



де *k* — коефіцієнт пропорційності. Це положення називається *законом Гука.* Знак «мінус» указує на протилежність напрямів пружної сили і зсуву.

Деформація називається *пружною,* якщо після усунення деформуючої сили пружні сили повністю відновлюють первинні форму і розмір тіла. При малих зсувах *∆x* деформацію реальних тіл можна вважати пружною. При великих *∆x* виникає так звана *залишкова деформація* — тіло не відновлює повністю свої форму і розмір. При значних деформаціях може навіть відбутися руйнування тіла (розрив — при розтягуванні, злам — при вигині і т. п.).

Розглянемо пружну деформацію одностороннього розтягування стрижня (мал. 1). Хай до нижнього кінця закріпленого стрижня завдовжки *х* і площею поперечного перетину S прикладена деформуюча сила F'. Стрижень подовжиться на величину *∆x* і в ньому виникне пружна сила *F =* - F'. Досвід показує, що подовження пропорційно деформуючій силі і первинній довжині стрижня і обернено пропорційно до площі його поперечного перетину:



(2)

звідки (3)



де *Е* — коефіцієнт, що характеризує пружні властивості речовини стрижня, званий модулем пружності, або модулем Юнга.



Згідно формулі (2) (4)

Вважаючи *∆x* = х і S = 1, одержимо Е = F', тобто модуль Юнга чисельно рівний силі, що розтягує удвічі стрижень одиничної площі поперечного перетину. Щоб не виражати модуль Юнга дуже великими числами, його звичайно вимірюють позасистемними одиницями: кГ/мм2 (наприклад, у міді Е ≈ 10 000 кГ/мм2 , у сталі E ≈ 20 000 кГ/мм2). В СІ модуль Юнга вимірюється в H/м2.

Очевидно, що все висловлене раніше залишиться справедливим і для випадку деформації одностороннього стиснення, якщо тільки рахувати *∆x* не подовженням, а укороченням стрижня.

Не зупиняючись на інших видах деформації, відзначимо тільки, що всі вони кінець кінцем можуть бути зведені до відповідних комбінацій деформацій одностороннього розтягування і стиснення. Наприклад, деформація вигину стрижня зводиться до деформації одностороннього розтягування верхньої частини стрижня при одночасній деформації одностороннього стиснення нижньої його частини (мал. 2; F' і F — деформуючі сили). Тому при вигині верхня частина стрижня, так би мовити, працює на розтягування, а нижня — на стиснення. Очевидно, що середня частина стрижня майже не чинить опору вигину. Ця обставина враховується в техніці і знаходить віддзеркалення в природі. Наприклад, стрижні, що працюють на вигин, звичайно роблять порожнистими (трубчастими), чим досягається економія матеріалу і полегшення конструкцій без збитку для міцності. Стебла злакових рослин і кістки птахів мають трубчасту будову, молоде листя, що не окріпнуло, згорнуте трубкою і т.п.

Сили тертя

Сила, перешкоджаюча ковзанню дотичних тіл друг щодо другові, називається *силою тертя*. Вона направлена по дотичній до поверхні зіткнення тіл протилежно швидкості ковзання даного тіла *(тертя ковзання)*. Тертя існує і у разі нерухомих один щодо одного тіл *(тертя спокою). Максимальна* сила тертя спокою рівна по величині *тій якнайменшій* зовнішній силі, яка викликає ковзання тел. З моменту початку ковзання сила тертя дещо зменшується (сила тертя ковзання завжди менше максимальної сили тертя спокою).

Завдяки тертю рівномірний прямолінійний рух тіла можливий тільки тоді, коли сила тертя ковзання урівноважена зовнішньою (рушійної) силою.

Тертя обумовлено шорсткістю дотичних поверхонь — взаємним зачіпляє виступів на них. При достатньо гладких поверхнях головною причиною тертя стають сили зчеплення між молекулами поверхонь, що труть. Досвід показує, що сила тертя *Fтp* приблизно пропорційна силі *Р*, що притискує дотичні тіла один до одного (тобто силі *нормального тиску):*



Коефіцієнт *k* називається *коефіцієнтом тертя.* Він залежить від роду речовини і якості обробки поверхонь, що труть. В деякій мірі він залежить також від відносної швидкості ковзання і від зовнішніх умов (температури, вогкості і т. п.). Слід підкреслити, що коефіцієнт тертя є досить грубою характеристикою сил тертя. Визначається він експериментально по формулі (5). В технічних таблицях звичайно даються середні значення коефіцієнта тертя. Наприклад, для сталі по сталі *k* *= 0,17*, для сталі по дереву *k* = 0,48. Тертя грає дуже велику роль в природі і техніці. За допомогою тертя здійснюється необоротний перехід всіх видів енергії в теплоту. Завдяки тертю може приходити в рух і зупинятися транспорт. Дія органів пересування і хапальних органів живих істот заснована на терті ковзання. Тертя утримує корені рослин в ґрунті, пісок – в залізничному насипі і т.п.

В сільськогосподарській практиці на відмінності значень коефіцієнта тертя у насіння різних зернових культур засновано розділення суміші цього насіння на складові частини. Суміш зерен, наприклад вівса і проса, поволі высыпается з бункера на нескінченну стрічку, розташовану під кутом до горизонту, що рухається. Кут нахилу стрічки підбирається так, щоб зерна вівса утримувалися на ній силою тертя і захоплювалися вгору, а зерна проса, у яких коефіцієнт тертя з матеріалом стрічки менше ніж у зерен вівса, ковзали по стрічці вниз. В результаті зерна вівса і проса зсипатимуться з різних сторін «стрічкового сепаратора».

