

### Защо все пак локомотивът тегли вагоните?

Преди да изясним **смисъла** на въпроса от заглавието и да потърсим **отговора** му, за да не разкъсваме двете (смисъла и отговора), ще се спрем на следния въпрос:

*Защо триенето при покой изглежда някак си твърде “умно”?*

Побутнете с пръст масата в хоризонтална посока – тя не се помества. Каква физика се крие зад това наблюдение? Описано с езика на физиката, явлението изглежда по следния начин: върху масата действа в хоризонтална посока сила  $\vec{F}$ , но масата остава в покой. Следователно върху нея действа и друга сила,  $\vec{F}'$ , равна по големина и противоположна по посока на  $\vec{F}$ , така че двете сили се уравниават.

Какъв е произходът на силата  $\vec{F}'$ ? Обикновено казваме, че това е *силата на триене в покой*<sup>1</sup>, която се появява в резултат от взаимодействията в местата на контакт между краката на масата и пода, върху който е поставена. Сила на триене в покой обаче е само едно название, то не обяснява произхода на силата. На всичко отгоре тази сила проявява някои странни свойства, неприсъщи на нейната “братовчедка” – триенето при хлъзгане. Например – спрете да бутате масата. Тя отново остава неподвижна, което показва, че триенето при покой е изчезнало (в противен случай масата би се “самозадвижила”). След това – натиснете масата малко по-силно. Тя отново остава неподвижна, което показва, че и противодействието, дължащо се на триенето при покой, се е увеличило.

Излиза, че триенето при покой “знае” дали бутате масата или не я бутате, “знае” и с каква сила я бутате, за да се съобрази с това и да ѝ противодейства. Ето защо в заглавието на подвъпроса за тази сила се казва, че изглежда “умна”.

Тези разглеждания разкриват основна разлика между двата вида сили на триене: докато сила на триене при хлъзгане съществува винаги и големината ѝ зависи само от нормалния натиск и от коефициента на триене ( $F = kN$ ), силата на триене при покой се появява само, когато на тялото действа сила, успоредна на контактната повърхност и големината ѝ е равна на тази сила. За да разберем на какво се дължат особеностите на триенето в покой, трябва наистина да разкрием неговия произход.

Появата на сила на триене в покой можем да отдадем на две причини. Първата са междумолекулните сили на взаимодействие по повърхностите, по които контактуват краката на масата и пода. Втората причина се дължи на наличието на микроскопични неравности по тези повърхности. Очевидно някои от издатините по краката на масата ще попаднат във вдлъбнатини на пода и обратно, така че двете повърхности наистина се оказват зацепени.

За да опростим по-нататък разсъжденията, ще разгледаме само какво става с тези зацепени части, когато върху тялото е приложена сила, успоредна на контактната повърхност. На фиг. 1,а и б вдлъбнатините и издаденостите не са показани, но с щриховани линии и в тялото, и в пода са отделени мислено няколко перпендикулярни на повърхността слоеве. Фиг. 1,а показва положението на слоевете, когато на тялото не действа сила, успоредна на повърхността. Когато приложим силата  $\vec{F}$ , в зацепените издадености и вдлъбнатини настъпват *еластични* деформации, приповърхностните слоеве на двете тела се изкривяват в противоположни посоки (фиг. 1,б) и в резултат възникват две сили на еластичност:  $\vec{F}$  – приложена върху повърхността, върху която

<sup>1</sup> Мнозина не са съгласни с този термин. Вместо него понякога се използва *сцепление*, на руски се нарича “статическое трение” и т.н. Възраженията са въз основа на констатацията, че триенето при покой е съществено различно от триенето при хлъзгане и фактът, че в названията на двете сили фигурира термина “триене” може да предизвика объркване.

лежи тялото, и  $\vec{F}_{\text{тр.}}$  – приложена върху тялото и противоположно насочена на  $\vec{F}$ .  
Именно силата  $\vec{F}_{\text{тр.}}$  представлява триенето в покой.



Фиг. 1,а



Фиг. 1,б

Сега, след като разкрихме произхода ѝ, след като знаем, че триенето в покой е някакъв частен случай на проява на сили на еластичност, няма защо да се учудваме, че силата е “умна” – все едно да питаме откъде ластикът (или пружината) “знае” колко да се удължи, когато го опъваме: той просто се разтяга дотогава, докато силата на еластичност уравновеси действащата сила. По същия начин стои въпросът и за равенството между големините на нормалния натиск и реакцията на хоризонтална опора: опората търпи микроскопични еластични деформации, които растат до тогава, докато породените от тях сили уравновесят нормалния натиск.

