

За гравитацията – по-нагледно

Училищната практика показва, че често краен резултат от обучението по решаване на задачи по физика се оказва единствено създаването на умения у учениците да съобразяват в кой случай кои формули да използват, правилно да ги преобразуват и вярно да пресметнат числения резултат. Очевидно е, че от гледна точка на общите цели на обучението това са твърде тесни рамки. Неведнъж е обръщано внимание върху факта, че решаването на такива физични задачи, в които абстрактни, трудни за възприемане от съзнанието величини (каквато е например гравитационната сила на привличане между Земята и Луната) са свързани с величини и понятия от по-близкото всекидневие, спомага за по-дълбоко вникване във физиката на явленията, за изграждане на правилни представи за порядъците на величините, за това в кои случаи кои фактори са съществени и кои – пренебрежими и т.н. Като отчетем, че подобни задачи като правило съдържат и голям мотивационен заряд, става ясно, че решаването им спомага решително за по-пълно достигане на целта на обучението. Приведеният по-долу пример може да служи за илюстрация на казаното дотук.

Да се пресметне гравитационната сила, с която Земята привлича Луната при зададени маси на двете тела и на разстояние между центровете им, е задача проста и, в известен смисъл – неинтересна. Отговорът ѝ – някакво число по 10 на някаква степен, не дава нагледна представа за големината на силата. Много по-интересна дискусия може да се разгърне, ако задачата се постави така, че отговорът да се свърже с нещо по-познато. Една модификация в този смисъл е следната.

С колко дебел стоманен прът, свързващ Земята и Луната, може да се задържи последната върху орбитата ѝ, ако допуснем, че в определен момент гравитационното привличане изчезне? Масата на Луната е $m = 7,4 \cdot 10^{22}$ kg, на Земята – $M = 6,0 \cdot 10^{24}$ kg, разстоянието помежду им – $r = 3,8 \cdot 10^8$ m, стойността на гравитационната константа е $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ N.m²/kg², а стоманен прът с напречно сечение 1 m² издържа сила на опън $f = 5,0 \cdot 10^8$ N.

Ако означим с d търсения диаметър на пръта и приравним гравитационната сила $G \frac{mM}{r^2}$ с максималната сила $f \frac{\pi d^2}{4}$, която може да издържи стоманен прът с диаметър d , намираме $d = \frac{2}{r} \sqrt{G \frac{mM}{\pi f}} = 7,2 \cdot 10^5$ m. С други думи диаметърът на пръта би бил около 720 km – един път и половина повече, отколкото разстоянието София–Варна. Напречното сечение на такъв прът е почти четири пъти по-голямо от площта на България.

По-нататък може да се направи връзка с ученото по география – вземете данни за годишното световно производство на стомана и пресметнете колко години трябва да работят всички заводи, за да произведат необходимото количество стомана за направа на въпросния прът. Ще се окаже, че неговата маса е от порядъка на масата на Земята (!) – като използвате данните за радиуса на желязното ядро на Земята, може да пресметнете дали цялото налично в Земята желязо е достатъчно за направата на пръта.

Ако тази задача заинтригува учениците, може да им предложите да пресметнат колко дебел прът трябва да свърже Земята със Слънцето, за да остане тя върху орбитата си, ако изчезне гравитацията. Допълнителните данни за масата на Слънцето ($2 \cdot 10^{30}$ kg) и разстоянието Земя–Слънце ($1,5 \cdot 10^{11}$ m) позволяват да се пресметне, че в този случай прътът трябва да бъде около 13 пъти по-дебел, тъй като сега гравитационната сила е около 170 пъти по-голяма ($13^2 \approx 170$).

Накрая, задачата дава възможност да коментираме относителността на твърдението, че гравитационните сили са най-слабите измежду фундаменталните

природни сили, да разсъждаваме на тема “най-слаби в сравнение с какво?”, тъй като резултатите показват, че сами по себе си тези сили могат да бъдат огромни (спрямо нашите човешки мащаби).

По долният пример пък илюстрира “слабостта” на гравитацията.

За съотношението между гравитационната и електричната сила

Впечатляващ факт, който убедително онагледява съотношението между гравитационната и електричната сила, е следният: *ако връзката между протона и електрона във водородния атом се осигурява не от електричното, а от гравитационното привличане между двете частици, размерът на атома би превишил радиуса на Вселената!!!*

За да се убедите в това, спомнете си, че най лесно Боровият радиус R на водородния атом се получава, като се изключи скоростта v от израза за центробежната сила $mv^2/R = F$ и от условието на Бор за квантуване на момента на импулса – $mvR = h/2\pi$ (за най-вътрешната орбита). Ако заместите F веднъж от закона на Кулон и втори път – от закона на Нютон за гравитацията и пресметнете двата радиуса на атома, за отношението им ще получите $R_{гр}/R_{ел.} = 4\pi\epsilon_0 GMt$, където G е гравитационната константа, а M и t – масите съответно на протона и електрона.

Този пример е полезен – когато кажем на учениците, че електричната сила между протона и електрона превишава 10^{40} пъти гравитационната, това не може да предизвика у тях особени асоциации, защото никой не е в състояние да си представи колко огромно е числото 10^{40} . Същевременно у децата вече има изградени известни представи за атома, като за нещо изключително малко, и за Вселената – като за нещо изключително голямо. Затова бихме ги впечатлили значително повече, ако, сравнявайки електричните и гравитационните сили, им съобщим, че замената на първите с вторите би “раздуло” водородния атом далеч, далеч извън границите на видимата Вселена.