

## Видове сили в механиката. Сили на тежестта, натиск и реакция на опората. Сила на еластичност. Сила на триене.

### Видове сили в механиката

При описание на механичните явления ще използваме различни сили – сили на тежестта, натиск, триене и др. От друга страна ние знаем (1 въпрос), че в природата съществуват само четири вида взаимодействия и съответните свързани с тях сили. Интересен е въпросът как тези четири фундаментални сили са свързани с разнообразните сили, проявяващи се в реалността, която ни заобикаля. Оказва се, че силите в механиката най-често представляват резултат (равнодействаща) от голям брой фундаментални сили (основно гравитационни и електромагнитни), приложени в различни точки на разглежданото тяло. Основната разлика между фундаменталните и останалите сили е в простотата на законите, които описват фундаменталните сили. Например гравитационната сила на взаимодействие между две неподвижни материални точки с маси  $m_1$  и  $m_2$ , намиращи се на разстояние  $r$  една от друга, се дава от закона на Нютон за всеобщото привличане:

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

а електричната сила на взаимодействие между два неподвижни точкови заряда – от закона на Кулон, който има същия вид, но масите са заменени със зарядите  $q_1$  и  $q_2$ :

$$F_e = k \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

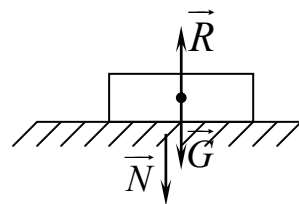
За разлика от тези прости изрази, зависимостите, които определят наблюдаваните от нас сили, са в повечето случаи доста по-сложни, а понякога (напр. за силите на триене) те могат да се получат само емпирично т.е. на базата на опита. Причината е, че тези сили зависят от голям брой фундаментални взаимодействия, понякога от различен вид, поради което е невъзможно да се намери точна математическа формула за описанието им. Например силата на тежестта на едно тяло зависи само от гравитационното взаимодействие на материалните точки, от което е изградено, със Земята и затова формулата се получава лесно. Същото важи и за заредено тяло поставено в електростатично поле – там взаимодействието е само електростатично. Но силите на триене се получават като равнодействаща на много гравитационни сили на взаимодействие на точките от тялото със Земята (които определят теглото на тялото) и много електромагнитни сили между атомите и молекулите на тялото и подложката (които определят коефициента на триене). Затова законите, определящи силите на триене, са само емпирични.

### Сили на тежестта, натиск и реакция на опората

Експериментален факт (опитите на Галилей) е, че всички тела падат (свободно) към Земята с еднакво ускорение (ако пренебрегнем въртенето на Земята около оста ѝ). Следователно на всяко тяло, намиращо се близо до Земята, трябва да му действа сила, която зависи само от масата му. Тази сила е предизвикана от гравитационното привличане между Земята и тялото и се нарича сила на тежестта  $\vec{G}$ . Аналитично се изразява чрез формулата:

$$\vec{G} = m \vec{g},$$

където  $m$  е масата на тялото, а  $\vec{g}$  – постоянното ускорение, с което падат свободно всички тела, наречено земно ускорение. Важно е да отбележим, че приложната точка на  $\vec{G}$  е в самото тяло, а посоката ѝ е към центъра на Земята. Ако тялото не е свободно (напр. поставено върху опора (фиг. 1) или окачено на нишка) то няма да се движи, въпреки че му действа сила на тежестта. Ако си припомним обобщението на втория принцип, което направихме (4 въпрос), ще стигнем до извода, че на тялото му действа и друга сила  $\vec{R}$ , която наричаме реакция на опората (или опъване на нишката, в този случай най-често се бележи с  $\vec{T}$ ). Тя също е приложена в тялото (иначе няма да уравновесява  $\vec{G}$ ), а не в опората. Според третия принцип на Нютон, щом опората действа на тялото, то и тялото трябва да действа на опората със същата по големина и противоположна по посока сила. Тази сила се нарича натиск  $\vec{N}$  (много често се нарича и тегло). За разлика от другите две разгледани сили, тя е приложена в опората.