В тих випадках, коли тертя грає шкідливу роль, його зменшують, поміщаючи між поверхнями, що труть, в'язку рідину (мастило). Тим самим зовнішнє тертя твердих тіл замінюють значно меншим *внутрішнім тертям рідини*.

Інший спосіб зменшення тертя — заміна ковзання *коченням:* застосування коліс, катків, кулькових і роликових підшипників. Коефіцієнт тертя кочення в десятки разів менше коефіцієнта тертя ковзання. Істотно, що сила тертя кочення обернено пропорційна радіусу тіла, що котиться. У зв'язку з цим у транспорту, призначеного для руху по поганих дорогах (у возів; наприклад), колеса мають великий радіус. Сила тертя кочення *Fтр.к*виражається формулою



де *P* — сила нормального тиску, *R* — радіус тіла, що котиться *µ* — коефіцієнт тертя, який залежить від властивостей матеріалу дотичних поверхонь; як видно з формули, *μ* має розмірність довжини.

В природі тертя кочення зустрічається рідко. Можна тільки вказати на шарообразность насіння деяких рослин (горох, каштан, горіх), сприяючу відкатуванню цього насіння на більш далекі відстані від материнської рослини.

Сили тяжіння (гравітаційні сили)

Вивчаючи рух небесних тіл і падіння тіл в земних умовах, Ньютон встановив закон всесвітнього тяжіння, згідно якому матеріальні точки притягуються одна до одної з силою F, пропорційної їх масам m1 і m2 і обернено пропорційної квадрату відстані r між ними:



Закон справедливий також для випадків взаємодії куль і взаємодії великої кулі з малим тілом. При цьому під г слід розуміти відстань між центрами кульок. Коефіцієнт γ = 6,67. 10-11*м3/(кг*.*сек2)* був визначений експериментально і названий *гравітаційною постійною*. Згідно формулі (6), гравітаційна постійна рівна вираженою в ньютонах силі тяжіння міждвома точковими масами в *1 кг* кожна, що знаходяться на відстані *1 м* один від одного.

З формули (6) виходить, що сили тяжіння величезні для небесних тіл і нікчемні для молекул, атомів і інших *елементарних частинок.* Так, сила тяжіння між Землею і Місяцем має порядок 1020 *н*, а між двома майже дотичними (*r* = 3 . 10-8 *см)* молекулами *кисню* — порядок 10-32 *н*.

Тяжіння між тілами здійснюється через простір, який, *здавалося б,* не заповнений ніяким матеріальним середовищем. Проте таке уявлення привело б до ідеалізму — до необхідності приписати здійснення взаємодії між тілами якомусь духовному початку. Згідно матеріалістичної філософії, взаємодія між матеріальними тілами може здійснюватися тільки *матеріальним посередником.* В даному випадку таким посередником є *гравітаційне поле* (поле сили тяжіння).

*Гравітаційне поле є особливий вид матерії, за допомогою якого здійснюється взаємне тяжіння тел.* Формально гравітаційне поле можна визначити як простір, в якому діють гравітаційні сили. Проте при цьому треба виразно уявляти, що поле *матеріальне.*

Все сказане повністю відноситься і до іншого виду взаємодії через простір — до електромагнітної взаємодії, яка буде розглянута пізніше. Взагалі сучасна фізика вважає, що існує *два види матерії: речовина і поле.* Властивості поля істотно відрізняються від властивостей речовини. Якщо речовина схильна дії деякого поля, то і саме воно здатне створювати таке поле. Тому всяку взаємодію тіл через простір можна схематично представити таким чином: перше тіло створює поле, яке діє на друге тіло; у свою чергу друге тіло діє своїм Шолом на перше тіло. Взаємостосунки поля з речовиною (частинками) досліджені ще далеко не достатньо.

Вивчення цих взаємостосунків складає одну з найважливіших проблем сучасної фізики. Повертаючись до закону всесвітнього тяжіння і застосовуючи його до випадку взаємодії земної кулі з тілами, розташованими поблизу земної поверхні, одержимо:



де *М —* маса Землі, *R* — її радіус, *т —* маса тіла, *h —* його висота над земною поверхнею. Оскільки *R»h*, той вираз сили тяжіння тіл до Землі можна представити у вигляді:



З іншого боку де g *—* прискорення вільного падіння тіл поблизу земної поверхні. З формул (7) і (8) слідує, що



оскільки γ, *М* і *R —* постійні величини. Таким чином, із закону всесвітнього тяжіння виходить, що поблизу Землі всі тіла падають з однаковим прискоренням *g ≈ 9,8l м/сек2.*

Строго кажучи, завдяки обертанню Землі навкруги своєї осі величина прискорення *g* не є постійною, а дещо змінюється залежно від широти і висоти місця. Приведене значення *g* відповідає широті 45° на рівні моря.

Доцентрова сила

Рівномірний рух тіла по колу характеризується, як ми бачили, доцентровим прискоренням. Сила *будь-якої природи,* що викликає це прискорення називається *доцентровою силою. Вона* прикладена до тіла, направлена до центру кола і, згідно другому закону Ньютона, рівна



де *т —* маса тіла, *aц* — доцентрове прискорення, *v* і ω — лінійна і кутова швидкості, *R* — радіус кола.