И накрая, това, което е съществено за основния проблем, който ще ни занимава по-долу. Какво можем да заключим, ако представим големината на силата на триене в покой така, както големината на силата на триене при хлъзгане, т.е. чрез формулата:

$$(1) \quad F_{\text{тр.}} = kN,$$

където  $k$  е коефициента на триене, а  $N$  – големината на нормалния натиск? Тъй като нормалният натиск е един и същ, а силата  $F_{\text{тр.}}$  зависи от хоризонталната сила, която действа на тялото, то следва да заключим, че и коефициентът на триене  $k$  не е константа! Ако на тялото действат само силата на тежестта и вертикалната реакция на опората, коефициентът на триене при покой е нула. Ако се появи странична сила, чиято големина расте, той също нараства и може да достигне една максимална стойност, малко по-голяма от коефициента на триене при хлъзгане, при която вече триенето при покой не удържа тялото неподвижно и то започва да се движи.

Тук може да възникне въпрос имаме ли въобще право за триенето при покой да записваме формула от типа (1). Отговор дава опитът – лесно се показва, че ако увеличим два пъти нормалния натиск, два пъти се увеличава и максималната сила, която трябва да приложим към тялото, за да излезе то от състояние на покой.

*Какъв всъщност е проблемът с локомотива и вагоните?*

След направените дотук предварителни разглеждания можем да преминем към същността на проблема за движението на влак, който се движи равномерно праволинейно по хоризонтални релси. Теглото на локомотива  $P_{\text{л}}$  в случая играе роля на нормален натиск. Теглителната сила на локомотива се дължи на триенето при покой между неговите водещи колела и релсите<sup>2</sup>. Следователно, ако с  $k$  означим коефициента на триене, съгласно с формула (1) можем да запишем:

$$(2) \quad F_{\text{л}} = kP_{\text{л}}.$$

Тъй като влакът се движи равномерно, тази сила е равна по големина на силата  $F_{\text{в}}$ , с която вагоните противодействат на локомотива. Тъй като това противодействие се

<sup>2</sup> Точката от колелото, която в даден момент контактува с релсата, е **неподвижна**! Силата, с която двигателят действа на колелото, е насочена назад, противоположно на посоката на движение, а силата на триене в покой – в посока на движението на влака. С други думи, посоките на силите на фиг. 1,б съответстват на влак, който се движи отляво надясно.

дължи на силите на триене (също при покой!) между релсите и колелата на вагоните, за него също можем да напишем:

$$(3) \quad F_{\text{в}} = kP_{\text{в}},$$

където  $P_{\text{в}}$  е общото тегло на всички вагони. От равенството  $F_{\text{л}} = F_{\text{в}}$  и от (2) и (3) следва абсурдното равенство  $P_{\text{л}} = P_{\text{в}}$ , т.е. – равенство между теглата на локомотива и общата маса на вагоните. Излиза, че един локомотив не може да тегли вагони с обща маса, по-голяма от неговата!?!

Всеки, който е проследил внимателно началните разглеждания за силите на триене при покой, вероятно вече вижда причината за абсурда: това, че в (2) и (3) използваме един и същ коефициент на триене. Тъй като нито колелата на локомотива, нито колелата на вагоните боксват, между релсите и колелата наистина действат сили на триене при покой. Ние обаче вече знаем, че в тези случаи коефициентът на триене при покой не е постоянна величина. И за колелата на локомотива, и за колелата на вагоните стойността му е по-малка от максимално възможната (защото няма приплъзване!), но все пак за локомотива коефициентът на триене е много по-голям, отколкото за вагоните. Точно това обяснява защо един локомотив може да тегли вагони с многократно превишаваща го маса.

*Из историята.* Не мислете, че проблемът е изкуствено съчинен. В зората на релсовия транспорт изобретателите и конструкторите не са били наясно с физичната страна на явленията и са го възприемали като реален. Затова например един от първите проекти за релсов транспорт – на Блякинсън (1811 г.) предвижда водещите колела на локомотива и релсите да са назъбени. В друг проект, на Брунтън (1813 г.), се предвижда локомотивът да бъде снабден с лостове, които да се опират в земята и да служат за отблъскване от нея (т.е. да играят ролята на “крака”). В същата 1813 г. инженер Хадли показва експериментално, че наистина коефициентът на триене при покой не е константа и конструира локомотива “Пухтящия Бил” – прапрадядото на съвременните локомотиви.

*И все пак някои въпроси.* Проблемът около локомотива и вагоните, решението му и историческите бележки са изложени както в една стара и известна книга на Ланге<sup>3</sup>. В мен обаче все пак остава известно чувство на неудовлетвореност. Основният въпрос, който според мен остава неизяснен е, **защо** коефициентът на триене при покой за колелата на локомотива е много по-голям от този за колелата на вагоните? А какво става с триенето в осите на колелата? – то толкова пренебрежимо малко ли е? Защо някак си не се говори за онази част от общата тяга на локомотива, която осигурява собственото му равномерно движение? – като че ли цялата тяга отива за теглене на вагоните.

<sup>3</sup> Ланге В.Н. Физически парадокси, софизми и занимателни задачи, М., “Просвещение”, 1967.