

ЗЗМЕ и движение във влак

Когато човек върви равномерно в хоризонтално направление, мускулите му извършват определена работа. Тази работа отива за преодоляване на силите на триене и на съпротивление, за повишаване на гравитационната потенциална енергия, когато на всяка крачка центърът на масите на човека се повдига и т.н., и в края на краищата се трансформира във вътрешна енергия на околната среда. В случая тази работа не ни интересува. Като добро приближение ще приемем, че тя не зависи от скоростта на вървене, така че по-надолу няма и да я отчитаме. (Интервалът от скоростите, с които човек може да *върви* не е много широк и това оправдава предположението.)

Нека първо припомним какво изпитва човек в някои случаи, пътувайки с влак (или друго превозно средство). Ако стои прав в коридора на равномерно движещ се влак, човек не изпитва действие на никаква сила (освен силата на тежестта, разбира се). Ако влакът започне да се ускорява, човек изпитва действието на инерчната сила, която като че ли го дърпа назад и, ако не се е опрял някъде, за да остане прав трябва да се наклони малко напред. В този случай една хоризонтална съставяща на тежестта му компенсира инерчната сила и той остава неподвижен спрямо вагона. Това – от гледна точка на ускоряващия се влак – една неинерциалната отправна система. За един инерциален наблюдател, който се намира на земята, няма никаква насочена назад сила – просто наклонът на човека напред чрез хоризонталната съставяща на силата на тежестта му осигурява необходимото ускорение в посока на движението. (Другата съставяща на тежестта е насочена по наклоненото тяло към пода и се уравновесява със съответната съставяща на реакцията на опората.)

Случвало ли ви се обаче да вървите по коридора на влак, когато той тръгва ускорено? Ако вървите в посока на движението, не може да не сте усетили действието на сила, насочена назад, която трябва да преодолявате, за да поддържате постоянна скоростта си спрямо вагона. Тази сила е забележимо по-голяма от онази, която ви “дърпа назад”, когато сте неподвижен в ускоряващия се влак. Затова, за да вървите с постоянна скорост, освен че трябва да се наклоните напред (както когато стоите неподвижно), мускулите ви трябва да упражнят и една допълнителна, насочена напред сила. Тази сила е особено забележима в късите мотрисни влакове, чието ускорение обикновено е по-голямо. Същото усещане можете да получите и ако вървите между седалките на потеглящ тролейбус или автобус.

Очевидно е, че преодолявайки допълнителната сила, вашите мускули извършват определена механична работа. Всяко извършване на работа е свързано обаче с някакво преобразование на енергия. Чия енергия се увеличава в случая? За да отговорим на този въпрос, ще решим следната задача.

Задача. Влак се движи с ускорение a . В коридора на вагона човек с маса m върви по посока на ускорението с постоянна спрямо вагона скорост u . Колко работа извършват мускулите на човека за време Δt и какъв е резултатът от тази работа?

Решение

Въпреки, че в училище не се изучават движения спрямо **неинерциални** системи, нека първо разгледаме движението на човека в неинерциалната система,

свързана с ускоряващия се влак. Това ще ни позволи относително лесно да отговорим на първия въпрос в условието на задачата..

В неинерциалната система на човека действа инерчна сила ma , насочена назад и, за да поддържа равномерното си движение спрямо вагона, мускулите му трябва да развиват същата по големина, но насочена напред сила. Щом скоростта на относителното движение спрямо вагона е $u = \text{const}$, за интервал време Δt човекът ще измине във вагона разстояние $u\Delta t$, а мускулите му ще извършат съответно работа $mau\Delta t$. Тази величина представлява и отговор на първия въпрос.

Отговора на втория въпрос – какъв е резултатът от тази работа, ще намерим по-лесно, ако преминем в **инерциална** отправна система, свързана неподвижно със земната повърхност. От гледна точка на наблюдател в тази система ускорението на човека е едно и също и равно на a , независимо от това, дали той е седнал във вагона, или се движи равномерно праволинейно спрямо него. Затова и силата, с която му действа влакът (по-конкретно – подът на вагона) в двата случая е една и съща, с големина ma и насочена напред. Поради същата причина и необходимата енергия от двигателите на влака за ускоряването на човека не зависи от това, неподвижен ли е той, или се движи равномерно и праволинейно.