Доцентрова сила створюється *зв'язком, що* утримує тіло на колі; вона обумовлена *реакцією* зв'язку на прагнення тіла віддалитися від центру кола. Розглянемо як приклад рух кульки по колу на гумовому шнурку (мал. 3); Повідомимо кульку А швидкість *v* перпендикулярно до шнура (зв'язки) *ОА*, закріпленого в точці О. Шарик почне рухатися за інерцією прямолінійно, віддаляючись від точки *О.* Прицьому шнур розтягуватиметься і виникаюча в ньому пружна сила, перешкоджаючи прямолінійному руху кульки, примусить кульку рухатися по спіралі, що розкручується. Коли зростаюча у міру розтягування шнура сила пружності стане достатньою для того, щоб перешкодити видаленню кульки від точки *О*, він почне рухатися по колу радіусом R. Очевидно, що при цьому пружна сила зв'язку буде рівна доцентровій силі:



Таким чином, в даному випадку роль доцентрової сили грає сила пружності шнура.

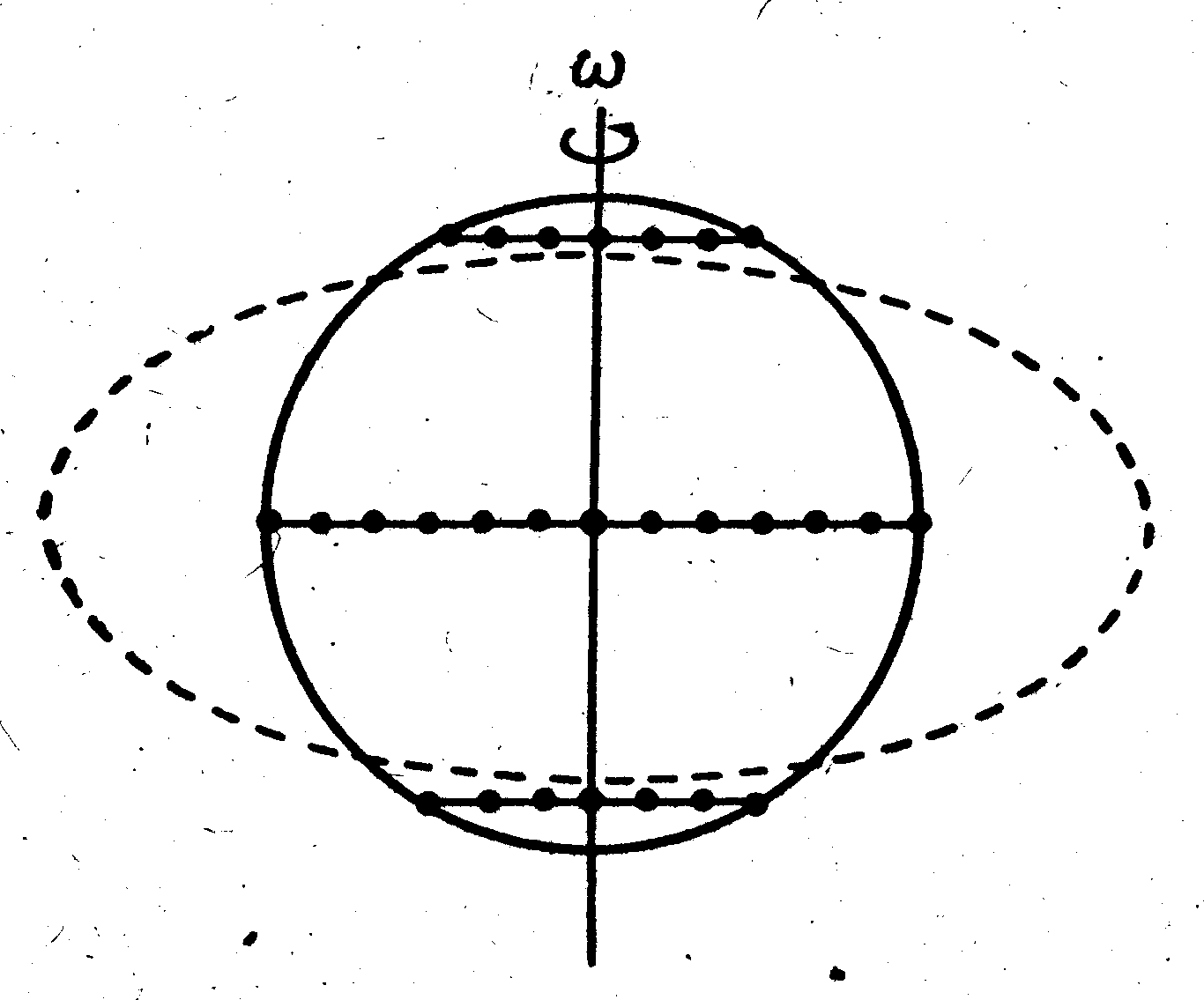
Якщо з якої-небудь причини швидкість кульки зросте до значення *v1>v,* то він знову почне віддалятися від центру *О* по спіралі, поки пружна сила шнура, що додатково розтягнувся, не примусить його рухатися по колу радіусом *R1>R.* При цьому знову сила пружності зв'язку стане рівна доцентровій силі:



На цьому принципі засновано, наприклад, дію відцентрового регулятора (Уатта), в якому зв'язком вантажів з віссю обертання служить система шарнірно-важеля.

При деякій, достатньо великої, швидкості обертання шнур не витримає розтягування і розірветься, а кулька полетить прямолінійно — по дотичній до кола. Саме так летять розжарені частинки — іскри, що відриваються від точильного круга.

