

## За изучаване на триенето в покой – кога, къде и как<sup>1</sup>

**Анотация.** Като пропуск в учебната документация по физика и астрономия е посочено отсъствието на триенето в покой. Разкрива се аналогията между механизмите на възникване на нормалната реакция на опората и на триенето в покой и на нейна основа се предлага начин за попълване на този пропуск.

### *Какво е положението днес*

Десетгодишното прилагане на Държавните образователни изисквания (ДОИ) и на учебните програми по физика и астрономия разкри в тях редица проблеми в съдържателно отношение. Проблемът за силата на триене в покой не е най-важният от тях, но не е и най-маловажният.

Проблемът е елементарен – не се предвижда изучаване на силата триене в покой – една сила с изключително значение за нашия живот, отличаващ се със своята мобилност. Явлението триене се споменава за пръв път в учебната програма по човекът и природата в 6. клас. Според нея ученикът трябва да може да “*Описва ролята на силите на триене при движение на човека и превозните средства.*”<sup>2</sup> Разглежда се обаче само явлението **триене при хлъзгане**. А за движението на човека и на сухоземните превозни средства от значение е преди всичко **триенето в покой!** Триенето при хлъзгане има значение само при изясняване на загубите на механична енергия при движенията и, когато превозните средства боксват или “занасят” (т.е. – когато триенето в покой е недостатъчно). И тъй като разликата между двете сили не може да се разкрие (все пак става дума за 6. клас!), изискваното по програма “описание” обикновено се свежда до изброяване на примери, в които триенето е “вредно”, и на други, в които то е “полезно”. Ако обаче се проследят тези примери в различните учебници, ще се установи, че примерите, в които триенето е посочено като вредно, се отнасят все до случаи, в които се проявява **триене при хлъзгане**, а случаите на полезно триене се отнасят все до **триене в покой**.

Проблемът е не в това, че в 6. клас триене при хлъзгане не се разграничава от триене в покой – там това наистина би надхвърлило възможностите на учениците. Проблемът е във факта, че разграничението не се прави и в 8. клас, когато отново се изучава триене. Там, в 8. клас вече съвсем определено става дума за триене при хлъзгане, но всичко се свежда до въвеждане на коефициент на триене и формулата  $f = kN$  (или съответно  $f = kP$ ), където  $N$  е нормалният натиск, а  $P$  – теглото.

По-долу предлагаме един подход за изучаване на триенето в покой и указваме къде той може евентуално да намери място в ДОИ и в учебната програма за 8. клас.

### *Аналогията нормална реакция на опората – триене в покой*

Проследяването на причинно–следствените връзки при възникване на двете на пръв поглед нямащи нищо общо помежду си **нормална реакция**

<sup>1</sup> Физика, 2010, 3, 115–120.

<sup>2</sup> Не е ясно защо за сила на триене авторите на програмата използват множествено число. Както силата на тежестта е една (но различна за различните тела), така и силата на триене е една, но различна в различните случаи. Или може би все пак те в неявен вид са имали предвид, че силите на триене са две: в покой и при хлъзгане?

**на опората и триене в покой** разкрива една аналогия, на която обикновено не се обръща внимание. Тя може да се демонстрира чрез следните разглеждания.

А) На фиг. 1,а са изобразени тяло, на което действа силата на тежестта  $G$ , и хоризонталната горна повърхност на опора, върху която ще легне тялото. С щриховани линии и в тялото, и в опората са маркирани границите на няколко мислено отделени в тях хоризонтални слоеве с еднакви дебелини.



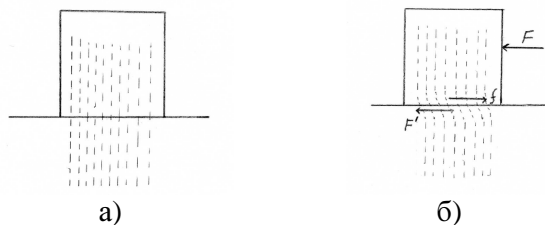
Фиг. 1

Какво става, когато тялото легне върху опората (фиг. 1,б)? Под действие на силата на тежестта приповърхностните слоеве и на тялото, и на опората се деформират (деформация на свиване), или, казано на обикновен език – сплескват се (тежест–причина, деформация–следствие). Еластичните деформации на слоевете в тялото пораждат (както при една свита пружина) сила на еластичност, приложена върху опората и насочена надолу. Тази сила на фигурата е означена с  $P$  и се нарича **тегло** на тялото (в общия случай – нормален натиск  $N$ ). От своя страна еластичните деформации на слоевете на опората (отново както при свита пружина) пораждат друга сила на еластичност, означена на фигурата с  $R$ , приложена върху тялото и насочена нагоре. Тази сила се нарича **нормална реакция на опората**.

