

Динамика на материална точка. Първи принцип на Нютон. Инерциални отправни системи. Основни динамични величини – сила, маса, импулс. Втори принцип на Нютон. Събиране на сили – принцип на суперпозицията.

Първи принцип на Нютон. Инерциална отправна система

Динамиката е дял от механиката, в който се формулират нейните основни закони (принципи), определящи връзката между действащите върху едно тяло сили и неговото движение.

Принципите представляват такива общи закони, които не могат да бъдат доказани непосредствено, но до които се достига вследствие на продължителен житейски опит. Тяхната валидност се потвърждава от експерименталната проверка на многобройните им следствия.

Основните принципи на динамиката са формулирани от английския физик Исак Нютон през 1687 г. в неговата книга „Математически принципи на натурфилософията“. Те са обобщения на многобройни опити и наблюдения.

Първият принцип на Нютон гласи, че всяка материална точка (тяло) запазва състоянието си на покой или праволинейно равномерно движение дотогава, докато някакво външно въздействие не я изведе от това състояние.

Общото свойство на телата да запазват състоянието си на покой или праволинейно равномерно движение при отсъствие на външни въздействия се нарича инертност. Затова, ако едно тяло се движи без външно въздействие казваме, че то се движи по инерция. Ето защо първият принцип на Нютон е известен още като принцип за инерцията.

Оказва се, че този принцип не е в сила спрямо всяка отправна система. Нютон го е формулирал спрямо система, за която е предполагал, че се намира в състояние на абсолютен покой. Цялото по-нататъшно развитие на физиката показва, че такава система не съществува. Отправни системи, в които е изпълнен принципът за инерцията, се наричат инерциални. Опитно е доказано, че с много голяма точност принципът на Нютон се изпълнява в т.нар. хелиоцентрична инерциална система. За център на тази система се избира една точка от повърхността на Слънцето, а осите ѝ са насочени към три отдалечени звезди, избрани така, че осите да бъдат взаимноперпендикулярни.

Всички отправни координатни системи, които се движат праволинейно и равномерно спрямо дадена инерциална отправна система, са също инерциални системи. От това следва, че съществуват безброй много инерциални системи. (Отправната система, която е свързана с повърхността на Земята, не е строго инерциална поради денонощното въртене на Земята. Тъй като това движение е много бавно, в някои случаи ефектите от него могат да се пренебрегнат и с известно приближение такава система може също да се разглежда като инерциална.)

Основни динамични величини – сила, маса, импулс. Втори принцип на Нютон

От първия принцип на Нютон следва, че за да се промени големината и посоката на скоростта на дадено тяло, то трябва да изпита някакво външно въздействие. В резултат на това тялото променя скоростта си т.е. придобива ускорение. Ускорителното движение на тялото е проява на някакво ново качество, различаващо се съществено от състоянието на покой или праволинейно равномерно движение. Появата на ускорение обикновено се свързва с действието на сили. Прието е всяка причина за изменение скоростта на дадено тяло да се нарича сила. Силата е векторна величина се означава с \vec{F} . Всяка сила е свързана с някакво въздействие върху даденото тяло.

Опитът показал, че когато на едно и също тяло се действа с различни по големина сили, ускоренията, които то придобива, са пропорционални на големините на силите. Оказва се обаче, че ако с една и съща сила се действа на различни тела, скоростта им на движение се изменя по различен начин, т.е. те придобиват различни ускорения. Следователно резултатът от действието на силата зависи не само от самата сила, а и от някаква характеристика, специфична за всяко тяло. Тази характеристика е наречена маса и е скаларна физична величина, която се въвежда в класическата механика като количествена мярка за инертността на телата. Означава се с m , а мерната ѝ единица е килограм [kg] (основна единица в SI). Експериментите показват, че колкото е по-голяма масата на тялото, толкова по-малко ускорение получава то.

Вторият принцип на Нютон определя връзката между сила, маса и ускорение. Той гласи, че ускорението, което получава дадено тяло, е пропорционално на силата, която му действа и обратно пропорционално на масата на тялото:

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

От формулата може да се направи извода, че ускорението винаги е насочено в посока на действащата сила. Коефициентът на пропорционалност зависи от избраната система измерителни единици. В система **SI** основните мерни единици са подбрани така, че коефициентът $k=1$. Така стигаме до познатия ни израз на втория принцип:

$$(1) \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Като преобразуваме (1) можем да получим мерната единица за сила, която в **SI** е наречена на името на Нютон [N]:

$$(2) \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow [N]=[kg \cdot m/s^2].$$

Формулировките на втория принцип във вид (1) и (2) са математически еквивалентни и при решаване на конкретни проблеми може се използва всяка от тях. Не трябва да се забравя обаче, че (1) е физически правилната формулировка на принципа, тъй като отчита причинно-следствената връзка между явленията – прилагането на сила предизвиква ускорено движение, а не обратното т.е. ускорението е функция на приложената сила.

Друга важна величина в механика е импулс на тяло. Тя се дефинира като произведение на масата на тялото по неговата скорост. Бележи се с \vec{p} и, както се вижда от определението, е векторна величина:

$$(3) \vec{p} = m\vec{v}.$$

Мерната единица е [kg.m/s].

Импулсът е една от най-важните величини не само в механиката, а и в цялата физика. Основната причина е, че това е една от малкото величини, за която може да се формулира универсален закон за запазване.

