

Неинерциални отправни системи. Инерционни сили при праволинейно и криволинейно движение

Неинерциални отправни системи

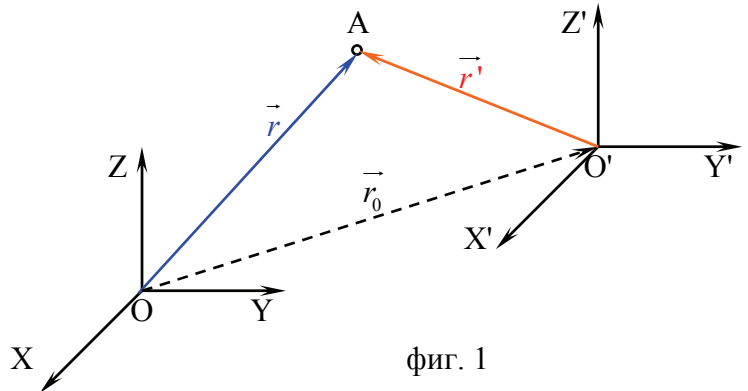
Чрез първия принцип на Нютон (4 въпрос) ние въведохме инерциална отправна система. Оказва се, че принципите на Нютон се изпълняват само в инерциални системи. Ако дадена отправна система се движи с ускорение спрямо коя да е инерциална система, тя се нарича неинерциална отправна система. В такава отправна система се нарушават и трите принципа на Нютон.

Нека да разгледаме пак две отправни системи \mathbf{K} (XYZ) и \mathbf{K}' ($X'Y'Z'$) (фиг. 1), като приемем, че \mathbf{K} е неподвижна. Нека система \mathbf{K}' се движи спрямо нея с някаква скорост \vec{v}_0 и ускорение \vec{a}_0 . Следователно, ако системата \mathbf{K} е инерциална, то системата \mathbf{K}' трябва да е неинерциална, защото се движи с ускорение спрямо инерциалната отправна система \mathbf{K} . Нека отново да намерим връзката между координатите и скоростите на тяло, което в даден момент от време се намира в т. A , в двете отправни системи. Ако означим радиус-векторът на тялото в \mathbf{K} с \vec{r} , а в \mathbf{K}' – с \vec{r}' , връзката между тях се дава чрез радиус-векторът \vec{r}_0 на началото O' на система \mathbf{K}' спрямо система \mathbf{K} :

$$(1) \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}'.$$

Ако диференцираме (1) по времето ще получим скоростта на тялото спрямо \mathbf{K} :

$$(2) \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}_0}{dt} + \frac{d\vec{r}'}{dt} = \vec{v}_0 + \vec{v}',$$



където \vec{v}' е скоростта му спрямо \mathbf{K}' . От (2) се вижда непосредствено, че в неинерциалната отправна система \mathbf{K}' се нарушава първият принцип на Нютон. Ако на тялото не действат други тела, в инерциалната система \mathbf{K} скоростта му ще бъде постоянна ($\vec{v} = \text{const}$), а в неинерциалната \mathbf{K}' – $\vec{v}' \neq \text{const}$, тъй като $\vec{v}' = \vec{v} - \vec{v}_0$, а \vec{v}_0 не е постоянна (\mathbf{K}' се движи с ускорение \vec{a}_0 спрямо \mathbf{K}).

Ускорението на тялото в отправната система \mathbf{K} ще получим като вземем първата производна на скоростта по времето:

$$(3) \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}_0}{dt} + \frac{d\vec{v}'}{dt} = \vec{a}_0 + \vec{a}'.$$

Ускорението \vec{a} и скоростта \vec{v} се наричат абсолютно ускорение и абсолютна скорост на тялото (материалната точка) спрямо неподвижната система \mathbf{K} , а ускорението \vec{a}' и скоростта \vec{v}' – относително ускорение и относителна скорост на тялото спрямо движещата се ускорително система \mathbf{K}' . Ускорението \vec{a}_0 и скоростта \vec{v}_0 се наричат преносно ускорение и преносна скорост (това са ускорението и скоростта на системата \mathbf{K}' спрямо \mathbf{K}).

Инерционни сили при праволинейно и криволинейно движение

Ако върху тялото не действат сили (в инерциалната отправна система \mathbf{K} това означава, че $\vec{F} = 0$ и $\vec{a} = 0$), (3) ще придобие вида:

$$\vec{a} = 0 = \vec{a}_0 + \vec{a}'$$

$$(4) \vec{a}' = -\vec{a}_0,$$

което показва, че ако тялото е в покой спрямо системата \mathbf{K} (или се движи праволинейно и равномерно), спрямо движещата се ускорително система \mathbf{K}' то ще се движи с ускорение $\vec{a}' = -\vec{a}_0$. Следователно в \mathbf{K}' се нарушава и вторият принцип на Нютон – тялото получава ускорение без да му действа сила. Оказва се, че в системата \mathbf{K}' тялото привидно изпитва действие на някаква сила \vec{F}' , която му придава ускорение, равно по големина и обратно по посока на \vec{a}_0 . Оттук се вижда и нарушаването на третия принцип на Нютон – тази сила няма съответстваща ѝ равна по големина и обратна по посока сила. Силата \vec{F}' можем да получим като умножим (4) по масата на тялото:

$$\vec{F}' = m\vec{a}' = -m\vec{a}_0 \equiv \vec{F}_{in}$$

Тази сила се нарича инерционна сила \vec{F}_{in} . Следователно в неинерциалните системи възникват допълнителни сили, наречени инерционни, които са свързани с тяхното ускорително движение, а не с някакво външно въздействие върху телата. Появата на инерционни сили в дадена координатна система е признак за ускорителното ѝ движение.

Ако неинерциалната система \mathbf{K}' се движи праволинейно, ускорението, което получава тялото в система \mathbf{K} , е тангенциално ускорение ($\vec{a}_0 = \vec{a}_t$). В такъв случай инерционната сила е $\vec{F}_{in} = -m\vec{a}_t$ (напр. при потегляне или спиране на превозно средство). При равномерно движение по окръжност също възниква инерционна сила – т.нар. центробежна сила, тъй като в този случай имаме нормално ускорение ($\vec{a}_0 = \vec{a}_n, \vec{F}_{in} = -m\vec{a}_n$). Големината на тази сила, изразена чрез скоростта или ъгловата скорост на тялото, можем да получим като използваме връзката между големините на нормалното ускорение, линейната и ъгловата скорост на тялото (10 въпрос):

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

$$F_{in} = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R$$

Такава сила действа на всяко тяло върху земната повърхност (отправна система, свързана с повърхността на Земята, е неинерциална, поради въртенето на Земята около оста ѝ) или на тяло, намиращо се в превозно средство, което прави завой. Центробежната сила действа на всяко тяло във въртяща се неинерциална отправна система, независимо дали то се движи спрямо нея или е в покой. Ако тялото се движи спрямо въртяща се неинерциална отправна система, възниква и т.нар. сила на Кориолис, която зависи от скоростта \vec{v}' на тялото и ъгловата скорост $\vec{\omega}$ на системата ($\vec{F}_c = -2m[\vec{\omega} \times \vec{v}']$).

Тази сила е причината за отклонението на свободно падащите тела на изток от отвесната права, за неравномерното отмиване на бреговете на реките – в северното полукълбо се отмива повече десният бряг, а в южното – левият.

За инерционните сили също е валиден принципът на суперпозицията – общата инерционна сила е сума от всички действащи инерционни сили.