



МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛЕВЕН
ФАКУЛТЕТ „Фармация“
ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ

Лекция №2

Физика и биофизика

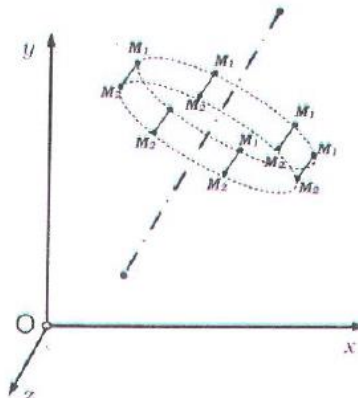
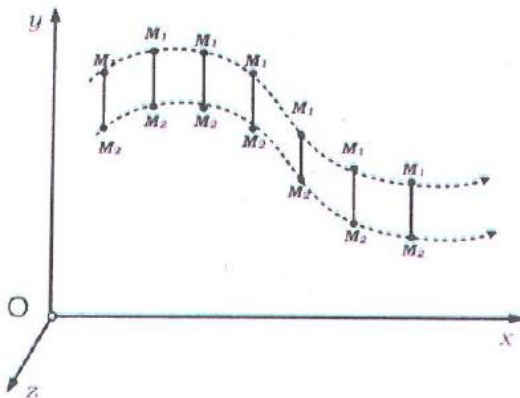
Механика на твърдите тела. Сила и маса. Момент на тяло и импулс на сила. Основни закони в динамиката на линейните движения - за инерцията, за ускорението, за действието и противодействието. Динамика на въртеливите движения. Въртящ момент на сила и инерчен момент. Центростремителни и центробежни сили. Центрофугиране: принцип, центрофуги, скорост на седиментация. Методи за разделяне на хетерогенни течни фармацевтични препарати.

Проф. Константин Балашев, дхн

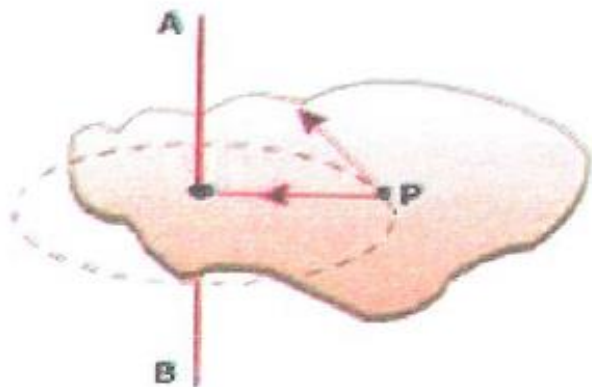
ВИДОВЕ МЕХАНИЧНИ ДВИЖЕНИЯ

В зависимост от протичането им в пространството се различават *постъпателни* и *въртеливи*, *възвратно-постъпателни* и *възвратно-въртеливи* движения.

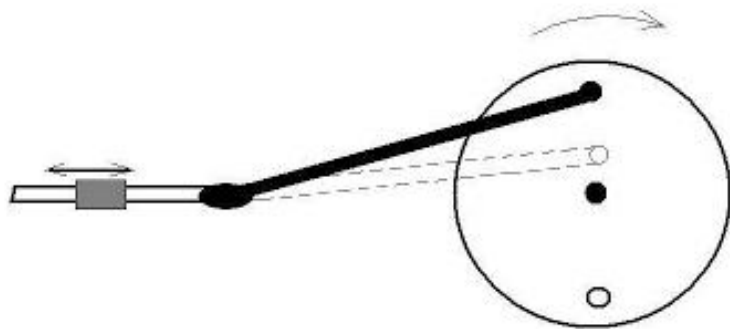
А в зависимост от протичането им във времето движенията могат да бъдат класифицирани в други две големи групи: *равномерни* и *неравномерни*.



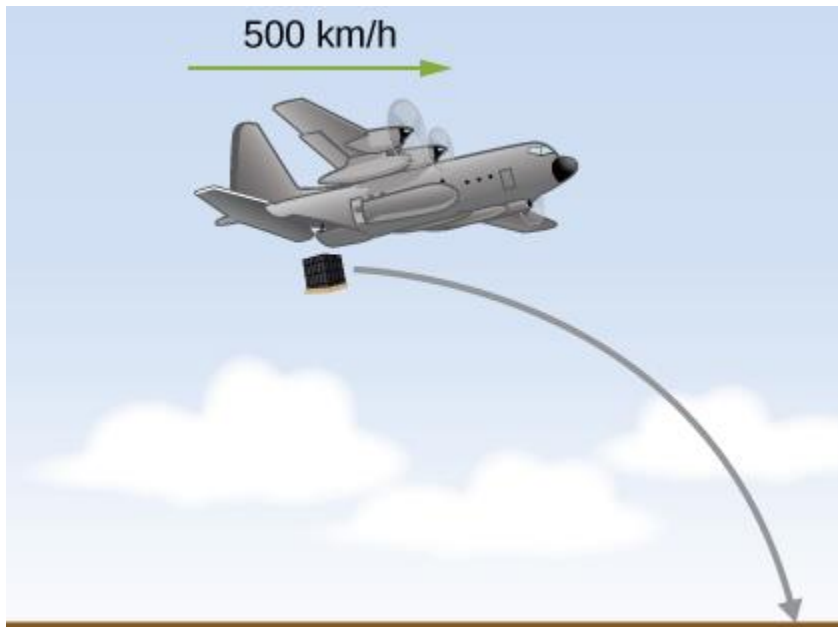
За **постъпателните** (или **транслационни**) движения е характерно, че всички точки на тялото се движат по успоредни траектории и отсечка, съединяваща две произволни точки от тялото, се премества успоредно сама на себе си.



За **въртеливите** (или **ротационни**) движения е характерно, че всички точки на тялото се движат по *коаксиални траектории*, т.е. тялото и всички негови точки се въртят около някаква ос.



Сложните пространствени движения са комбинация от постъпателни и въртеливи движения. Има и **възвратно-постъпателни** и **възвратно-въртеливи** движения. Те са по-сложни пространствени комбинации от постъпателни и въртеливи движения, които сменят посоката си.

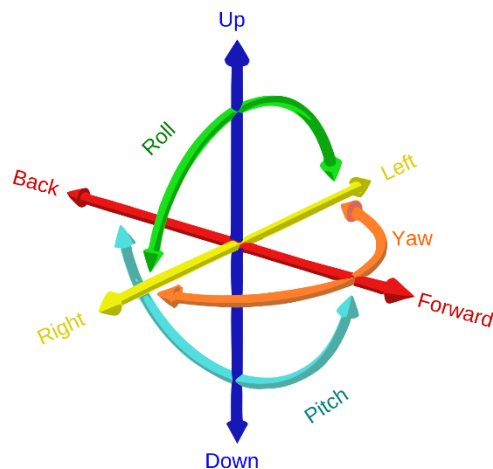


При **равномерните** движения за равни интервали от време се изминават равни пътища, а при неравномерните - различни. От своя страна **неравномерните** движения биват равнопроменливи и неравнопроменливи. При равнопроменливите за равни интервали от време изменението на скоростта е постоянно, а при неравнопроменливите - не. В зависимост от знака на ускорението неравномерните движения могат да бъдат *ускорителни* или *закъснителни*.

СТЕПЕНИ НА СВОБОДА НА ДВИЖЕНИЕ

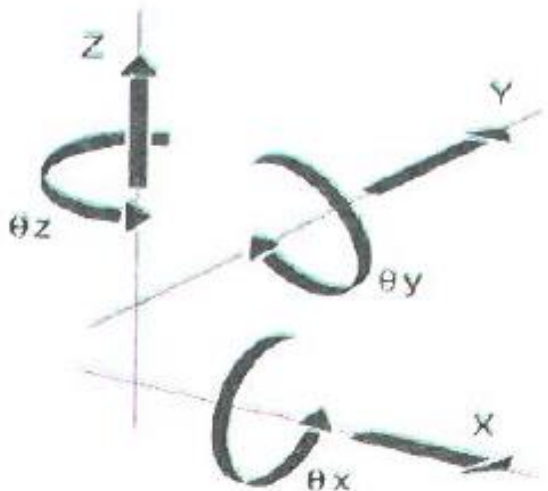
Основни критерии, по които се оценяват възможностите за движение, са:

- > **степените на свобода на движението и**
- > **диапазона на движение по всяка степен на свобода.**



Степените на свобода на движение на дадено тяло представят броя независими променливи координати, които определят движението (изменението на позицията) на тялото в пространството.