Вторият принцип на Нютон може да се формулира и чрез импулса (това е и оригиналната формулировка на Нютон). Ако вземем първата производна на (3) по времето и като имаме предвид, че първата производна на скоростта е ускорението, а силата може да се изрази чрез (2), получаваме:

$$(4) \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} = \vec{F}.$$

т.е. приложената сила предизвиква промяна на импулса на тялото. Тази формулировка е по-обща, тъй като е валидна и в релативистката механика (при движение със скорости близки до скоростта на светлината), за разлика от (1).

Събиране на сили – принцип на суперпозицията

Ако на едно тяло му действат няколко сили, то получава ускорение по посока на векторната сума от всички действащи сили, която се нарича равнодействаща:

$$(5) \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$$

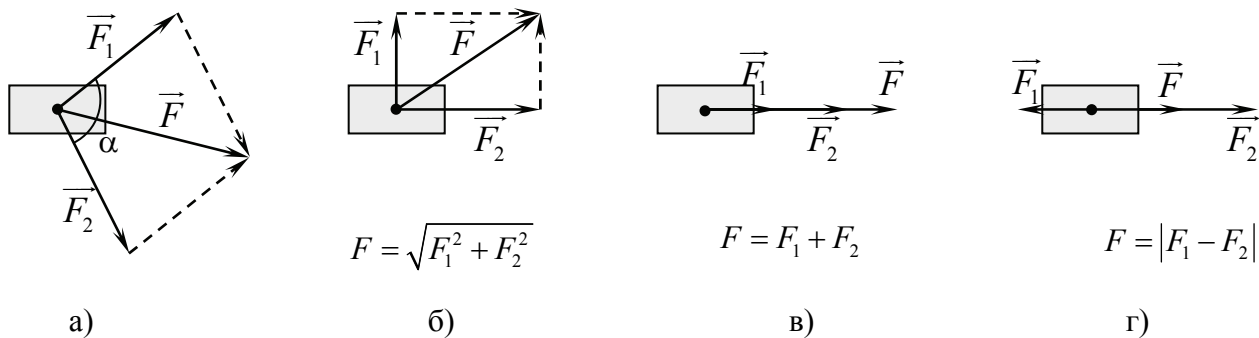
Като използваме (5), можем да обобщим основното динамично уравнение (втория принцип на Нютон) (1):

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{1}{m} (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N \vec{F}_i.$$

Можем също да обобщим и формулировката чрез промяната на импулса (4):

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i.$$

Определянето на равнодействащата на няколко сили като векторната сума от тези сили (5) е приложение на един общ принцип, който се отнася за векторни величини – принципът на суперпозицията (на векторното събиране). Той се нарича още принцип за независимото действие, когато се отнася за величини като сила или интензитет. Същността му в конкретния случай се изразява в това, че когато отчитаме резултата от действието на една сила, не се интересуваме от другите действащи сили (независимо действие на всяка сила), а общият резултат от всички действащи сили получаваме чрез векторно събиране (суперпозиция) на отделните резултати. Принципът на суперпозицията има и обратно действие – ние можем да разложим една векторна величина (напр. сила, скорост, ускорение) на няколко векторни компоненти, защото принципът ни гарантира, че сумата от техните отделни действие е равно на действието на тяхната векторна сума т.е. на съответната неразложена векторна величина.



фиг. 1

Принципът на суперпозицията може да се илюстрира с няколко примера.

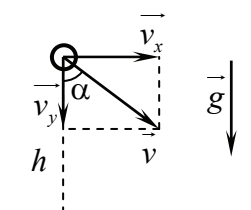
Ако тяло се движи под действие на двете сили \vec{F}_1 и \vec{F}_2 (фиг. 1а), движението ще бъде по посока на равнодействащата сила \vec{F} , която е векторната сума на \vec{F}_1 и \vec{F}_2 . Големината ѝ се определя от косинусовата теорема:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$F \equiv |\vec{F}| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos(\pi - \alpha)}$$

Когато $\alpha = \pi/2$ (фиг. 1б), формулата за големината на силата \vec{F} малко се опростява ($\cos(\pi - \alpha) = 0$). А ако двете сили действат по една права (фиг. 1в,г), големината на равнодействащата \vec{F} е просто сума (фиг. 1в) или разлика (фиг. 1г) от големините на двете сили \vec{F}_1 и \vec{F}_2 . Винаги трябва да се има предвид обаче, че така пресмятаме само големината на силата. Самата равнодействаща сила \vec{F} винаги е векторна сума (а не разлика) от всички действащи сили (5), независимо от тяхната посока. **Равенството (5) е математическият израз на принципа на суперпозицията за сили.**

Много често принципът на суперпозицията се използва и в обратна посока – за разлагане на векторни величини на техните компоненти. Ако тяло е хвърлено от някаква височина h под ъгъл α спрямо земната повърхност със скорост \vec{v} (фиг. 2), то ще се движи по крива линия (парабола) към Земята. Ние обаче, можем да представим това криволинейно движение като сума от две праволинейни – едното в хоризонтална посока е равномерно с получената начална скорост \vec{v}_x , защото в тази посока не действа сила, а другото във вертикална посока е равноускорително с ускорение \vec{g} и начална скорост \vec{v}_y . Това разлагане е възможно заради принципа на



фиг. 2

суперпозицията – сумите от началните скорости и ускоренията на двете праволинейни движения са равни на началната скорост и ускорението на криволинейното:

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$$

$$\vec{a} = \vec{g} + 0 = \vec{g}$$