Розрив зв'язку може відбутися у махового колеса при дуже великій швидкості обертання. На розриві зв'язку заснована дія таких *відцентрових механізмів*, як, наприклад, сушильна машина, медогонка, молочний сепаратор, відцентровий насос (зокрема, повітряний насос віялки). В сушильній машині зв'язком є зчеплення води з тканиною, в медогонці — зчеплення меду із стільниками, в сепараторі — в'язкість молока, у відцентровому насосі — тертя води (або повітря) об лопаті насоса, що обертаються.



Прикладом природного відцентрового механізму може служити мак-самосейка. Верхівка розгойдуваної вітром рослини швидко описує кругові дуги. При цьому стигле насіння, пов'язане з коробочкою тільки тертям, розкидається через верхні отвори коробочки по дотичних до цих дуг.

Розглянемо ще один приклад — обертання еластичної гумової кулі з кутовою швидкістю ω навколо осі, що проходить через його центр (мал. 4). В думках розіб'ємо кулю на маленькі частинки — кульки однакової маси і уявимо, що зчеплення між ними забезпечується гумовими шнурами (зв'язками), до яких ці кульки прикріплені. Оскільки маси і кутові швидкості у всіх кульок однакові, то, згідно формулі (10), найбільша доцентрова сила діятиме на кульки, які найбільш віддалені від осі обертання. Таких кульок найбільше в екваторіальному шарі кулі і найменше всього в «приполярних» шарах.

Тому зв'язки розтягнуться найбільше в екваторіальному шарі і менше всього в приполярних. В результаті куля прийме форму *еліпсоїда обертання.* Аналогічно деформується земна куля: він розтягнуть у екватора і приплюснуть у полюсів так, що екваторіальний радіус на 1/300 більше полярного.

На закінчення відзначимо, що, згідно третьому закону Ньютона, разом з доцентровою силою, прикладеною до тіла, виникає рівна їй по величині, але протилежно направлена сила, *прикладена до зв'язку; вона називається відцентровою силою.*

Інерціальні і неінерціальні системи відліку. Сили інерції

Система відліку, що рухається (щодо зірок) рівномірно і прямолінійно (тобто за інерцією), називається *інерціальною*. Очевидно, що таких систем відліку – незліченна множина, оскільки будь-яка система, що рухається щодо деякої инерциальной системи відліку рівномірно і прямолінійно, теж буде инерциальной. Системи відліку, що рухаються (щодо инерциальной системи) з прискоренням, називаються неинерциальными*.*

Досвід показує, що *у всіх інерціальних системах відліку всі механічні процеси протікають абсолютно однаково (за однакових умов).* Цеположення, назване механічним принципом *відносності (*або принципом *відносності Галілея), було сформульовано* в 1636 р. Галілеєм. Галілей *пояснював* даний принцип на прикладі механічних процесів, що скоюються в каюті корабля, що пливе рівномірно і прямолінійно по спокійному морю. Для спостерігача, що знаходиться в каюті, коливання маятника, падіння тіл і інші механічні процеси протікатимуть точно так, як і на нерухомому кораблі. Тому, спостерігаючи ці процеси, неможливо встановити ні величину швидкості, ні навіть сам факт руху корабля. Щоб судити про рух корабля щодо якої-небудь іншої системи відліку (наприклад, поверхні води), необхідно вести нагляди і за цією системою (бачити, як віддаляються предмети, що лежать на воді, і т. п.).

До початку XX сторіччя з'ясувалося, що не тільки механічні, але і теплові, електричні, оптичні і всі інші процеси і явища природи протікають абсолютно однаково у всіх інерціальних системах відліку. На цій підставі *Ейнштейн* *в* 1905р. сформулював узагальнений *принцип відносності*, названийзгодом *принципом відносності Ейнштейна:*

*у всіх інерціальних системах відліку всі фізичні процеси протікають абсолютно однаково (за однакових умов).*

Цей принцип разом з положенням про незалежність швидкості розповсюдження світла у вакуумі від руху джерела світла ліг в основу *спеціальної теорії відносності,* розробленої Ейнштейном.

Закони Ньютона і інші розглянуті нами закони динаміки виконуються *тільки в інерціальних системах відліку.* В неінерціальних системах відліку ці закони, взагалі кажучи, вже несправедливі. Розглянемо простий приклад, що пояснює останнє твердження.

На абсолютно гладкій платформі, що рухається рівномірно і прямолінійно, лежить куля масою *т*;на цій же платформі знаходиться спостерігач. Інший спостерігач стоїть на Землі недалеко від місця, мимо якого незабаром повинна пройти платформа. Очевидно, що обидва спостерігачі пов'язані зараз з інерціальними системами відліку.

Нехай тепер у момент проходження мимо спостерігача пов'язаного із Землею, платформа почне рухатися з прискоренням *а*, тобто зробиться *неінерціальною* системою відліку. При цьому куля, що раніше покоїлася щодо платформи, прийде (щодо неї ж) в рух з прискоренням а, протилежним по напряму і рівним по величині прискоренню, придбаному платформою. З'ясуємо, як виглядає поведінка кулі з точок зору кожного з наших спостерігачів.

Для спостерігача, пов'язаного з інерціальною системою відліку – Землею, куля продовжує рухатися рівномірно і прямолінійно в повній відповідності із законом інерції (оскільки на нього не діють ніякі сили, окрім сили тяжіння, врівноважуваною реакцією опори).