Диапазонът на движение по всяка степен на свобода определя възможната амплитуда на движение по тази степен.



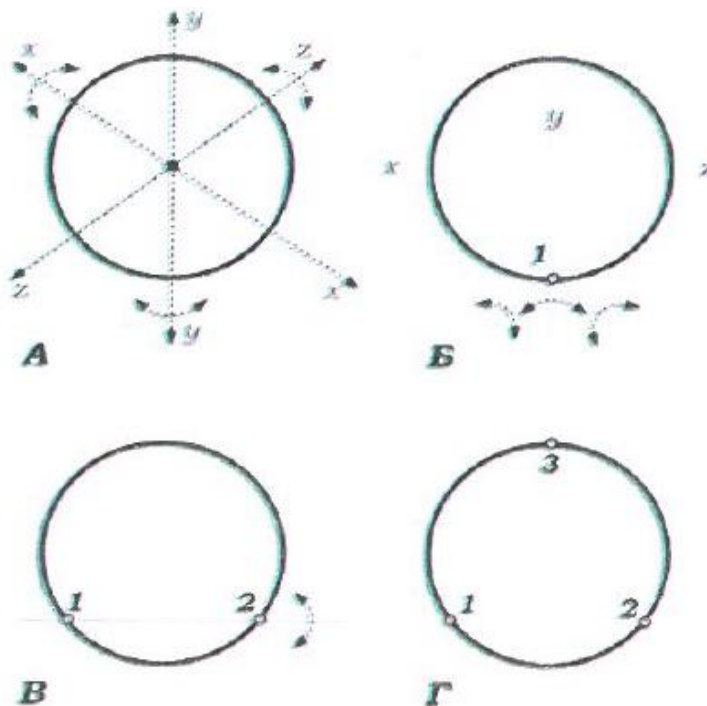
Положението на материална точка в **триизмерно пространство** се описва с 3 независими координати (x , y , z). Следователно, нейното движение има 3 степени на свобода (по осите Ox , Oy и Oz). Система, съставена от N свободни материални точки има $3N$ степени на свобода. Например система, съставена от две свободни материални точки, има шест степени на свобода

Ако движението на материална точка е ограничено само в една повърхност, нейното положение в това **двуизмерно пространство** се описва с две координати (x, y) и съответно ще има две степени на свобода.

Ако материална точка е ограничена в движението си само по линия в **едномерно пространство**, тя има само една степен на свобода на движение.

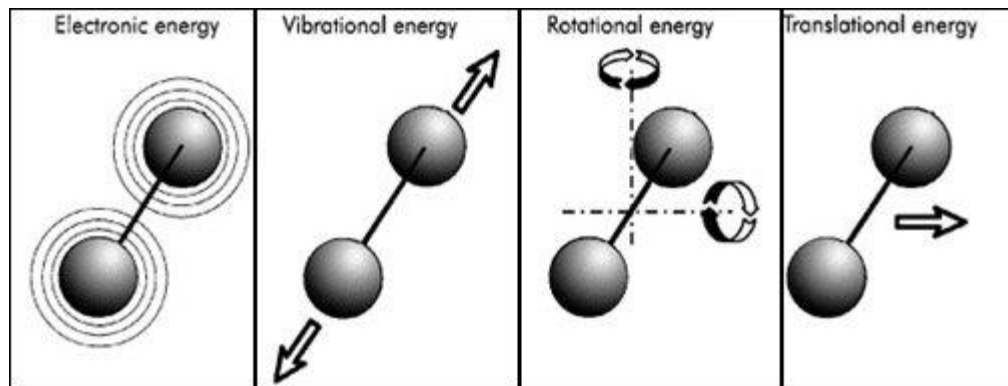
Всяко реално свободно тяло има 6 степени на свобода. Те се определят не само от трите възможни трансляционни премествания по перпендикулярните оси (Ox , Oy и Oz) в тримерното физическо пространство, но и от трите възможни въртеливи движения около тези оси. Всяка степен включва движението по двете посоки на даденото направление.

От кинематична гледна точка всяко свободно разположено в пространството тяло има възможност за 6 свободни движения - три трансляционни (по всяка от трите координатни оси) и три ротационни (по една около всяка от тях). Казва се, че то притежава 6 степени на свобода на движение. Всяка степен включва възможност за движение и в двете посоки на даденото направление.



Пример за свободно тяло е летяща във въздуха топка (виж фигурата, позиция **А**). Ако тялото се фиксира в една точка, то загубва възможността да се движи постъпателно, но запазва възможности за въртеливи движения около трите координатни оси (**Б**). Такова тяло притежава три степени на свобода на движение. Ако тялото е фиксирано в две точки, то запазва само една степен на свобода - въртене около ос, която преминава през двете точки (**В**). При фиксиране на тялото в три точки, които не лежат на една права, то загубва всичките си 6 степени на свобода (**Г**).

Броят на степените на свобода е свързан с гъвкавостта и адаптивността на движението. Човешката ръка, която представлява кинематична верига от последователно разположени кости, свързани чрез стави, има 7 степени на свобода. Само 3 от тях са достатъчни за да се придвижи ръката до всяка точка от пространството, но чрез останалите тя получава възможността да хваща предмети от различни посоки и под различни ъгли.



Механичните системи могат да притежават и повече степени на свобода. Например, водородната молекула има общо 12 степени на свобода - 6 транслационни, 4 ротационни и 2 вибрационни.

ДИНАМИЧНИ ПАРАМЕТРИ НА ДВИЖЕНИЕТО

Динамиката изучава причините за движението на телата, т.е. тя се занимава с взаимодействията между телата (силите), които предизвикват или повлияват техните движения. В допълнение на кинематиката, която отговаря на въпроса **как** се извършва движението, динамиката изяснява **защо** става това.

Динамиката е изградена върху три основни принципа, известни още като **закони на Нютон в механиката**. Те дефинират причините, които пораждат, прекратяват или изменят движението на телата.

Всички взаимодействия между телата, които водят до изменения на тяхното положение или състояние на движение, са свързани с две динамични характеристики: **сила** и **маса**.

Сила

За да се характеризира количествено действието на едно тяло върху друго, се въвежда величината **сила**.

Силата е проява на въздействието на едно тяло върху друго. Вместо да се каже, че едно тяло въздейства върху друго тяло, казваме, че едно тяло действа с някаква сила върху другото тяло. Величината сила характеризира количествено действието на едно тяло върху друго тяло. Силите не съществуват отделно от телата. Те са само проява на действието на телата едно върху друго.