Тъй като силите  $R$  и  $P$  са резултат от взаимодействието на двете допиращи се повърхности, третият принцип на механиката гарантира тяхното равенство:  $R = P$  (или  $R = N$ ). Проследяването на развитието на процесите във времето обяснява защо винаги  $R = G$ , т.е. – защо реакцията на опората уравнирява тежестта и тялото остава в покой. Наистина, деформацията на слоевете започва в момента, в който тялото докосне опората – то започва да “потъва” в нея и да се “сплесква”. В началото големините на двете сили на еластичност ( $R$  и  $P$ ), оставайки равни помежду си, са малки и нормалната реакция не уравнирява тежестта. Междувременно обаче деформациите растат, силите на еластичност – също, и това продължава, докато увеличаването на деформацията спре и тялото остане неподвижно.

И така, веригата от причинно–следствени връзки в случая има няколко звена: първопричина (сила на тежестта), чието първо следствие са еластичните деформации. От своя страна тези деформации в качеството на вторична причина предизвикват второ следствие – появата на две равни по големина и противоположни по посока сили на еластичност – теглото и нормалната реакция на опората. Нарастването на големините на двете сили е причина за достигане на крайния резултат – състоянието на покой на тялото.

Б) На фиг. 2,а са изобразени тяло и хоризонталната горна повърхност на опора, върху която то лежи. С щриховани линии и в тялото, и в опората са маркирани границите на няколко мислено отделени в тях вертикални слоеве с еднакви дебелини.



Фиг. 2

Какво става, когато върху тялото се приложи хоризонтална сила  $F$ , толкова малка, че тялото да остане в покой. Приповърхностните части на слоевете се деформират, по-точно – огъват се в противоположни посоки, така, както биха се огънали сноп еластични пластинки. “Пластинките” в тялото са огънати “назад”, т.е. към стената, върху която е приложена силата  $F$ . Като резултат от тази деформация върху опората се оказва приложена насочена “напред” сила, която на фигурата е означена с  $F'$ . Тази сила няма специално име (може би защото липсва и съществен ефект от действието ѝ). В същото време деформацията на “пластинките” в опората, които са огънати “напред”, т.е. – еднопосочно със силата  $F$ , поражда сила на еластичност  $f$ , приложена върху тялото и насочена противоположно на  $F$ . Отново третият принцип на механиката гарантира равенството  $f = F'$ . Ясно е, че, както и в случай А), от момента на прилагане на силата  $F$  деформациите ще растат до тогава, докато  $f$  не се изравни по големината с  $F$ .

Силата  $f$  е интересувашата ни **сила на триене в покой!**

Сравняването на двата случая (А и Б) наистина разкрива аналогията, която бе спомената по-горе: аналог на силата на тежестта  $G$  е силата  $F$ , на теглото  $P$  – силата  $F'$ , на нормалната реакция на опората  $R$  – триенето в покой  $f$ . Механизмът на тяхното възникване е един и същ, един и същ е и техният произход – и двете са сили на еластичност.

От тези разглеждания се вижда, че **нормалната реакция на опората и триенето в покой по същество представляват два частни случая на реакция на опората**. Те се различават само по своята посока: едната е перпендикулярна, а другата – успоредна на контактната повърхност. Тази разлика може да се смята несъществена и се дължи, разбира се, на посоката на силата, която предизвиква появата на всяка от силите. По-принципното различие е в това, че в единия случай става дума за деформации на свиване (както на цилиндрична пружина), а в другия – за деформации на огъване (както при стоманена пластинка).

Единният произход на двете сили проличава особено ясно в един по-общ случай, когато например тялото лежи неподвижно върху наклонена равнина. В този случай се наблюдава наличието и на двете сили, без да е необходима външна сила (т.е. без  $F$ ). Фактът, че тялото е неподвижно, подсказва, че тежестта му се уравнива от някаква сила и тази сила е общата **реакция на опората**, която в случая е вертикално нагоре. Тази реакция е сума (векторна, разбира се) от една нормална реакция на опората (предизвикана от перпендикулярната към равнината съставляща на тежестта) и от насочената нагоре по склона сила на триене в покой (предизвикана от успоредната на склона съставляща на тежестта). Вижда се, че наистина в случая самата сила на тежестта поражда и триене в покой, и нормална реакция на опората.

По подобен начин може да се разгледа и случаят (екзотичен в известен смисъл), в който тяло е притиснато от външна сила към вертикална стена и се

намира в покой. В този случай цялата сила на тежестта е в ролята на сила, предизвикваща триенето в покой.