Нека видим сега как стои въпросът със запазването на енергията. Ако в един момент скоростта на влака е v , за време Δt тя се увеличава до $v + a\Delta t$. Когато човек е неподвижен във вагона, енергията, употребена за ускоряването му през този интервал е:

$$(1) \quad \Delta E_1 = \frac{m}{2}(v + a\Delta t)^2 - \frac{m}{2}v^2.$$

Тази енергия, очевидно, човекът придобива за сметка на работата на двигателите.

Когато човекът се движи спрямо вагона със скорост u по посока на ускорението, спрямо земята в началния момент той има скорост $v + u$, а след време Δt скоростта му вече е $v + u + a\Delta t$. В този случай за същото време Δt изменението на кинетичната му енергия е:

$$(2) \quad \Delta E_2 = \frac{m}{2}(v + a\Delta t + u)^2 - \frac{m}{2}(v + u)^2.$$

От (2) и (1) следва, че:

$$(3) \quad \Delta E_2 - \Delta E_1 = mau\Delta t.$$

Величината в дясната страна на равенство (3), съгласно с резултата от разглеждането в неинерциалната система, представлява точно работата, извършена от мускулите на човека.

И така: работата, която човек извършва, когато върви по коридора на ускоряващ се влак в посока на ускорението, увеличава собствената му кинетична енергия.

Коментар. Задачата би могло и да се "обърне". Бихме могли в началото да забележим, че силата, с която влакът действа на човек по време на ускоряване е една и съща, независимо от това, дали човекът седи или върви спрямо вагона равномерно, защото и в двата случая ускорението е едно и също. Следователно и работата на двигателите, за да придадат ускорение човека за един и същ интервал време в двата случая е еднаква. Лесно се пресмята обаче, че във втория случай увеличението на кинетичната енергия на човека е по-голямо, отколкото в първия.

Наистина, погледнато по-общо, това е просто следствие от факта, че абсолютната скорост е линейна функция на преносната и на относителната скорост (последните две скорости се събират), докато кинетичната енергия е квадратична функция на скоростта. Затова, когато повдигаме сумата в квадрат, освен квадратите на събираемите, се появява и един допълнителен член, съдържащ тяхното произведение.

Така възниква въпросът за сметка на чия работа е по-големият прираст на енергията. Единствен възможен отговор на този въпрос е: за сметка на работата на мускулите на човека (друго тяло в системата просто няма). И накрая заключението: въпреки че се движи равномерно във вагона, човек трябва да употреби определена сила и именно работата на тази сила увеличава допълнително кинетичната му енергия.

Ключовият момент и в "правата", и в "обратната" задача е един и същ: енергията, изразходвана от двигателите на влака за ускоряване на човека, не зависи от това дали човекът е в покой, или извършва равномерно праволинейно движение спрямо вагона.

Вариант. Ако в началото не бяхме споменавали за усещанията, които човек изпитва при движение в ускоряващ се влак, и ако не бяхме правили разглеждане в неинерциална система, бихме могли да обърнем съвсем ситуацията и да решаваме следната задача.

Задача'. Човек с маса m се намира във влак, който се движи с ускорение a . Намерете с колко нараства кинетичната енергия на човека за време Δt в случаите, когато седи в едно от купетата на влака, и когато върви равномерно в коридора със скорост u по посока на ускорението. Обяснете разликата между двата случая.

Първата част от решението на задачата (в инерциална отправна система) води до формули (1) и (2), а разликата от двата израза се описва с формула (3). Втората част на задачата изисква тълкуване на появилия се член $mau\Delta t$, който, разбира се, има размерност на енергия и на работа. Тъй като той зависи от масата и скоростта (относителната скорост, както бихме пояснили, ако учехме за неинерциални системи) на човека, а не зависи например от скоростта на влака, трябва да заключим, че този член съответства на някаква работа, извършена от мускулите на човека и отишла за увеличаване на неговата кинетична енергия. А щом мускулите извършват някаква работа, това означава, че те действат на човека с определена сила. Така стигаме до заключението, че за да върви равномерно в посока на ускорението на влака, човек трябва да полага определени усилия – нещо, което практиката потвърждава.