Спостерігачу, пов'язаному з *неінерціальною* системою відліку – платформою, представляється інша картина: куля приходить в рух і придбаває прискорення – *а без дії сили* (оскільки спостерігач не знаходить дії на кулю яких-небудь інших тіл, що повідомляють кулю прискорення). Це явно суперечить закону інерції. Не виконується і другий закон Ньютона: застосувавши його, спостерігач одержав би, що *0* (сила) *= – ma*, а це неможливо, оскільки ні *m*, ні *а* не рівні нулю.

Можна, проте, зробити закони динаміки застосовними і для опису рухів в *неінерціальних* системах відліку, якщо ввести в розгляд сили особливого роду — *сили інерції.* Тоді в нашому прикладі спостерігач, пов'язаний з платформою, може вважати, що куля прийшла в рух під дією сили інерції



Введення сили інерції дозволяє записувати другий закон Ньютона (і його слідства) в звичайній формі ; тільки під діючою силою треба тепер розуміти *результуючу «*звичайних» сил (F) і сил інерції (Fі):



де *m* — маса тіла, *а* — його прискорення.

Сили інерції ми назвали силами «особливого роду», по-перше, тому, що вони діють тільки в неінерціальних системах відліку, і, по-друге, тому, що для них на відміну від «звичайних» сил неможливо вказати, дією яких саме інших тіл (на дане тіло) вони обумовлені. Очевидно, з цієї причини до сил інерції неможливо застосувати третій закон Ньютона (і його слідства); це є третьою особливістю сил інерції.

Неможливість вказати окремі тіла, дією яких (на дане тіло) обумовлені сили інерції, не означає, звичайно, що виникнення цих сил взагалі не пов'язано з дією яких-небудь матеріальних тел. Є серйозні підстави припускати, що сили інерції обумовлені дією всієї сукупності тіл Всесвіту (масою Всесвіту в цілому).

Річ у тому, що між силами інерції і силами тяжіння існує дуже велика схожість: і ті і інші пропорційні масі тіла, на яке вони діють, і тому прискорення, повідомляється тіло кожної. З цих сил, не залежить від маси тіла. За певних умов ці сили взагалі неможливо розрізнити. Хай, наприклад, десь в космічному просторі рухається *з прискоренням* (обумовленим роботою двигунів) космічний корабель. Космонавт, що знаходиться в ньому, при цьому випробовуватиме силу, що притискує його до «підлоги» (задньої по відношенню до напряму руху стінці) корабля. Ця сила створить точно такий же ефект і викличе у космонавта такі ж відчуття, які викликала б відповідна сила тяжіння.

Якщо космонавт вважає, що його корабель рухається з прискоренням *а* щодо Всесвіту, то він назве діючу на нього силу *силою інерції. Якщо ж космонавт вважатиме свій корабель нерухомим, а Всесвіт — що мчить мимо корабля з таким же прискоренням а*, то він назве цю силу *силою тяжіння.* І обидві точки зору будуть абсолютно рівноправними. Ніякий експеримент, виконаний усередині корабля, не зможе довести правильність однієї і помилковість іншої точки зору.

З розглянутого і інших аналогічних прикладів витікає, що *прискорений рух системи відліку еквівалентний (по своїй дії на тіла) виникненню відповідних сил тяжіння.* Це положення одержало назву *принципу еквівалентності сил тяжіння і інерції (принципу еквівалентності Ейнштейна); даний принцип* ліг в основу загальної теорії *відносності.*

Сили інерції виникають не тільки в тих, що прямолінійно рухаються, але і в неінерціальних системах відліку, що обертаються. Хай, наприклад, на горизонтальній платформі, що може обертатися навкруги вертикальної осі, лежить тіло масою m*,* пов'язане з центром обертання Про *гумовим* шнуром (мал. 5). Якщо тепер платформа почне обертатися з кутовою швидкістю *ω* (і, отже, перетвориться на неинерциальную систему), то завдяки тертю тіло теж буде залучено в обертання. Разом з тим воно переміщатиметься в радіальному напрямі від центру платформи до тих пір, поки зростаюча сила пружності шнура, що розтягується, не зупинить це переміщення. Тоді тіло обертатиметься на відстані *r* від центру *О*.

З погляду спостерігача, пов'язаного з платформою, переміщення кулі щодо платформи обумовлено деякою силою *Fц.і..* Це є *сила інерції,* оскільки вона не викликана дією на кулю інших певних тіл; її називають *відцентровою силою інерції.* Очевидно, що відцентрова сила інерції рівна по величині і протилежна по напряму силі пружності розтягнутого шнура, що грає роль доцентрової сили, яка діє на тіло, що обертається по відношенню до инерциальной системи. Тому



отже, відцентрова сила інерції пропорційна відстані тіла від осі обертання.

Підкреслимо, що відцентрову силу інерції не слід змішувати з «звичайною» відцентровою силою. Це сили різної природи, прикладені до різних об'єктів: відцентрова сила інерції прикладена до тіла, а відцентрова сила — до зв'язку.

На закінчення відзначимо, що з позиції принципу еквівалентності сил тяжіння і Інерції просте пояснення одержує дію всіх *відцентрових механізмів:* насосів, сепараторів і т.п.

Будь-який відцентровий механізм можна розглядати як обертається неинерциальную систему, що викликає появу поля тяжіння радіальної конфігурації, яке в обмеженій області значно перевершує поле земного тяжіння. В цьому полі більш щільні частинки середовища, що обертається, або частинки, слабко пов'язані з нею, відходять до її периферії (як би йдуть «на дно»).