Като по-съществена може да се разглежда разликата в зависимостта на големините на двете сили от нормалния натиск. Големините на нормалната реакция и на нормалния натиск са винаги равни<sup>3</sup>. Съвсем различен е случаят с триенето в покой. До определена граница големината му въобще не зависи от нормалния натиск и остава равна на големината на силата, която поражда триенето в покой. Тази граница обаче зависи от нормалния натиск  $N$  и от вида на допиращите се повърхности. Последната зависимост се отчита чрез коефициента на триене в покой  $k$ . При това положение максималната големина на триене в покой се определя от формулата  $f_{\max} = kN$ . Преминаването на тази граница предизвиква хлъзгане на тялото, при което действа съответният закон за триене при хлъзгане.

Разбира се, едно задълбочаване на разглежданията на микроравнище може да разкрие и други различия между нормалната реакция на опората и триенето в покой. Така например очевидно е, че максималното триене в покой (т.е. – коефициентът  $k$ ) трябва съществено да зависи от обработката на допиращите се повърхности – за две по-грапави повърхности  $k$  би трябвало да има по-голяма стойност. За подобна зависимост при нормалната реакция няма как да се говори.

#### *Разликата триене в покой – триене при хлъзгане*

Силата на триене в покой се различава съществено от силата на триене при хлъзгане. Триене в покой се проявява **само при наличие на сила, успоредна на повърхността на опората**. За наличие на триене при хлъзгане е достатъчно **само относително движение** на допиращите се повърхности една спрямо друга. (Едно тяло изпитва триене при хлъзгане и когато се движи “по инерция”, т.е. наистина не е необходимо да му действа някаква външна сила.)

Съществена е разликата и по отношение на това, от какво зависят големините на двете сили. Големината на триенето в покой е равна на големината на предизвикалата появата му външна сила. И само максималната ѝ стойност зависи от нормалния натиск ( $f_{\max} = kN$ ). Обратно – силата на триене при хлъзгане винаги зависи от нормалния натиск и в достатъчно широки граници големината ѝ се описва с формулата  $F = k'N$ , където  $k'$  е коефициентът на триене при хлъзгане. Важно е в случая, че двата коефициента – и този на триене при хлъзгане  $k'$ , и другият – при триене в покой  $k$ , са различни<sup>4</sup>.

#### *Кога, къде и как*

Да се върнем на поставените в заглавието въпроси. Отбележете, че там не е поставен въпрос **защо** трябва да се изучава триене в покой. Това не е пропуск – обидно би било на учител–физик да се обяснява значението на триенето в покой за възможността за движение на всички сухоземни превозни

<sup>3</sup> Като правило се смята, че големината на нормалната реакция на опората не е ограничена – т.е., че опората може да издържи всеки натиск (с други думи не се интересуваме от граници на еластичност, от възможност за счупване и пр. фактори, които на практика може да се окажат съществени).

<sup>4</sup> Обикновено се казва, че стойностите им са близки, като  $k'$  е малко по-малък от  $k$ , но и това “правило” си има своите изключения. Известно е например, че съвременните фирми, които разработват ски–вакси, създават за ски–бегачите вакси с голям коефициент на триене в покой (за да не се хлъзга назад ската на опорния крак) и малък коефициент на триене при хлъзгане (за да бъде облекчено преместването на другия крак напред).

средства, за неговата управляемост, сигурност и безопасност – все въпроси от изключителна важност в ежедневието ни<sup>5</sup>. Ето защо смятам, че обосновката на отговора на този въпрос е очевидна и не се нуждае от специално разглеждане.

Най-лесен е отговорът на първия въпрос – **кога**? Както вече бе отбелязано, триене в покой не е тема, която може да се разглежда в часовете по човекът и природата. Остава обучението по физика и астрономия в 8. клас, когато механичните явления се изучават на следващото, по-високо равнище.

Най-труден може би е въпросът **къде**? Той трябва да се разбира в смисъл “**за сметка на какво?**”, тъй като намаленият хорариум за изучаване на физиката не позволява в ДОИ (и съответно в учебните програми) да се включва нов материал. Тук обаче аз виждам следната възможност.

На проведената в Ловеч през април тази година Национална конференция върху въпроси на обучението по физика участниците бяха запознати с проекта за промени в ДОИ за обучението в 8.–10. клас. В предложението фигурира материал, който до сега не се изучаваше – величината **импулс** и **закона за запазване на импулса**. Не съм човек, на който трябва да се обяснява значението на този материал за физиката. Разбирам напълно съображенията, поради които членовете на комисията, подготвила промените, са включили импулса и закона за запазването му в ДОИ. Смятам обаче, че този факт е резултат от неправилно подреждане на **приоритетите**. При подбора на учебния материал, който да се включи в този важен нормативен документ, съставителите на ДОИ са изправени пред извънредно трудната задача да се съобразяват с редица критерии, някои от които, предвид нищожно малкото учебно време, се оказват взаимно изключващи се. Не на последно място сред тези критерии са изискванията за системност и пълнота, от една страна, и за практическо значение и приложимост – от друга.