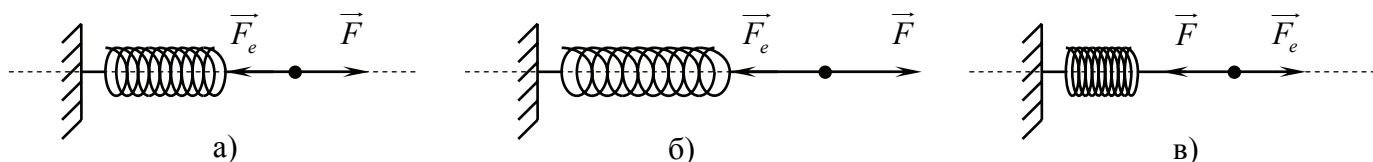
фиг. 1

Често се бъркат силата на тежестта и теглото (натискът). От определенията на двете сили се вижда, че за да действа сила на тежестта е достатъчно тялото да се намира близо до Земята. Силата на тежестта  $\vec{G}$  няма отношение към взаимодействието на тялото с други тела. Силата  $\vec{N}$ , обаче има пряко

отношение към опората – ако на фиг. 1 ние махнем опората, силата  $\vec{N}$  вече няма да действа – тялото ще се намира в състояние на безтегловност, докато  $\vec{G}$  няма да се промени. Същият резултат ще получим и ако тялото и опората падат свободно заедно – тялото няма да действа върху опората. Грешката с объркването на двете сили идва от факта, че в най-разпространения случай (опората е хоризонтална и тялото и опората са неподвижни) двете сили са равни по големина и са насочени в една и съща посока. Не трябва да се забравя обаче, че те имат различни приложни точки –  $\vec{G}$  е приложена в тялото, а  $\vec{N}$  – в опората или нишката.

### Сили на еластичност и триене

Всички реални тела под действие на сили се деформират т.е. променят размерите и формата си. Ако след прекратяване на действието на външната сила тялото възстановява размерите и формата си, деформацията се нарича еластична. Нека да разгледаме деформацията на пружина, на която действаме със сила  $\vec{F}$  по дължината на пружината (фиг. 2а). Предполагаме, че силата е достатъчно малка, за да оставаме в границите на еластичната деформация. Пружината се намира в равновесие, следователно тази сила  $\vec{F}$  трябва да се уравни от някаква друга сила. Тази сила се нарича сила на еластичност  $\vec{F}_e$  на пружината и по големина е равна на приложената сила  $\vec{F}$ , а по посока е противоположна. Ако приложим по-голяма сила (фиг. 2б), пружината също остава в равновесие, но виждаме, че се е разтегнала повече т.е. силата на еластичност се е увеличила. Ако приложим силата  $\vec{F}$  в обратна посока (свиваме пружината, фиг. 2в), силата на еластичност  $\vec{F}_e$  също сменя посоката си и пружината отново е в равновесие. На базата на подобни експерименти е установен емпиричният закон за големината и посоката на силата на еластичност:



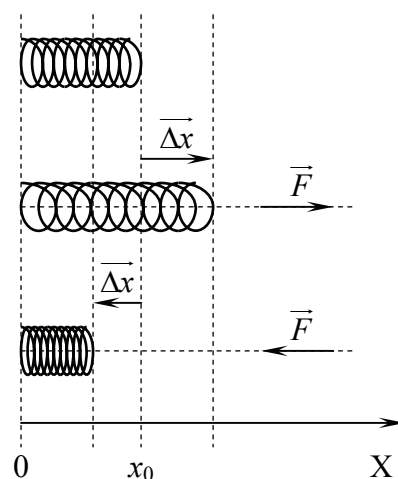
фиг. 2

$$(1) \vec{F}_e = -k\vec{\Delta x},$$

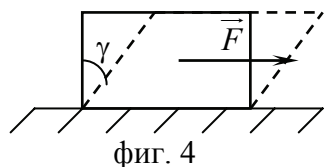
където  $k$  е коефициент на пропорционалност, зависещ от характеристиките на самата пружина и размерността му, както се вижда от (1), е  $\text{N/m}$ , а  $|\vec{\Delta x}|$  е промяната на дължината (удължаване или скъсяване) на пружината спрямо първоначалната ѝ дължина  $x_0$ . Посоката на  $\vec{\Delta x}$  е в посока на външната сила  $\vec{F}$  (фиг. 3). Тъй като силите действат само по една ос, (1) се записва и без вектори:

$$(2) F_e = -k\Delta x,$$

но не трябва да се забравя, че знакът минус в (2) просто показва, че еластичната сила и удължението имат противоположни посоки, а не е свързан с големината на силата на еластичност (големината на силата не може да бъде отрицателна).