Вага тіл. Рівняння сили тяжіння. Невагомість

Введення сил інерції спрощує і робить більш наочним рішення цілого ряду питань і задач про рух тіл в *неінерціальних системах.* Одержимо зараз

уточнені вирази ваги тіла і прискорення сили тяжіння.

Сила, з якою тіло притягується до Землі, називається *силою тяжіння.* Вага тіла рівна силі, з якою нерухоме щодо Землі і тіло, що знаходиться в пустці, тисне на горизонтальну опору внаслідок тяжіння до Землі. Таким чином, вага тіла *рівна* силі тяжіння; тому ми часто користуватимемося цими термінами, як рівнозначними.

Якби Земля не мала добового обертання, то вага тіла дорівнювала б силі тяжіння тіла до Землі, визначуваної по формулі (7). Завдяки добовому обертанню Землі (в якому беруть участь і всі земні тіла) на тіло *М*, що лежить на земній поверхні, окрім сили тяжіння *F*, направленої по радіусу *R* до центру *О* Землі, діє відцентрова сила інерції *Fц.і*, направлена по лінії продовження радіусу *r* від осі обертання Землі. Розкладемо *Fц.і* на дві складові: *F’ц.і* — у напрямі радіусу *R* і *F’’ц.і*— у напрямі, перпендикулярному *R*. Складова врівноважується силою тертя тіла об земну поверхню; становляча *Fц.і* протидіє силі тяжіння тіла до Землі. Тому сила тяжіння тіла до Землі, тобто вага *P* тіла, виразиться різницею сили тяжіння *F* і становлячої відцентрової сили інерції *F* '*ц.і*:



де φ — географічна широта місцезнаходження тіла, *т* — маса тіла. Враховуючи формули (7) і (12), одержимо



де ω = 7,3. 10 -5 *рад/сек* — кутова швидкість добового обертання Землі. Але

*r =* *R*.*cosφ*, тому



на екваторі



Оскільки прискорення сили тяжіння , то



Отже, прискорення сили тяжкості також зменшується від полюса до екватора. Правда, це зменшення таке мале (не перевищує 0,5%), що в багатьох практичних розрахунках, його не враховують.

За допомогою сил інерції можна просто пояснити так званий «*стан невагомості».* Тіло, схильне цьому стану, не чинить тиску на опори, навіть знаходячись в зіткненні з ними; при цьому тіло не випробовує деформації.

Стан невагомості наступає у разі, коли на тіло діє *тільки* сила тяжіння, тобто коли тіло вільно *рухається* в полі тяжіння.

Це має місце, наприклад, в штучному супутнику Землі, виведеному на орбіту і вільно що рухається в полі земного тяжіння, тобто що обертається навкруги Землі.

При обертальному русі виникає, як ми вже знаємо, відцентрова сила інерції. Оскільки відцентрова сила інерції, діюча *на кожну частинку тіла, що* знаходиться в супутнику (і самого супутника), рівна по величині і протилежна по напряму силі тяжіння, діючій *на* відповідну частинку, то ці сили взаємно врівноважуються. В результаті тіло не піддається деформацій і не чинить тиску на стінки супутника (і інші можливі опори), тобто воно виявляється невагомим.

Невагомими стають і тіла, що знаходяться в космічному кораблі, *вільно* (з вимкненими двигунами) що переміщається *по будь-якій траєкторії* в безповітряному просторі в полі тяжіння. Зрозуміло, що разом зі всіма тілами, що знаходяться в кораблі, стає невагомим і космонавт.

Фізіологічне відчуття невагомості у космонавта виражається у відсутності звичних напруг і навантажень, які обумовлені . силою тяжкості. Припиняється деформація внутрішніх органів, зникає постійна напруга ряду скелетних м'язів, порушується діяльність вестибулярного апарату (забезпечуючої відчуття рівноваги людини), пропадає відчуття «верху» і «низу», ускладнюється здійснення деяких природних функцій організму. Такі звичні дії, як, наприклад, виливання води з судини, теж викликають утруднення; воду тепер доводиться буквально витрушувати із посудини.

Для усунення перерахованих і інших труднощів при *тривалому* перебуванні людини в космосі на космічній станції передбачається створювати штучну «ваговитість». З цією метою станцію конструюватимуть у вигляді великого диска, що *обертається,* з робочими приміщеннями, розташованими на його периферії. Виникаюча при цьому відцентрова сила інерції виконуватиме роль недістаючої сили тяжіння.

З обертанням Землі навкруги своєї осі зв'язано ще одне важливе явище: відхилення тіл, що рухаються по земній поверхні, від первинного напряму. Нехай тіло масою *m*, рухаючись прямолінійно в північній півкулі, наприклад уздовж меридіана, перемістилося з широти *φ1* якій відповідає лінійна швидкість обертання *v1* на широту *φ2*, якій відповідає швидкість *v2* (мал. 6). Зберігаючи за інерцією свою первинну швидкість обертання *v1,* тіло матиме на широті *φ2* велику швидкість обертання, ніж земна поверхня, що знаходиться під ним. Інакше кажучи, на широті *φ2* тіло придбаває прискорення *ак* щодо земної поверхні, направлене управо перпендикулярно до переміщення *s* тіла. В результаті тіло відхилиться вправо від первинного (меридіонального) напряму руху і його траєкторія (щодо земної поверхні) виявиться криволінійною. Спостерігач, пов'язаний ізЗемлею (і тому що не помічає її обертання), що *обертається,* пояснить дане явище дією на тіло деякої сили інерції, направленої управо перпендикулярно до швидкості *переміщення* тіла і рівної по величині *FK = maK*. Ця сила одержала назву коріолисової сили, або *сили* *Коріоліса*.

