

Неинерциални отправни системи. Инерционни сили при праволинейно и криволинейно движение

Неинерциални отправни системи

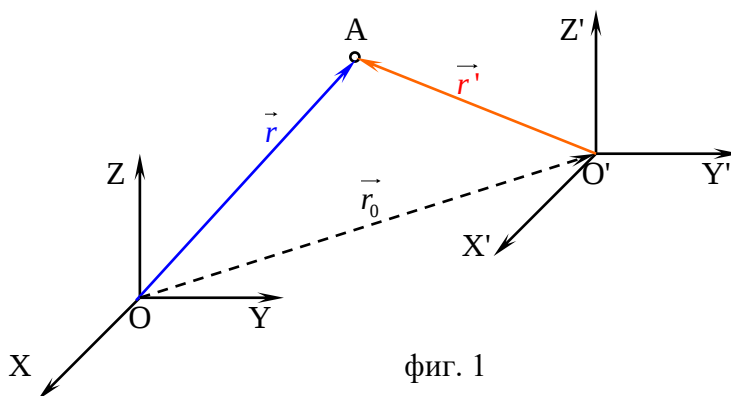
Чрез първия принцип на Нютон ние въведохме инерциална отправна система. Оказва се, че принципите на Нютон се изпълняват само в инерциални системи. Ако дадена отправна система се движи с ускорение спрямо коя да е инерциална система, тя се нарича неинерциална отправна система. В такава отправна система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

Нека да разгледаме пак две отправни системи **K** (**XYZ**) и **K'** (**X'Y'Z'**) (фиг. 1), като приемем, че **K** е неподвижна. Нека система **K'** се движи спрямо нея с някаква скорост $\vec{v}_0$ и ускорение $\vec{a}_0$. Следователно, ако системата **K** е инерциална, то системата **K'** трябва да е неинерциална, защото се движи с ускорение спрямо инерциалната отправна система **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 **K** с $\vec{r}$, а в **K'** – с $\vec{r}'$, връзката между тях се дава чрез радиус-векторът $\vec{r}_0$ на началото **O'** на система **K'** спрямо система **K**:

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

Ако диференцираме (1) по времето ще получим скоростта на тялото спрямо **K**:

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



фиг. 1

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

Ускорението на тялото в отправната система **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 **K**, а ускорението $\vec{a}'$ и скоростта $\vec{v}'$ – относително ускорение и относителна скорост на тялото спрямо движещата се ускорително система **K'**. Ускорението $\vec{a}_0$ и скоростта $\vec{v}_0$ се наричат преносно ускорение и преносна скорост (това са ускорението и скоростта на системата **K'** спрямо **K**).

Инерционни сили при праволинейно и криволинейно движение

Ако върху тялото не действат сили (в инерциалната отправна система **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 **K** (или се движи праволинейно и равномерно), спрямо движещата се ускорително система **K'** то ще се движи с ускорение $\vec{a}' = -\vec{a}_0$. Следователно в **K'** се нарушава и вторият принцип на Нютон – тялото получава ускорение без да му действа сила. Оказва се, че в системата **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:

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

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

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.