

13 Определяне скоростта на звукова вълна във въздух

Теоретична обосновка

Звукови (или акустични) вълни се наричат разпространяващите се в някаква среда пъргави трептения с честота от 16 до 20000 Hz. Вълните с посочените честоти, въздействайки на слуховия апарат на човека, предизвикват усещане за звук. Вълните с честоти по-ниски от 16 Hz (инфразвукови) и с честоти по-високи от 20 kHz (ултразвукови) не се възприемат от човека.

Звуковите вълни, разпространяващи се в газовете и течностите, могат да бъдат само надлъжни, тъй като тези среди притежават еластичност само по отношение на деформацията на свиване (и разтягане). В твърдите тела звуковите вълни могат да бъдат както надлъжни, така и напречни, тъй като твърдите тела притежават еластичност както по отношение на деформациите на свиване (разтягане), така и по отношение на хлъзгането на едни пластове спрямо други.

Източник на звук може да бъде всяко тяло, трептящо в пъргави среда със звукова честота (например в струнните инструменти източник на звук се явява струната, съединена с корпуса на инструмента).

Извършвайки трептене, тялото предизвиква трептене на прилежащите към него частици на средата, които започват да трептят със същата честота. Състоянието на трептеливо движение последователно се предава към все по-отдалечени от тялото частици на средата, т. е. в средата се разпространява вълна с честота на трептене, равна на честотата на източника.

Звуковите вълни имат физически и психофизически характеристики. Физически характеристики на звуковата вълна са нейната честота, дължина на вълната, скорост на разпространение и интензивност. Скоростта на разпространение на звуковата вълна зависи от плътността и пъргавите свойства на средата, в която се разпространява тя. Скоростта на разпространение на звуковата вълна в газовете се изчислява по формулата

$$v = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}, \quad (11.1)$$

където R е моларната газова константа, M – моларната маса, $\gamma = C_p/C_v$ е отношението на моларните топлинни капацитети на газа при постоянни налягания и обем, а T – термодинамичната температура. От формула (11.1) следва, че скоростта на звука в газа не зависи от налягането p на газа, но се повишава с повишаване на температурата. Колкото по-голяма е моларната

маса на газа, толкова по-малка е скоростта на звука в него. При $T = 273,15$ К имаме: $R = 8,31$ J/(mol.K) и $M = 29 \cdot 10^{-3}$ kg/mol .

При разпространение на звука в атмосферата трябва да бъдат отчетени много фактори: скорост и посока на вятъра, влажност на въздуха, молекулна структура на газовата среда, явленията на пречупване и отражение на звука на границите на две среди. Освен това всяка реална среда притежава вискозност, затова се наблюдава затихване на звука, т. е. намаление на амплитудата и следователно на интензивността на звуковата вълна при нейното разпространение. Затихването на звука е обусловено в значителна степен от поглъщането му в средата, свързана с необратимия преход на звуковата енергия в други форми на енергия (основно топлинна енергия).

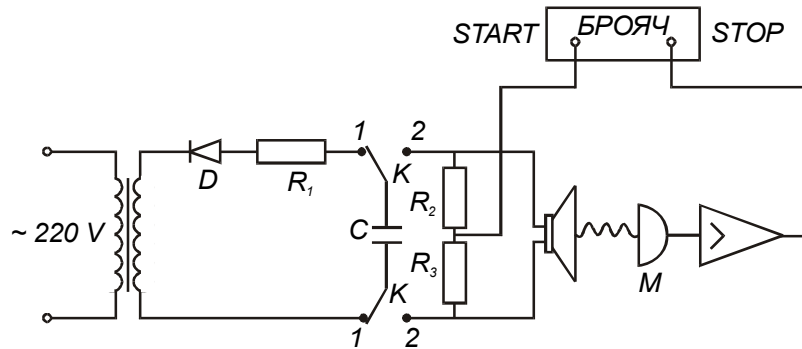
В лабораторни условия, при постоянна влажност и молекулна структура на газовата среда, скоростта на звука може да се пресметне по формулата за скорост при равномерно праволинейно движение:

$$v = \frac{\ell}{t}, \quad (11.2)$$

където t е времето, за което звуковата вълна изминава разстояние ℓ .

Опитна постановка

С лабораторната установка се измерва времето, за което звукът изминава разстоянието от високоговорител до микрофон с точност до $1 \mu\text{s}$. Реализираният принцип на действие е показан на фиг. 11.1.



Фиг. 11.1. Схема на опитната постановка

В положение 1 на ключа K кондензаторът C се зарежда до напрежението на захранващия източник. При превключване на ключа в положение 2 кондензаторът C се разрежда през успоредно свързаните високоговорител и съпротивителен делител на напрежение R_2 и R_3 , което

поражда съответно звуков сигнал и електрически импулс, който задейства брояча. Звуковият сигнал се улавя от микрофона, като едновременно с това се формира сигнал за спиране на брояча, върху който остава записано времето, за което звукът е изминал разстоянието от високоговорителя до микрофона. Схемата е така разработена и изпълнена, че първият звуков сигнал, стигнал до микрофона, да спира брояча. Предвидено е още устройството да функционира при относително висок шум, без последният да влияе върху работата му.

При генерирането на акустичния импулс има едно специфично закъснение в “отговора” на високоговорителя, което обаче е постоянно. То може да се изключи като се измерят времената t' и t'' , за които звуковата вълна изминава съответно разстоянията l' и l'' , а скоростта на звука се пресметне по формулата:

$$v = \frac{l'' - l'}{t'' - t'} \quad (11.3)$$

Задачи и указания за изпълнението им

Задача 1. *Определете скоростта на звука във въздух. Изчислете и анализирайте грешката при тези измервания.*

Задача 2. *Направете измерване на скоростта на звука в някоя течна или твърда среда.*

Задача 3. *Изчислете скоростта на звука при температурата на лабораторията по формула (11.1) и сравнете теоретичната с експерименталната стойност на скоростта на звука.*