Сила Коріоліса діє тільки натіла, що *рухаються* (щодо Землі)*.* Будучи перпендикулярною до швидкості руху тіла, вона змінює тільки напрям, але не величину цієї швидкості; в північній півкулі кориолисова сила направлена управо, в південній півкулі — вліво. Щоб уникнути непорозумінь підкреслимо, що сила Коріоліса виникає при будь-якому (а не тільки при меридіональному) напрямі руху тел.

Величина сили Коріоліса пропорційна швидкості руху тіла його масі і кутовій швидкості добового обертання Землі. Оскільки кутова швидкість обертання Землі невелика, сила Коріоліса може приймати великі значення і викликати істотні відхилення тільки у тіл, що рухаються з великою швидкістю (наприклад, у міжконтинентальних балістичних ракет, що знаходяться у польоті).

Якщо рух тіла на земній поверхні обмежений (в бічному напрямі) яким-небудь зв'язком, то тіло тиснутиме на цей зв'язок з силою, рівній коріолисовій силі. При *тривалій* дії сила Коріоліса, не дивлячись на неї порівняльно малу величину, викликає помітний ефект. Завдяки ній річки *північної* півкулі підмивають *праві* береги *(закон Бера)*, а повітряні течії придбавають праве обертання (за годинниковою стрілкою). Дією сили Коріоліса обумовлений і підвищений знос правої рейки залізничних *колій* в північній півкулі.

Приклади розв’язку задач

Задача1. До сухожилля завдовжки *l* = 12 *см* і діаметром *d =* 1,6 *мм* підвісили вантаж *F* = 68,6 *н.* При цьому воно подовжилося до *l1* = 12,3 *см.* Визначити Модуль Юнга *Е* сухожилля.

Розв’язок. Сухожилля піддається деформації одностороннього розтягування, тому, згідно формулі (4)

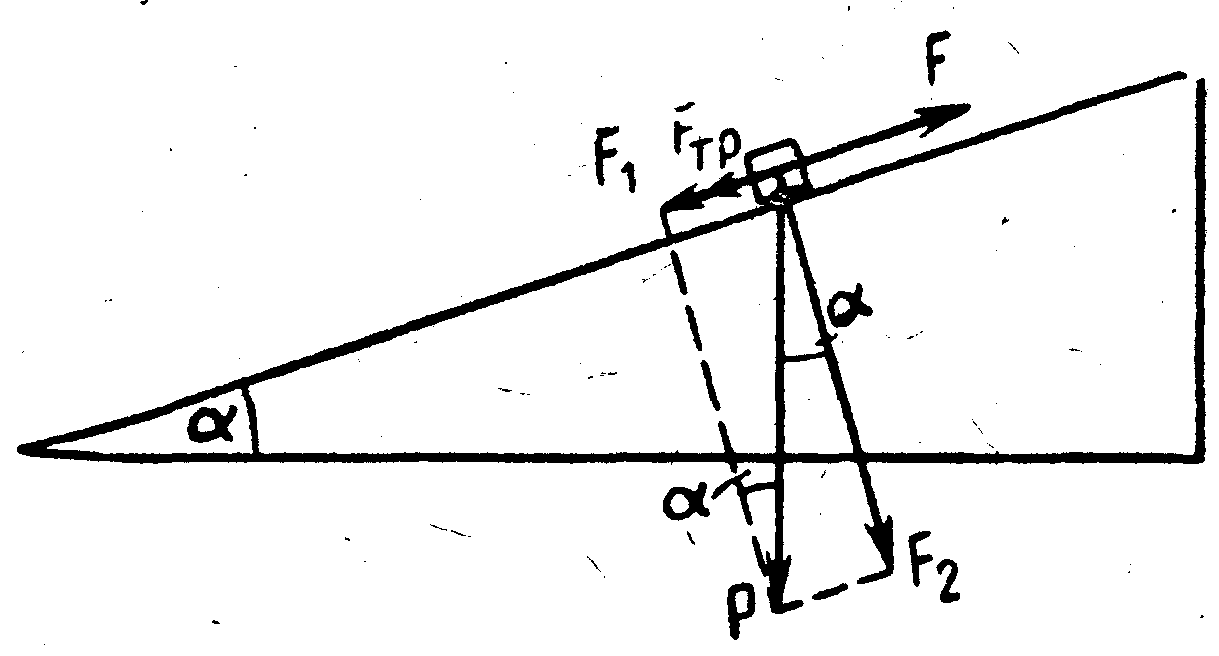
де *S* — площа поперечного перетину, Δ*l* — величина подовження сухожилля.



Оскільки



а то



Задача 2**.** Знайти силу тяги *F*, що розвивається мотором автомобіля, який рухається вгору з прискоренням *а = 1 м/сек 2* (мал. 21). СУхил гори рівний 1 *м* на кожні 25 *м* шляху. Вага автомобіля *P* = 9,8 . 103*н*. Коефіцієнт тертя *k* = 0,1.