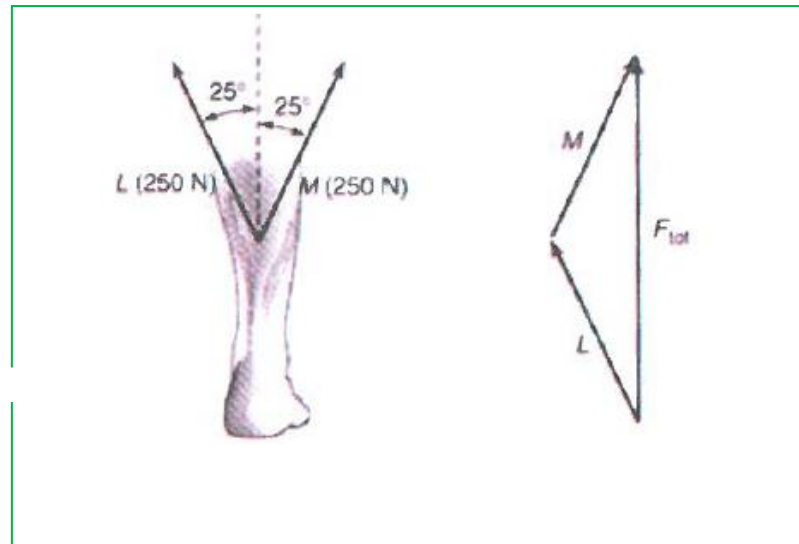
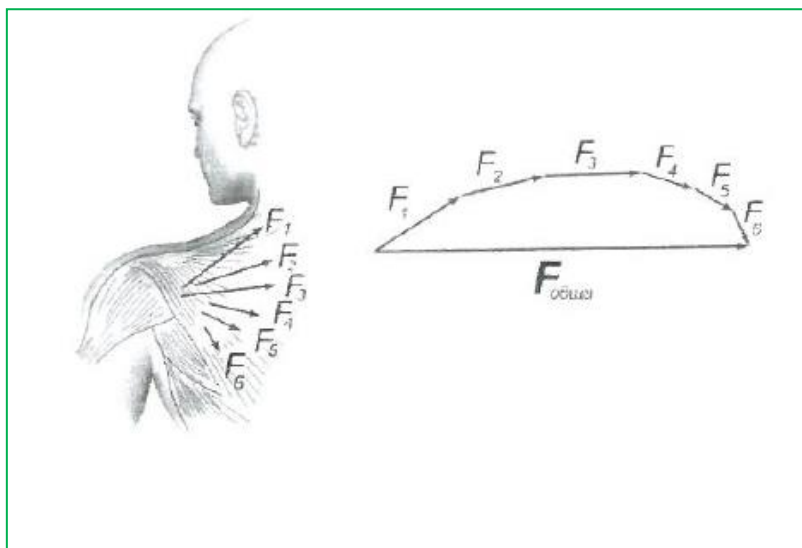
Човек има интуитивна представа за силите и техния ефект. Ние постоянно използваме своите мускули за да въздействаме със сила: да изпием например чаша кафе, да преместим тялото си ходейки или тичайки, да хванем летяща срещу нас топка и т.н. Силата е нещото, което причинява промяна в състоянието на движение. Тя може да увеличи или да намали скоростта на даден обект в зависимост от обстоятелствата. **Силата причинява промяна в състоянието на движение** - тя може да увеличи или намали скоростта на даден обект в зависимост от обстоятелствата. Тя причинява ускорение.

Силата може да причини и деформация на телата, което в крайна сметка пак е движение, но не на цялото тяло, а на негови части една спрямо друга.

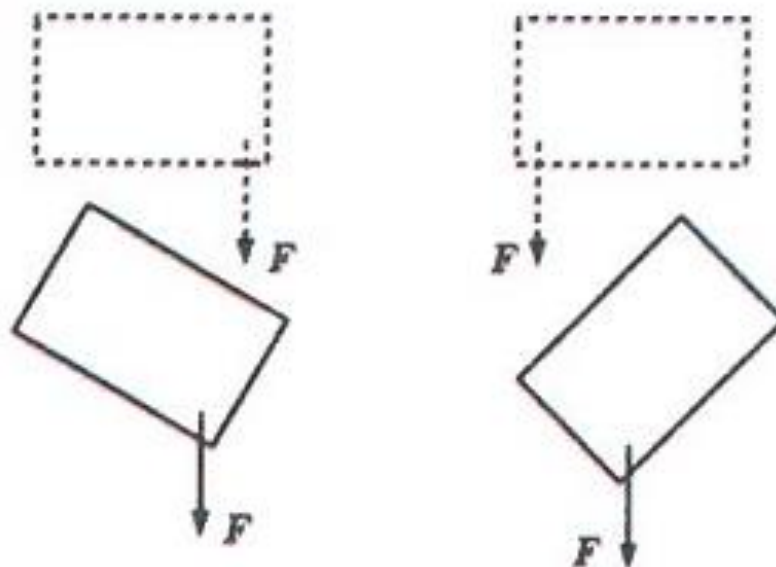
Когато действаща сила променя положението или състоянието на движение на дадено тяло, или го деформира, казваме, че **силата действа динамично**. Ако приложените сили се урівновесяват, тялото не променя своето положение, тогава **силите действат статично**. Уравновесяването на силите дава възможност и за тяхното сравняване.

Силата е векторна величина. Тя има *големина, посока и приложна точка*. Точката от тялото, в която е приложена силата, се нарича приложна точка на силата. Големината на силата определя колко ефективно силата причинява желаното движение, а нейната посока и приложна точка определят посоката на произтичащата промяна в движението (ако има такава).

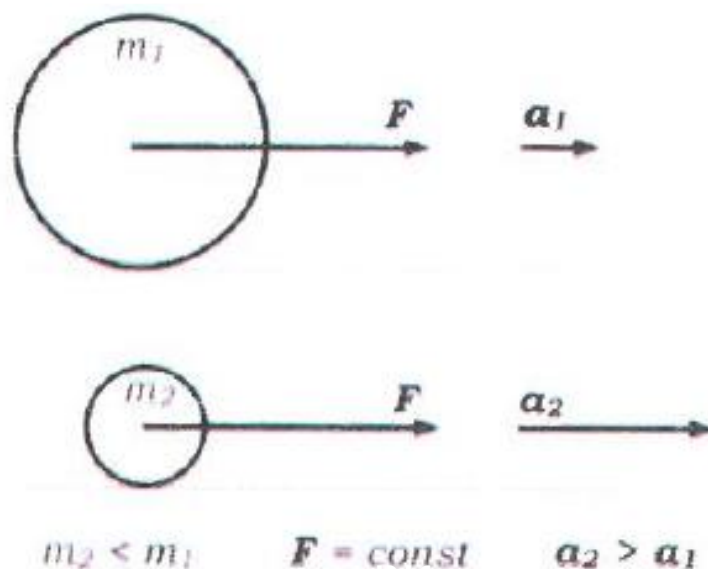
Силата се означава най-често с буквата **F**. Единицата за сила е Нютон (N).



Силите действат независимо една от друга. Всяка сила може да се разложи на няколко слагаеми и обратно - няколко сили могат да се сумират.



Ако при разглеждане движенията на телата отчитаме техните реални размери и форма, то въпросът, къде са приложени действащите върху тях сили, става много важен. Оказва се, че една и съща сила, приложена в различни точки, причинява различни движения. Така че не само големината и посоката на силата определят нейния ефект, но и нейната **приложна точка**. Например, под действие на силата F , приложена в една точка, тялото може да се завърти по посока на часовниковата стрелка; под действие на същата по големина и посока сила, приложена в друга точка, тялото ще се завърти в обратната посока. Има и такива точки от тялото, в които, ако се приложи дадената сила, движението ще е само постъпателно (тялото няма да се върти).



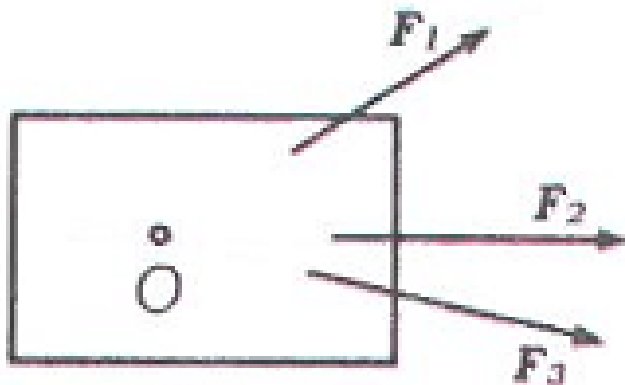
Когато една и съща сила F действа върху различни тела, те получават различни ускорения a_1 и a_2 . Това свойство на телата да получават по-малко или по-голямо ускорение под действието на дадена сила се нарича **инертност** и е характерно за всяко тяло. За тела, които получават по-малко ускорение, казваме, че са по-инертни. За да се характеризира количествено инертността на телата, е въведена физичната величина маса. **Масата е мярка за инертността на телата.** Най-често се означава с буквата m . Единицата за маса е килограм (kg). Масата е скаларна величина. Тя винаги има положителни стойности.

