

Бележка за една класическа демонстрация

На поколения ученици (не само у нас) е показван следният опит: електрически звънец е окачен под стъклен похлупак. Вакуумна помпа постепенно изтегля въздуха изпод капака, при което звукът от звънеца отслабва и, когато налягането падне до около 1 cm Hg, престава да се чува. Резултатът от опита се използва, за да се направи извод: *звукът не се разпространява във вакуум.*

Твърдението, разбира се, е вярно, но дали то **следва** от описания опит? (Всъщност, като знам състоянието на повечето училищни кабинети по физика и постоянния цайтнот, в който работят учителите, силно се съмнявам дали някой все още прави тази демонстрация. Тя обаче почти задължително присъства в учебниците!)

За да отговорим на зададения въпрос, трябва да се опрем на някои общи факти, отнасящи се до механичните вълни. Вълновото движение е по принцип колективно движение. В една среда може да се разпространява механична вълна само, ако разстоянието между частиците в средата е значително по-малко от дължината на вълната. За газовете мярка за разстоянието между градивните частици е дължината λ на техния среден свободен пробег. Дължината на излъчваната от звънеца звукова вълна е от порядъка на 1 m. Следователно, ние ще имаме основание да твърдим, че в пространството под стъкления похлупак не се разпространява звук, ако средният свободен пробег на въздушните молекули е от порядъка поне на метър.

Оценка за λ можем да направим с помощта на “класиците” – отваряме съответния “учебник на Милко Борисов”¹ и от него узнаваме, че средният свободен пробег може да се пресметне по формулата:

$$\lambda = \frac{1}{\pi d^2 n},$$

където d е диаметърът на молекулата (смятана сферична), а n – броят молекули в единица обем². Указано е още, че при нормални условия средният свободен пробег на въздушните молекули е $\lambda = 10^{-7}$ m.

Тъй като налягането p на газа е обратно пропорционално на концентрацията n на молекулите, според този формула намаляването на налягането от 76 cm Hg до 1 cm Hg би трябвало да увеличи дължината на свободния пробег 76 пъти. Така получаваме, че във “вакуума” под стъкления похлупак средният свободен пробег на молекулите е от порядъка на хилядни от милиметъра ($76 \cdot 10^{-7}$ m), т.е. няколко порядъка по-малък от дължината на вълната³. Следователно звукът там спокойно си се разпространява!

И все пак, защо не го чуваме?

Количественото обяснение на явлението е сложно – то трябва да включва пресмятане зависимостта от налягането на коефициентите на отражение и на преминаване на звука за двете граници въздух–стъкло. Подобни пресмятания

¹ **Борисов М.** и др. Физика за 10. клас на общообразователните трудово-политехнически училища, София, Народна просвета, 1972.

² По-младите колеги-учители може да се учудят, че преди почти 40 години в 10. клас е изучаван толкова сложен материал. За тях ще отбележа, че опитът за въвеждането му в масовото училище се оказва неуспешен.

³ За тези, които биха запитали защо не отчитаме влиянието на налягането върху дължината на вълната напомниме, че последната зависи от честотата на звънеца, която е постоянна, и от скоростта на звука.

Според формулата на Лаплас, обаче, скоростта на звука в идеален газ се описва с израза $c = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} RT}$,

т.е. и тя не зависи от налягането. (Тук $\gamma = c_p/c_v$ е отношението между специфичните топлинни капацитети при постоянно налягане и при постоянен обем, R – универсалната газова константа, а T – абсолютната температура.) Следователно наистина дължината на вълната не се променя при намаляване на налягането.

обикновено се правят за плоски граници (каквито тук няма) и т.н. – усложнения отвсякъде. Най-общо може да се каже, че с намаляване на налягането намалява и звуковата енергия, предавана от въздуха към стъкления похлупак, а чрез него – и в околното пространство. На качествено равнище това може да се разбере с помощта на следната аналогия.

Звънецът и стъкленият похлупак представляват две тела, които са в състояние да трептят, а въздухът осъществява връзката между тях. Можем да си ги представяме като две махала, свързани с еластична нишка (въздухът играе роля на нишката): когато разтрептим едното махало, посредством нишката се прехвърля енергия към второто и то също започва да трепти. Ако обаче нишката постепенно изтънява и връзката става все по-слаба, прехвърлянето на енергия става все по-трудно, така че в граничния случай на изчезваща нишка никаква енергия няма да се прехвърли към неподвижното махало. Намаляването на въздушното налягане под стъкления похлупак е равносилно на отслабване на връзката между двете махала: под една граница за налягането звук около звънеца има, но той не може да разтрепти стъкления похлупак, а оттам и невъзможността да премине в околното пространство.

Е, и...? Какво следва от тази бележка? Не вярвам заради нея да престане използването на тази демонстрация – както в клас, така и в учебниците. Твърде ефективна е и предполагам, че който от учителите или авторите на учебници я е използвал до сега, ще продължи да я използва и в бъдеще. Заедно с погрешното заключение, че тя **доказвала**, че звукът не се разпространява във вакуум. Въпреки съзнанието, че нищо в преподаването няма да се промени, публикувам бележката по две причини. Първо, смятам, че учителят трябва да е наясно с истинското положение, макар и да казва на учениците друго. Нали все пак учителят трябва да знае нещо повече от учениците! И, второ, за съжаление това не е единствената демонстрация, от която правим необосновани изводи.