

Термометърът на Галилей¹

Галилей е конструирал термометър, който днес носи неговото име и в някои страни се продава като интересен сувенир. Уредът представлява затворен вертикален стъклен цилиндър, по-голямата част от който е запълнена от безцветна прозрачна течност². В течността са потопени няколко (6–10) запоеани стъклени ампули с разноцветни течности. Към всяка ампула е прикрепено метално етикетче, върху което е отбелязана определена стойност на температурата. Масата и обемът на всяка ампула са подбрани така, че силата на тежестта и изтласкващата Архимедова сила да се уравниават, когато температурата на течността е равна на отбелязаната върху етикетчето. Така, ако ампулите, върху които е отбелязано 20 °С и 22 °С плават, а тези с означения съответно 18 °С и 16 °С и т.н. – са потънали на дъното, то температурата е между 18 °С и 20 °С. Уредът се използва в интервала на стайните температури и от естетична гледна точка предимството му пред традиционните температури е очевидно. Освен това като се знае на кой цвят на течността в ампулите каква температура съответства, отчитането на показанията може да се прави от значително разстояние.

Ето някои въпроси, които можете да обсъдите с учениците:

- Защо стъкленият цилиндър е затворен?
- Какви недостатъци на термометъра на Галилей можете да посочите?
- Кога термометърът е по-чувствителен – когато в цилиндъра е налята вода, или когато е налят спирт?

По-долу представяме количествено разглеждане на последния въпрос.

Функционирането на термометъра на Галилей се основава върху баланса между силата на тежестта и Архимедовата сила, действащи на дадена ампула. Доколкото силата на тежестта е постоянна, плаването или потъването на ампулата се определя само от Архимедовата сила F_A . Следователно мярка за чувствителността на

термометъра ще бъде производната $\frac{dF_A}{dt}$ на F_A спрямо температурата t – колкото по-голяма промяна на силата предизвиква определена промяна на температурата, толкова по-чувствителен е термометърът.

На поставения въпрос за чувствителността не може ад се отговори на качествено равнище, защото са налице два фактора, действащи в противоположни посоки. От една страна температурният коефициент на разширение на спирта е по-голям от този на водата и поради това термометърът със спирт би трябвало да е по-чувствителен. От друга страна обаче, плътността на водата е по-голяма от плътността на спирта, така че е възможно дори по-малка промяна на плътността ѝ да предизвика по-голяма промяна на Архимедовата сила. Ето защо проблемът трябва да се разгледа количествено.

Ако означим с V обема на ампулата, с g – земното ускорение, а с ρ – плътността на течността, Архимедовата сила е:

$$(1) \quad F_A = \rho g V .$$

Посредством формулата:

$$(2) \quad \rho = \frac{M}{V}$$

плътността може да се изрази посредством масата M на изместената от ампулата течност и обема V на ампулата. И тъй като за относително тесните температурни

¹ Физика, 5, 2003, с. 79–80.

² Всъщност Галилей е конструирал и съвсем друг уред, наричан също “термометър на Галилей” – стъклен балон с дълго гърло, отвореният край на което е потапен във вода. Промените на температурата разширяват или свиват въздуха в балона и равнището на водата съответно се понижава или повишава. Заради очевидната зависимост на това равнище и от атмосферното налягане, този уред не се е наложил.

интервали, за които се използва термометърът, обемът е линейна функция на целзиевата температура, то:

$$(3) \quad V = V_0[1 + \beta(t - 20)],$$

където β е температурният коефициент на обемно разширение на течността при 20°C , а V_0 – обемът ѝ при тази температура.

От приведените формули следва, че като функция на температурата Архимедовата сила се описва с израза:

$$(4) \quad F_A = \rho_0 g V \cdot \frac{1}{1 + \beta(t - 20)}.$$

Чрез диференциране по t за търсената производна получаваме:

$$(5) \quad \frac{dF_A}{dt} = - \frac{\rho_0 g V \beta}{[1 + \beta(t - 20)]^2}.$$

(Знакът минус означава, че, както и трябва да се очаква, с повишаване на температурата както плътността на течността, така и Архимедовата сила намалява намаляват.

Търсената чувствителност всъщност зависи от модула на $\frac{dF_A}{dt}$.)

Като отчетем, че и за водата, и за спирта β не надминава 10^{-3} , за отклонения от десетина градуса над или под 20°C можем да смятаме знаменателя в (5) приблизително равен на 1. При това положение чувствителността на термометъра се определя единствено от произведението $\beta\rho_0$ за двете течности.

Тъй като плътността на водата е 10^3 kg/m^3 , а температурният ѝ коефициент на обемно разширение – примерно $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, за нея въпросното произведение е $\beta\rho_0 \approx 0,23 \text{ kg}/(\text{K} \cdot \text{m}^3)$. Плътността на спирта е 790 kg/m^3 , а температурният коефициент на обемното му разширение – $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Следователно за спирта съответното произведение е $\beta\rho_0 \approx 0,87 \text{ kg}/(\text{K} \cdot \text{m}^3)$.

Сравнението между получените две числа за произведението $\beta\rho_0$ показва, че със спирт термометърът на Галилей ще бъде почти четири пъти по-чувствителен, отколкото с вода.