Ако съединим в едно две тела с маси m_1 и m_2 се получава тяло с маса m равна на сумата от масите на двете тела: $m = m_1 + m_2$. Това свойство на масата се нарича **адитивност**.

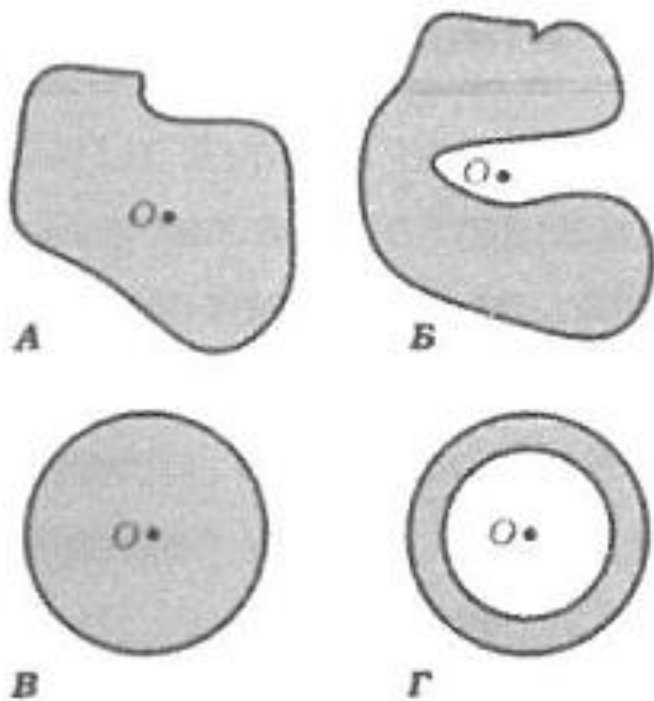
Когато едно тяло се движи със скорост, малка спрямо скоростта на светлината, неговата маса на практика не зависи от скоростта. Но ако се движи със скорост, близка до тази на светлината, масата му се изменя по формулата на Айнщайн: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, където m е

масата на тялото, движещо се със скорост v , m_0 е масата на същото тяло в покой, а c - скоростта на светлината. Нютоновата механика изучава движения на тела със скорости, много по-малки от скоростта на светлината. Затова в нея се приема, че масата на телата е постоянна величина.

При въздействие на външна сила върху материално тяло винаги може да се намери геометрична точка, която да представя движението на цялото тяло като движение на материална точка (както ако в нея би била съсредоточена цялата маса на тялото). Тази точка се нарича **център на масите** на тялото (още и център на инерцията или център на тежестта). Понятието център на масите има значение при изучаване на движението и равновесието на твърдите тела.



Нека върху едно твърдо тяло действат няколко **сили** F_1 , F_2 и F_3 . Те са приложени в различни точки от тялото, но така, че всяка от тях причинява само постъпателно движение на това тяло. Ако се прекарат правите, върху които лежат тези сили, те винаги ще се пресичат в **една точка O**. Това е **общия център на масите** на тялото.



Центърът на масите не е материална точка. Той е геометрична точка, която може да лежи в тялото или извън него. За тела с правилна форма и равномерно разпределение на масите центърът на масите съвпада с геометричния център на тялото.

Сила, чието направление преминава през центъра на масите на едно тяло, предизвиква само трансляция на това тяло. Сила, чиято посока не преминава през центъра на масите, се нарича ексцентрична и, освен трансляция, може да предизвика и ротация на тялото.

Момент на тяло и импулс на сила

Произведението от масата m на едно тяло и неговата линейна скорост v се нарича **линеен момент на тялото** (или **количество на движение**): $p = mv$. Моментът на едно тяло е векторна величина, има посока на неговата скорост и се обозначава най-често с p . Единицата за импулс е килограм по метър в секунда ($\frac{kg \times m}{s}$).

При една и съща скорост моментите на две тела са пропорционални на техните маси. Това обуславя и пропорционален ефект при взаимодействие на тези тела с трето. Да сравним например моментите на футболна топка и лека кола, движещи се с еднаква скорост и оценим резултата от сблъсъка им с неподвижен човек.

Промяна в количеството на движение на едно тяло Δp може да се получи при въздействие върху него със сила F за определен интервал от време Δt . Количествено това въздействие се характеризира чрез величина, наречена импулс на силата. **Импулс на сила** е произведението на силата F и интервала от време Δt , през който тя действа: $F\Delta t$. Измерителна единица за импулс на сила е Нютон по секунда ($N \times s$).

Импулсът на силата, която действа върху дадено тяло, предизвиква промяна в момента на това тяло и определя неговата големина:

$$F\Delta t = \Delta p$$

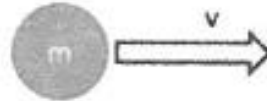
Закон за запазване момента на система от тела

Група от тела, която може условно да бъде отделена по някакъв начин от околната среда, се нарича **механична система**. Телата от системата си взаимодействат с **вътрешни сили**, а силите, с които други тела, които не принадлежат на системата, действат върху нейните тела, са **външни**. Когато в системата действат само вътрешни сили, тя е **затворена**. Ако върху телата от системата действат и външни сили, системата е **отворена**. В природата реално не съществуват затворени системи. Има само системи, които с известно приближение могат да се разглеждат като затворени.

Векторната сума от моментите на всички тела в една механична система ($\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n$) се нарича общ **момент на системата**.

преди сблъсъка:

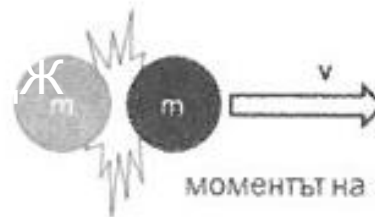
моментът на първата топка е $m \cdot v$



моментът на втората топка е 0

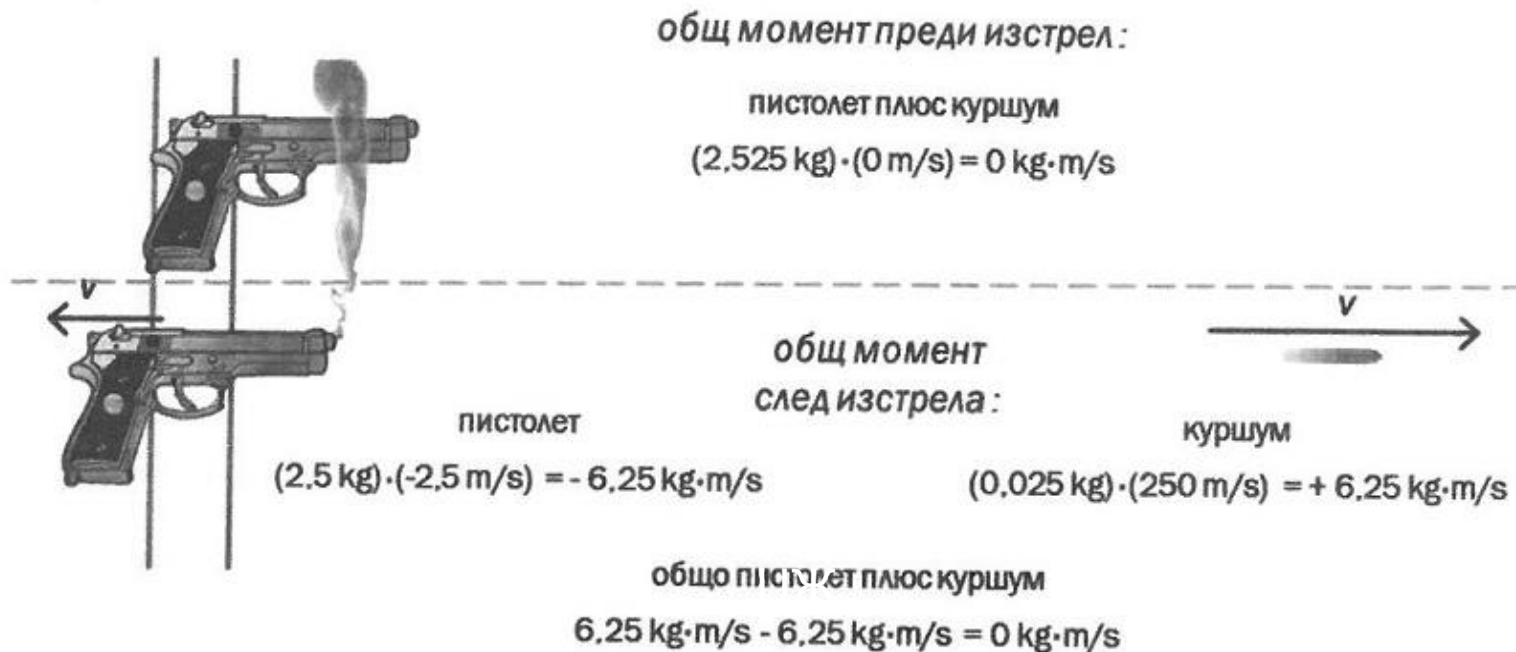
след сблъсъка:

моментът на първата топка е 0



моментът на втората топка е $m \cdot v$

Общият момент на затворена механична система не се променя с времето. Това гласи **законът за запазване на момента**. Под въздействие на вътрешните сили може да се извършва само преразпределение на моментите между телата вътре в системата, но общата сума от тези промени е нула. Например, затворена система от две топки с еднакви маси запазва един и същ момент преди и след сблъсък



При отворена система обаче, сумата от измененията през даден интервал от време може и да не е равна на нула, защото зависи от импулсите на външните сили за този интервал от време.

Фигурата, показана по-горе, също илюстрира закона за запазване на момента в затворена система. За разлика от горния пример, в който тела с равни маси си обменят скорост, системата от пистолет и куршум показва друго разпределение на скоростите след изстрела- обратно пропорционално на техните маси.

ЗАКОНИ НА ДИНАМИКАТА ПРИ ТРАНСЛАЦИОННИТЕ ДВИЖЕНИЯ

Първи принцип на динамиката

Първият основен закон (принцип) на динамиката е открит от Галилей, но Нютон го формулира по нов начин: **Всяко тяло запазва състоянието си на покой или равномерно праволинейно движение, ако върху него не действат други тела.**

Когато тяло е в покой или се движи равномерно праволинейно скоростта му е постоянна по големина и посока. Следователно, ако върху тялото не действат други тела, то запазва скоростта си. Явлението, при което тяло запазва скоростта си постоянна по големина и посока, ако върху него не действат други тела, се нарича **инерция**. Инерцията е причина нещата трудно да спират, както и трудно да се задвижват.

Първият принцип на динамиката се нарича още *принцип за инерцията*.

Втори принцип на динамиката

От първия основен закон на динамиката следва, че когато върху едно тяло не действа друго тяло, то се движи равномерно праволинейно с постоянна скорост и нулево ускорение. Тялото получава различно от нула ускорение, само ако върху него действа друго тяло. Това ускорение може да е различно по големина и посока в зависимост от действието. С други думи, първият принцип на Нютон постановява, че ускорението се дължи на наличието на сили. Той обаче не дава никаква информация за количествената връзка, която вероятно съществува между силите и предизвиканите от тях промени в скоростта.

Вторият закон на Нютон описва количествената релация между сила, маса и ускорение. Във формулировката, дадена му от Нютон, този закон гласи, че **скоростта на промяна на момента на тяло ($\Delta p / \Delta t$) е равна на силата F , действаща върху това тяло: $\Delta p / \Delta t = F$.**

Или, казано по друг начин, **изменението на момента на едно тяло $\Delta(mv)$ е равно на импулса на действащата върху него сила $F\Delta t$: $\Delta(mv) = F\Delta t$.**

Най-често обаче масата на телата не се променя с времето и вторият закон на Нютон може да бъде записан в по-популярната му опростена форма: $F = \frac{m\Delta v}{\Delta t}$ или $F = ma$, където $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ е ускорението. Той показва какво се случва със скоростта на движение на материално тяло с маса m , когато върху него действа сила F .

Ускорението, което получава тяло с маса m , когато върху него действа сила F , е право пропорционално на силата и обратно пропорционално на неговата маса: $a = \frac{F}{m}$.

Тъй като ускорението е векторна величина, неговата посока съвпада с посоката на силата. Масата на тялото (наричана още *инерциална маса*) определя ефекта на силата върху това тяло. Колкото по-голяма е масата, толкова по-трудно може да бъде ускорено тялото.

От втория основен закон на динамиката се вижда, че единицата за измерване на сила трябва да е $\frac{kg \times m}{s^2}$. Дадено ѝ е специалното име *Нютон* (N). $1 N = 1 \frac{kg \times m}{s^2}$ е силата, необходима за ускоряване на тяло с маса $1 kg$ до скорост $1 m/s^2$.

Съгласно втория закон, когато силата, действаща върху едно тяло е нула, то и ускорението е нула. Тъй като $a = \frac{F}{m}$, ако $F = 0$, то и $a = 0$. Това означава, че скоростта му не се променя, което всъщност твърди първият закон. Следователно **първият закон на Нютон е частен случай на втория !**

От втория закон се извежда т.нар. **принцип за независимо действие на силите**. Той може да се формулира в следния вид: *Ано на едно тяло действат едновременно няколко сили, всяка от тях създава независимо от другите ускорение, което има нейната посока и е пропорционално на големината ѝ*. Резултантното движение може да се разгледа като векторна сума от движенията, причинени от всяка сила поотделно. Нека например върху тяло с маса m действат едновременно няколко сили $\mathbf{F}_1 \mathbf{F}_2 \dots, \mathbf{F}_n$. Всички опити показват, че $\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n = m\mathbf{a}$. Това равенство се нарича основно уравнение на класическата динамика.

Вторият принцип на динамиката не е достатъчен за да се опише самостоятелно движението на едно тяло. Необходимо е допълнително да се конкретизират силите, дължащи се на взаимодействия на това тяло с други обекти. Например, нека на едно тяло едновременно действат силата на гравитацията $\mathbf{G}$ и сила на съпротивление $\mathbf{F} = -\lambda\mathbf{v}$, където λ е положителна константа, а $\mathbf{v}$ - скоростта на тялото.

След като имаме независими изрази за всяка от силите, действащи върху тялото, можем да заместим във втория закон векторната им сума, при което се получава диференциално уравнение, което се нарича **уравнение на движението на тялото**. В нашия пример то е **G**.

$$-\lambda v = ma = m \frac{dv}{dt}$$

Това уравнение може да бъде интегрирано, след което се получава:

$$v = v_0 e^{-\frac{\lambda t}{m}}$$

където v_0 е началната скорост на тялото. Това означава, че скоростта намалява до нула експоненциално във времето. Този израз може да бъде интегриран още веднъж, в резултат на което ще се получи ново уравнение, което дава местоположението на тялото като функция на времето.

Трети принцип на динамиката

Третият закон на Нютон за движението уточнява какво се случва на тяло, което въздейства със сила върху друго тяло. В дадената му от Нютон формулировка той гласи: **На всяко действие винаги има равно по големина и противоположно по посока противодействие.**

С други думи, действията на две тела едно върху друго винаги са равни по големина и имат противоположни посоки. Опитът показва, че въздействието на телата едно върху друго е взаимно. Затова се казва, че телата си **взаимодействат**.