фиг. 3

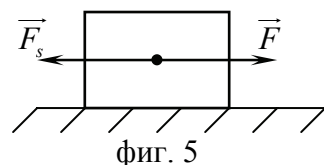


фиг. 4

Сили на еластичност възникват не само в пружини, а и във всички тела, подложени на деформация. Освен еластични сили при опъване и свиване, такива възникват и при огъване, усукване, хлъзгане. Във всички случаи силата се определя по формула подобна на (2), като коефициентът  $k$  е различен и промяната на дължината  $\Delta x$  може да е заменена с друга променлива, напр.

ъгъл  $\gamma$  при силите на еластичност при хлъзгане (фиг. 4) или ъгъл на усукване на тялото, в случай на деформация при усукване.

Друг вид сили, чиято големина се определя само емпирично са силите на триене. Нека едно тяло се намира върху хоризонтална подложка (фиг. 5). Ако приложим хоризонтална сила  $\vec{F}$ , тялото остава в покой. От основното динамично уравнение (втория принцип на Нютон) следва, че на тялото трябва да му действа и някаква друга сила, която уравни приложената сила  $\vec{F}$ .



фиг. 5

Тя трябва да има същата големина и противоположна посока. Тази сила наричаме сила на триене (сила на сухо триене) при покой  $\vec{F}_s$ . Ако приложим по-голяма външна сила, тялото също остава в покой – силата на триене при покой е станала по-голяма. Когато големината на приложената сила  $\vec{F}$  превиши някаква критична стойност  $F_0$ , тялото започва да се движи. Тази стойност наричаме максимална сила на триене при покой (или само сила на триене при покой). Експериментално е установено, че големината  $F_0$  на тази сила не зависи от допирната площ на тялото и подложката, а само от големината на нормалния натиск  $\vec{N}$  (теглото) на тялото (а не от силата на тежестта  $\vec{G}$ !) и материала, от който са направени тялото и подложката. Тази зависимост може да се изрази чрез емпиричен закон, подобен на (2):

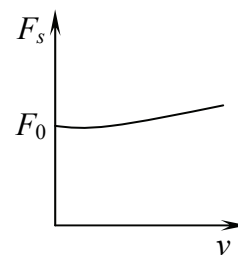
$$(3) F_0 = k_0 N.$$

Коефициентът  $k_0$  зависи от материала, от който са направени тялото и подложката и от състоянието на повърхностите им и се нарича коефициент на триене при покой. Определя се експериментално за всяка двойка вещества. От (3) се вижда, че  $k_0$  е безразмерна величина (число).

Когато тялото започне да се движи (хлъзга) по подложката, на него също му действа сила на триене, наречена сила на триене при хлъзгане. Големината ѝ се определя по същия начин:

$$F_s = kN,$$

но коефициентът  $k$  е различен от  $k_0$ . Той също се определя експериментално за всяка двойка вещества, но зависи и от скоростта на движение. Затова и силата на триене при хлъзгане зависи от скоростта. Тази зависимост е показана на фиг. 6. Виждаме, че силата на триене при хлъзгане малко намалява при малка скорост (в сравнение с максималната стойност на силата на триене при покой  $F_0$ ), след което започва слабо да нараства.



фиг. 6

Освен сили на триене при покой и хлъзгане съществува и сила на триене при търкаляне. Тя е много по-малка от силата на триене при хлъзгане и зависи също и от радиуса на търкалящото се тяло. В случаите, когато силата на триене е вредна и трябва да се намали, се търси начин хлъзгането да се замени с търкаляне (напр. в лагерите). Където това не е възможно, се поставя някаква течност (напр. машинно масло) между триещите се части, защото тогава триенето (наречено мокро триене) е значително по-малко от сухото триене.