Розв’язок. Розкладемо вагу автомобіля *Р* на дві складові (мал. 7): силу *F1*, що скачує автомобіль з гори (паралель поверхні гори), і силу *F2*, що притискує його до поверхні гори, тобто силу нормального тиску (перпендикулярна до поверхні гори). Мотор автомобіля, що рухається в гору, повинен долати скачуючу силу *F1* і силу тертя *Fтр*; крім того, він повинен забезпечити автомобілю прискорення а. Тому сила тяги



де Fа — сила, що повідомляє автомобіль прискорення *а.*

Кут *а* нахилу гори рівний куту між силами *F2* і *P* (кути з взаємно перпендикулярними сторонами), а по умові задачі



По другому закону Ньютона, де *т -* маса автомобіля і *g –* прискорення вільного падіння.



Згідно формулі (5)

Тоді можемо написати



Задача 3. Визначити лінійну швидкість *v* руху Землі навкруги Сонця, приймаючи масу Сонця *М* = 2 . 10 30 *кг* і відстань Землі та Сонця *R* = 1,5 . 108 *км.* Орбіту Землі вважати круговою.

Розв’язок. На орбіті Землю утримує доцентрова сила *Fц*, роль якої грає сила тяжіння Сонця *F.* Тому *Fц* = *F.* Але, згідно формулам (7) і (10)



і

де *m* — маса Землі, γ = 6,67 . 10 -11 *м3/(кг .* сек2*)* є гравітаційна постійна.

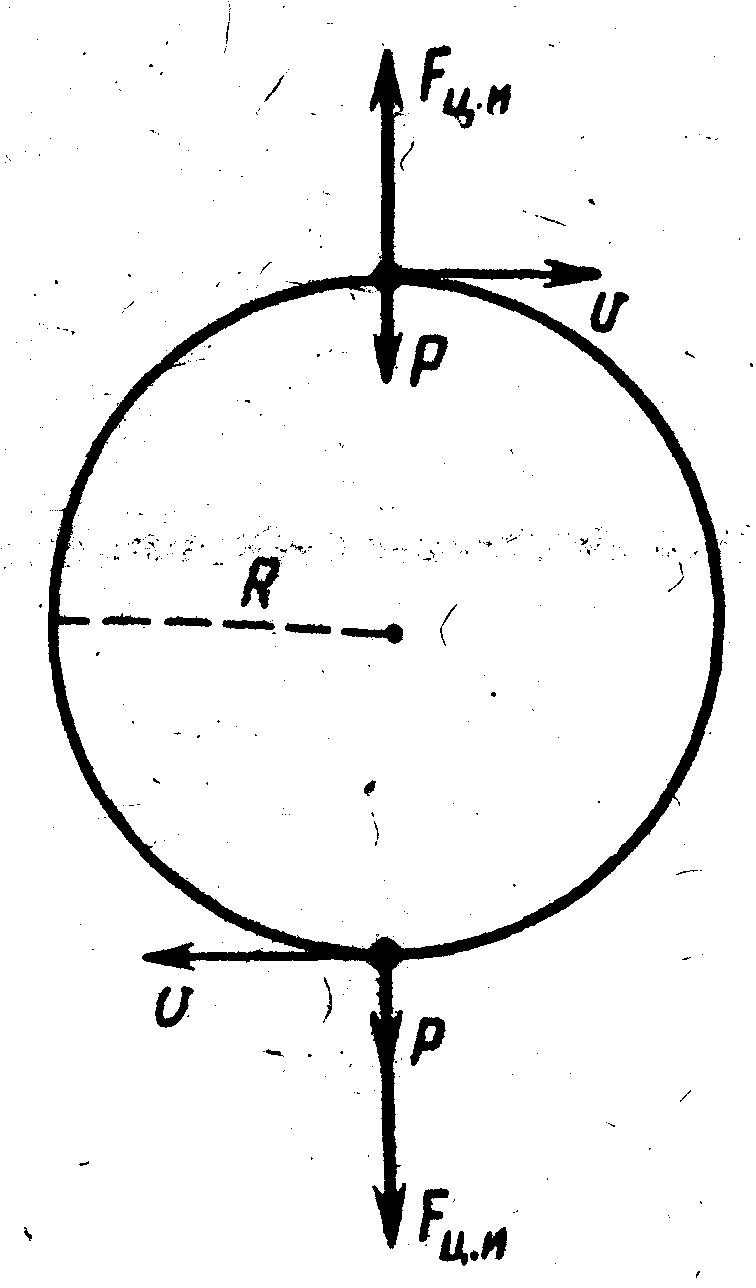
Тоді



звідки



З



Задача 4. Льотчик вагою *Р* = 70 *кг* описує в літаку, що летить з швидкість v *=* 360 км/ч*, вертикальну* петлю Нестерова радіусом R *= 400 м (*мал. 8). Визначити силу, що притискує льотчика до сидіння у верхній і в нижній точках цієї петлі.

Розв’язок. При рішенні цієї задачі скористаємося уявленням про сили інерції. В неинерциальной системі відліку — літаку, що робить вертикальну петлю Нестерова, — на льотчика діють дві сили: його вага *Р* і *відцентрова сила інерції* Fц.и. Тому сила *F*, що притискує льотчика до сидіння в будь-якій точці петлі, рівна геометричній сумі сил Fц.и і *Р.*

З мал. 22 виходить, що у верхній точці петлі ця сила рівна *F1* = Fц.и – *Р*, а в нижній крапці — *F2 =* Fц.и + *Р.*

Оскільки відцентрова сила інерції виражається тією ж формулою (10), що і доцентрова сила, то



мал. 8

де *m –* маса льотчика.

Тоді



**Список використаної літератури:**

1. Р.І. Грабовський. „Курс фізики”. – М., Вища школа, 1970, 616с.