Третият принцип на динамиката утвърждава, че ако едно тяло действа върху второ със сила F_1 то и второто тяло действа на първото със същата по големина сила F_2 , но в противоположна посока:

$F_1 = -F_2$. Двете сили F_1 и F_2 са приложени в различни тела. Едната сила (независимо коя) се нарича **действие**, а другата - **противодействие**

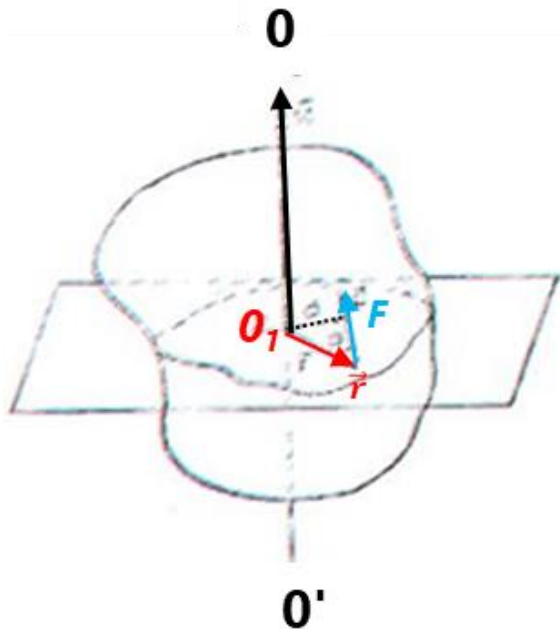


Третият принцип на динамиката утвърждава, че ако едно тяло действа върху второ със сила F_1 то и второто тяло действа на първото със същата по големина сила F_2 , но в противоположна посока:

$F_1 = -F_2$. Двете сили F_1 и F_2 са приложени в различни тела. Едната сила (независимо коя) се нарича **действие**, а другата - **противодействие**

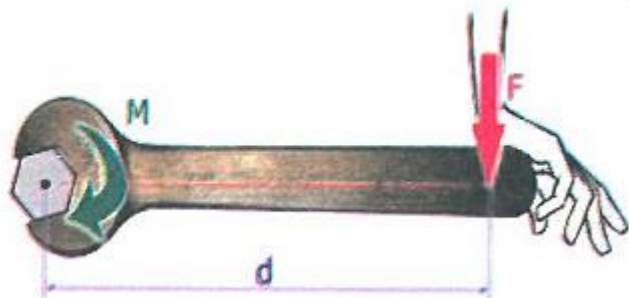
ДИНАМИКА НА РОТАЦИОННИТЕ ДВИЖЕНИЯ

При ротационните движения и равновесието на твърдите тела важно значение има т.нар. **въртящ момент на силата**.

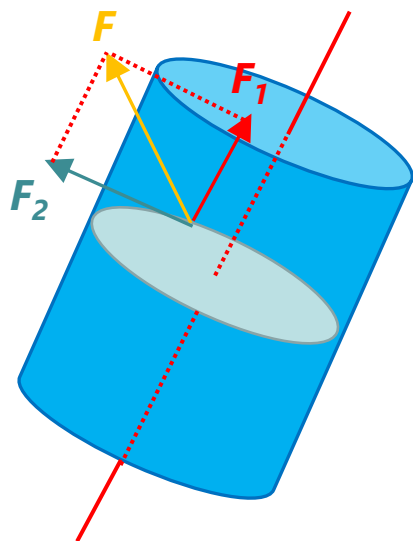


Нека твърдо тяло се върти около ос OO' под действие на сила F , която лежи в равнина, перпендикулярна на оста на въртене. Силата е приложена в точка P , която описва окръжност с център O_1 лежащ върху оста OO' . Означаваме с $\vec{r}$ радиус-вектора на точка P спрямо точка O_1 .

Въртящ момент M на силата F се нарича векторното произведение на радиус-вектора $\vec{r}$ на точката P и силата F .

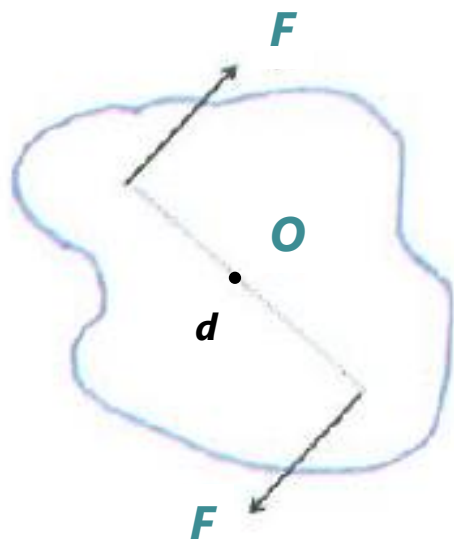


Доказва се, че големината на въртящия момент на силата е $M = Fd$, където d е дължината на перпендикуляра, спуснат от оста на въртене към правата, върху която лежи силата (в равнина, перпендикулярна на оста на въртене) и се нарича **рамо на силата**.



Ако силата F , приложена към тялото, не лежи в равнина, перпендикулярна на оста на въртене, тя може да се представи като сума от две сили - F_1 , успоредна на оста на въртене, и F_2 - перпендикулярна на нея. Тъй като силата F_1 не предизвиква въртене на тялото (нейният момент спрямо оста е нула), въртящият момент е равен на момента на силата F_2 .

Ако върху едно тяло действат няколко сили, то сумата от техните въртящи моменти се нарича **пълен въртящ момент**. Знаците им се определят по следното правило: ако силата върти тялото по посоката на движение на часовниковата стрелка, въртящият ѝ момент е отрицателен и обратно.



По-особен случай е, когато към тяло са приложени две равни по големина и противоположни по посока сили F , които не лежат на една права. Те се наричат **двойка сили**. Големината на пълния **въртящ момент на двойката сили**, които се стремят да завъртят тялото в една и съща посока спрямо дадена ос $00'$ е $M = Fd$, независимо от това дали оста на въртене $00'$ е разположена или не между правите, върху които лежат силите. И в двата случая d е разстоянието между правите, върху които лежат силите.

Нека идеално твърдо тяло се върти около постоянна ос. Тялото може да се разглежда като система от точки с маси $m_1, m_2 \dots$. Приемаме, че сумата от всички вътрешни сили на взаимодействие между m_n точките е равна на нула. Всяка от тези точки се движи по окръжност под действието на сила. Окръжността на i -та точка с маса m_i има радиус R_i . Нека на точка действа външна сила F_i . От втория принцип на динамиката можем да напишем, че $F_i = m_i a_i$. Но линейното ускорение $a_i = R_i \alpha$, където α е ъгловото ускорение, което е еднакво за всички точки от тялото. Като заместим a_i , в израза за F_i получаваме: $F_i = m_i R_i \alpha$.

Ако умножим и двете страни на равенството с R_i получаваме, че

$$F_i R_i = m_i R_i^2 \alpha$$

От тук може да се дефинира **въртящ момент, приложен към материална точка i :**

$$M_i = F_i R_i$$

и инерчен момент на материална точка

$$I_i = m_i R_i^2$$

При въртеливите движения инерчният момент е аналог на масата при транслационните.

Такива уравнения могат да се напишат за всяка точка от тялото. Ако бъдат сумирани, се получава:

$$\sum_i \mathbf{F}_i R_i = \sum_i m_i R_i^2 \alpha \text{ или } \mathbf{M} = I \alpha,$$

където $\mathbf{M} = \sum_i \mathbf{M}_i = \sum_i \mathbf{F}_i R_i$ е **пълният въртящ момент**, приложен към тялото, а $I = \sum_i I_i = \sum_i m_i R_i^2$ - **пълният инерчен момент на тялото** спрямо оста на въртене.

Транслационно (линейно) движение		Ротационно (въртеливо) движение	
Позиция	x	φ	Ъглова позиция
Скорост	v	ω	Ъглова скорост
Ускорение	a	α	Ъглово ускорение
Маса	m	I	Инерчен момент
Линеен момент	$p = mv$	$L = I\omega$	Ъглов момент
Работа	$W = Fx$	$W = M\varphi$	Работа
Кинетична енергия	$E_k = \frac{mv^2}{2}$	$E_k = \frac{I\omega^2}{2}$	Кинетична енергия
Мощност	$P = Fv$	$P = M\omega$	Мощност
Втори закон на Нютон	$F = ma$	$M = I\alpha$	Втори закон на Нютон
Трети закон на Нютон	$F_1 = -F_2$	$M_1 = -M_2$	Трети закон на Нютон
Закони за скоростта и движението	$x = vt$	$\varphi = \omega t$	Закони за скоростта и движението
	$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$	
	$x = v_0 t + \frac{at^2}{2}$	$\varphi = \omega_0 t + \frac{\alpha t^2}{2}$	
	$v^2 = v_0^2 + 2ax$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\varphi$	

Пълният въртящ момент на външните сили, действащи върху едно тяло, е произведение от инерчния момент на това тяло и полученото в резултат ъглово ускорение:

$$M = I\alpha$$

Това уравнение е основно при ротационното движение на твърдо тяло около постоянна ос. То е аналог на основното уравнение при транслационното движение на твърдо тяло ($F = ma$). Както е необходима сила за да промени линейната скорост, така е необходим въртящ момент за да промени ъгловата скорост.