Струва ми се, че при темите, свързани с механичните явления, при съставяне на проекта приоритет е даден на изискването за системност и пълнота, поради което е включен и въпросът за импулса и запазването му. Също така ми се струва обаче, че когато става дума за обучение в 8. клас, т.е. за материал, който ще се изучава от **всички** ученици, предимството трябва да бъде на страната на критерия за практическа приложимост и практическо значение. Ако това схващане се възприеме, следва заключението, че **въпросът за триене в покой, който е с несъмнено по-голямо практическо значение и приложение, трябва да замени въпроса за импулс и закона за запазване на импулса**. Това е и моят отговор на въпроса **къде**. А импулсът и запазването му може да се изучават в 11. или 12. клас (когато неизбежно ще се разглеждат отново въпроси от механиката!), но вече само с онези ученици, които проявяват по-задълбочен интерес към физиката.

Остана последният въпрос – **как**? На него вече следва да се посвети много по-подробно изследване от страна на специалистите, които се занимават с методите на обучение. От разкритата аналогия между нормалната реакция на

---

<sup>5</sup> Да не говорим, че бихме могли да спечелим за физиката не малко ученици, ако ги запознаем (или им дадем възможност да се запознаят) с отговорите на въпроси от рода на: защо автомобилните гуми са два вида – зимни и летни и каква е разликата между тях; какво представлява явлението аквапланинг, какви опасности крие и как се предотвратява; каква е ролята на грайферите на гумите и защо при някои състезания се използват гуми без грайфер; защо непосредствено преди старта на състезание във “Формула 1” състезателите загриват гумите като обикалят пистата и защо по време на състезанието сменят гумите толкова често и т.н, и т.н.

опората и триенето в покой, както и от подчертаните разлики между триене в покой и триене при хлъзгане следва едно единствено заключение: **естественото място за изучаване на триенето в покой е не при разглеждане на триене при хлъзгане, а при реакция на опората, като просто се разграничат двата частни случая: нормалната реакция на опората и успоредната реакция на опората, т.е. – триенето в покой!**

Разбира се, разглеждането трябва да се освободи от всички приведени по-горе подробности, за да изпъкне най-важното – единният механизъм на възникване на силите.

### Допълнение

Следният текст, публикуван в интернет от Д. Симанек (Donald E. Simanek) и озаглавен *Нека изчистим нашата физична терминология от триещата сила*. Като *триеща сила* превеждам английския термин friction force, който очевидно създава проблеми на англоговорящите. Въпреки че на български терминологично нещата стоят по-различно, важно в случая е, че авторът поставя ударение върху общия произход на силата на триене и на нормалната реакция на опората – ключовата теза, защитавана в по-горната, публикувана вече статия (вж. сп. Физика, **3**, 2010, 115–120).

А ето и текста на Симанек:

*Много от концептуалните трудности възникват, когато ключовите думи са неподходящи. Изразът “триеща сила” внушава на ученика, че триенето е вид сила, или, че триенето е “нещо” физично, което е способно да действа със сила върху други неща. По този начин се смесват явлението и следствията от това явление. Триенето е явление, което протича на контактната повърхност между две тела. Триенето е причина за възникване на две сили, двойка от типа действие–противодействие в съответствие с третия закон на Нютон: в резултат от явлението триене в допирната повърхност или в контактните точки, тялото А действа със сила върху тялото В и В действа на А със сила, равна по големина и с противоположна посока на първата. Вследствие на еластичните деформации на телата, те също взаимодействат със сила, нормална към (перпендикулярна на) допирната повърхност. В случая объркване от названието “нормална сила” не възниква, защото учениците не възприемат този термин като “сила, дължаща се на нормалата”. (Обаче някои може да си зададат въпроса какво би означавало “ненормална сила”?) Нормалната сила и силата, дължаща се на триенето, са съставлящи на една сила, която ние наричаме просто “сила на реакция” върху тялото, дължаща се на контакта му с друго тяло. За избягване на объркване е по-добре да се говори за “сила, дължаща се на триене”. Някои читатели предлагат термина "frictional force", тъй като суфиксът "-al" е еквивалент на “дължащ се на” и ще предпази ученика от мисълта, че е нещо различно от "friction force". Съмнявам се, че учениците ще схванат това.*