Първият закон на Нютон описва движението на тяло, което се движи постъпателно. Неговата същност е валидна напълно и при въртливо движение. Следователно инертността е общо свойство на телата, което се проявява в стремеж за запазване на тяхното състояние на движение при въздействие на сила.

Мярка за инертността при постъпателните движения е *масата*, а при въртеливите около дадена ос на въртене - *инерчния момент* спрямо тази ос.

Дефинира се ротационна кинетична енергия $E_k = \frac{I\omega^2}{2}$, която е изоморфна на нейния линеен аналог. Всяко тяло по принцип може да има и транслационна, и ротационна кинетична енергия. Общата му кинетична енергия е сума от двете.

Подобен паралел може да се направи и между останалите величини за постъпателното и въртливо движения.

Центростремителна и центробежна сили

От законите на динамиката следва, че когато материално тяло се движи равномерно по окръжност, върху тялото трябва да действа сила, която да създава постоянно по големина нормално (центростремително) ускорение. Тази сила се нарича **центростремителна сила**, тъй като действа към центъра на окръжността. Центростремителна сила може да бъде силата на тежестта, сила на триене и др. Тъй като големината на нормалното ускорение е $a_n = \omega^2 R$ то големината на центростремителната сила (F_n) е $F_n = m\omega^2 R$ (ω е ъгловата скорост, а R - радиусът на окръжността).

Центростремителната сила е приложена към тялото, което се движи по окръжност. Съгласно третия закон на Нютон това тяло противодейства на връзката, която го принуждава да се движи по окръжност, с равна по големина и противоположна по посока **центробежна сила**.

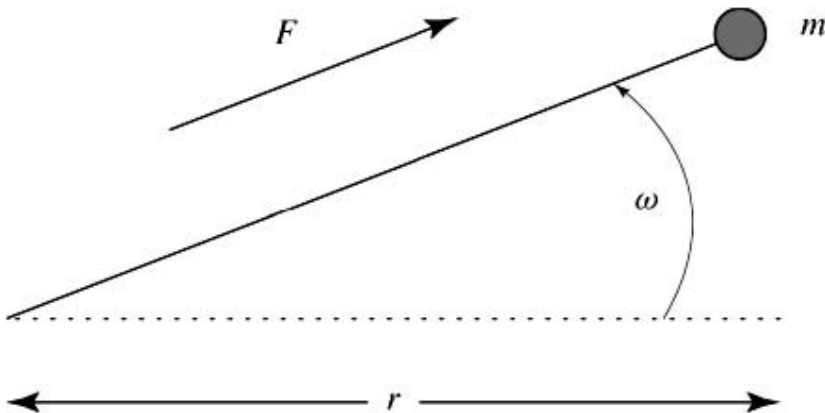
Утаяване

Когато разтворени в разтворител частиците под действието на определена сила се движат в разтвора, те изпитват сили на съпротивление, като движението им зависи от техните свойства-маса, форма и плътност, а също така и от свойствата на разтворителя, неговата температура, вискозитет, плътност и състав.

Физически смисъл на утаяването

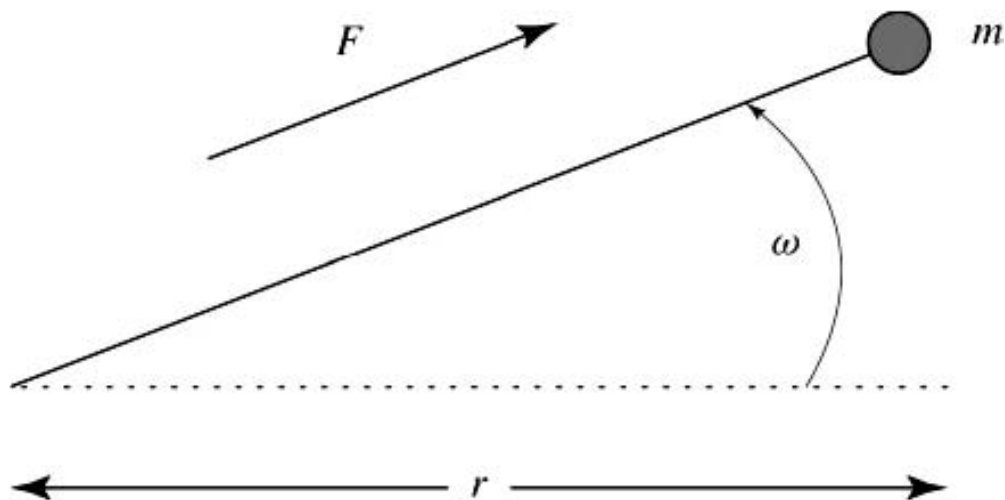
Ако разгледаме частица с маса m_0 , суспендирана в разтворител с плътност, ρ , то тази частица ще изпита сила на изтласкване, която е еквивалентна на теглото на изместената течност от нея, в съответствие с принципа на Архимед. Следователно, подемната маса, m на частицата, е m_0 минус коригиращ коефициент за тази изтласкваща сила:

$$m = m_0 - m_0 V \rho$$



Центробежна сила. Частица с маса m , изпитва центробежна сила, F когато се центрофугира с ъглова скорост ω , около точка, от която е отдалечена с радиус, r .

$$F = m\omega^2 r$$



Следователно, ако тази частица се намира в центробежно поле (фигура по-горе), тя изпитва центробежна сила, F равна на:

$$F = mG = mr\omega^2 \quad (3)$$

Комбинирайки изразите $m = m_0 - m_0 V \rho$ и $F = mr\omega^2$ получаваме:

$$F = (m_0 - m_0 V \rho) r \omega^2 \quad (3)$$

От това уравнение можем да направим извода, че увеличаването на масата на частицата, ъгловата скорост или разстоянието от центъра на въртене, ще доведе до увеличаване и на центробежната сила, изпитвана от частица.

При движението си през разтворителя, частицата изпитва съпротивление дължащо се на силата на триене F^* , действаща в обратна посока:

$$F^* = fv \quad (4)$$

където f е коефициент на триене, който зависи от формата и масата на частицата, от вискозитета на разтворителя, а v е скоростта на частицата.

В началото на центрофугирането частицата се ускорява през разтворителя, но в крайна сметка силата на триене намалява това ускорение, така че се постига постоянна скорост, наречена **скорост на утаяване**.

Това е момента в който се достига равенство на двете сили:

$$F^* = F \quad (5)$$

$$F^* = f v \quad F = (m_0 - m_0 V \rho) r \omega^2$$

$$f v = m_0 (1 - v \rho) r \omega^2 \quad (6)$$

Следователно скоростта на утаяване е:

$$v = \frac{m_0 (1 - V \rho) r \omega^2}{f} \quad (7)$$

Скоростта на утаяване зависи от формата на частиците, а когато тя е сферична формулата се преобразува в:

$$v = \frac{a^2(\rho_p - \rho_m)}{18\eta} r \omega^2 \quad (8)$$

Където a е диаметърът на частиците, ρ_p и ρ_m са плътностите на съответно частицата и разтворителя и η е вискозитетът на разтворителя.

Зависимостта, $v = \frac{a^2(\rho_p - \rho_m)}{18\eta} r \omega^2$, е в основата на принципа на центрофугиране и обяснява причината, защо частиците с различни специфични обеми и маса достигнат индивидуални скорости на утаяване при даден разтворител и с дадена ъглова скорост.

$$v = \frac{m_0(1 - V\rho)r\omega^2}{f}$$

Това уравнение обяснява принципа на диференциалното центрофугиране, според който частиците могат да бъдат специфично разделени една от друга. Тъй като експериментално е трудно точно да се определят v , ρ и f , затова като мярка за диференциално поведение на частиците в центробежното поле се дава с коефициента на утаяване, s ;

$$s = \frac{v}{r\omega^2} = \frac{m_0(1 - V\rho)}{f} \quad (9)$$

$$s = \frac{v}{r\omega^2} = \frac{m_0(1 - V\rho)}{f}$$

Тъй като и $m_0(1 - v\rho)$ и f са свойства, присъщи на частицата и разтворителя, съответно s ще е константа за съответното съотношение частица/разтворител. Диапазонът на стойностите, наблюдавани в биохимията, варира в широки граници от $1 \times 10^{-13}s$ за протеин до $10\,000 \times 10^{-13}s$ за вътреклетъчни органели.

В практиката се използва една по-удобна единица **Svedberg**, **S**, която е еквивалентна на $1 \times 10^{-13} \text{ s}$. Съществува емпирична връзка между коефициента на утаяване и молекулната маса. Макар тази връзка да не е проста или линейна в практиката е възприето да представяме масата на някои протеини, органели и пр. в единици **S**, като например протеина цитохром С (1S) има по-малка стойност от бактериалните рибозоми (70S), вирус на тютюневата мозаечна болест (400S) или лизозомите (10 000S).

Уравнение на Сведберг

$$f = \frac{RT}{N_A D} \quad (10)$$

където R е универсалната газова константа N_A е числото на Avogadro, T е абсолютната температура и D е коефициентът на дифузия.

Комбинацията на $s = \frac{m_0(1-V\rho)}{f}$ и $f = \frac{RT}{N_A D}$ ни дава връзката между s и тези параметри, както следва:

$$s = \frac{m_0(1-V\rho)}{\frac{RT}{N_A D}} \quad (11)$$

Като преобразуваме (11) имаме изрази:

$$sRT = m_0 N_A (1 - V\rho) D \quad (12)$$

Като знаем че молекулната маса M_r , е произведение на m_0

и N_A :

$$M_r = \frac{sRT}{(1-V\rho)D} \quad (13)$$

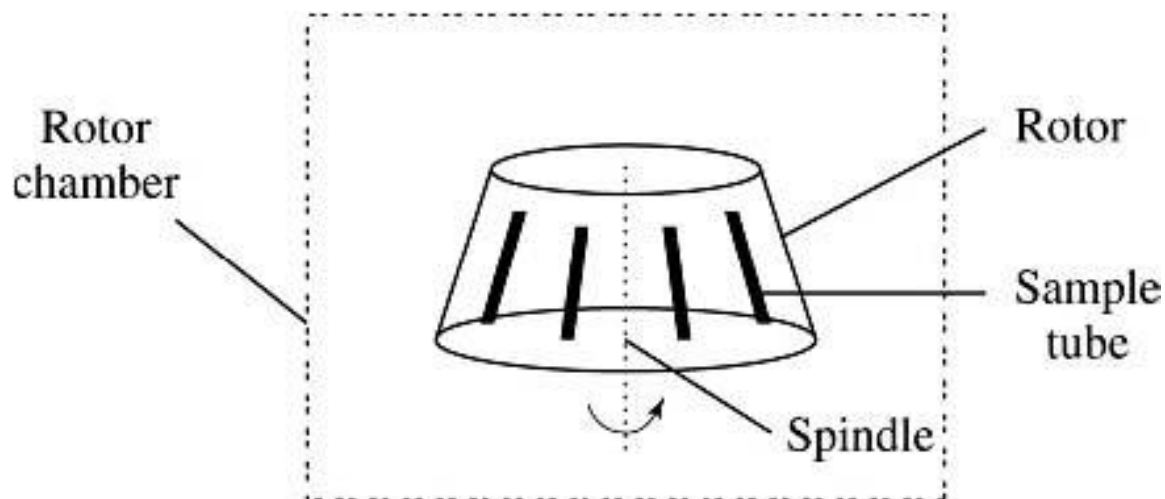
$$M_r = \frac{sRT}{(1-V\rho)D} \quad (13)$$

Това е **уравнението на Сведберг**, което ни дава зависимостта между молекулната маса и присъщите за частицата физични свойства (s и V), а също така и експерименталните условия (D , T и ρ), заедно с физическата константа (R).

Тъй като величините в уравнението на Светберг са експериментално измерими, това следователно уравнението априори ни позволява директно да определим молекулната маса. Това контрастира с емпиричните методи за определяне на масата, каквито методи са електрофорезата, хроматографията или методите използващи съотношението маса / заряд, при които е необходимо да се сравняват неизвестните молекулни маси с тези на молекули с известна маса.

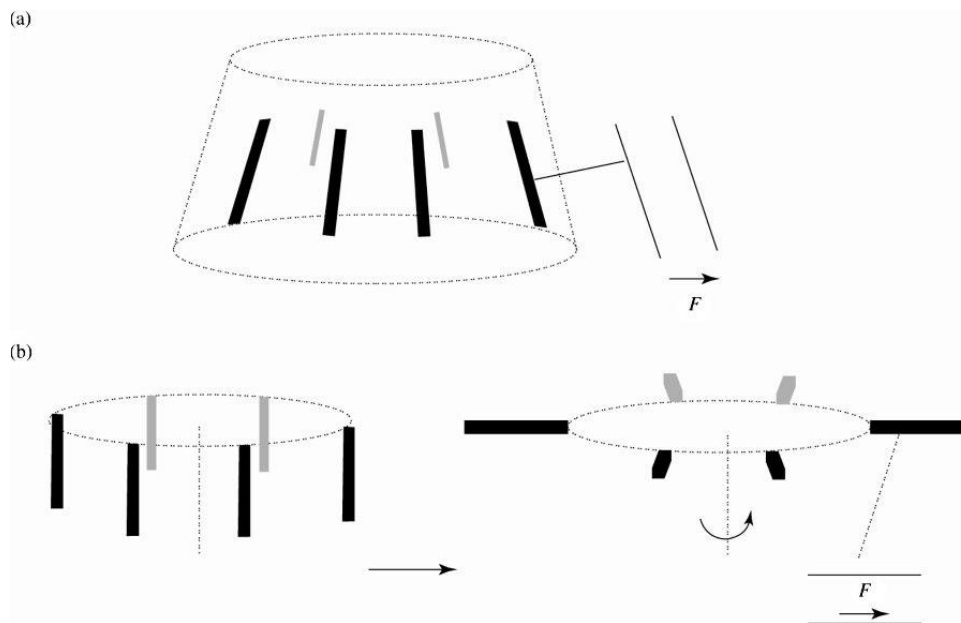
Оборудване, използвано при центрофугиране

Центрофугирането се извършва в уреди наречени **центрофуги**, които осигуряват система за въртене на пробата с висока скорост около централна точка, така че да се развие значителна центробежна сила. Пробата се поставя в подсилена пластмасова тръба, която след това се държи във ротор, който се върти около вретено.



Пробите, съдържащи се в епруветки (само четири са показани на фигурата), се поставят в ротор, който е фиксиран върху вретено. Центрофугирането се извършва в роторната камера (пунктираните линии на фигурата), която често е механично подсилена, има система за охлаждане и е под вакуум.

Роторът се изработва в два типа конструкции



Ротори, използвани при центрофугиране. (a) Ротори с фиксиран ъгъл. Роторът е изработен от стомана с фиксирани отвори с тръби, в които се поставят епруветките с пробите. Ъгълът на тръбите не се променя по време на експеримента и частиците се утаяват в задната част на тръбата, (b) Летящ ротор. Епруветките с пробите се поставят в тръбички, които са подвижни и които при развъртане на ротора заемат хоризонтално положение така че частиците да се утаяват към дъното на колбата.