

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Определение скоростей звука, распространяющегося в виде продольных и поперечных волн в твердых телах

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

В твердых телах звук распространяется в виде продольных и поперечных волн. Однако имеется существенная разница в скорости двух этих типов звуковых волн, поскольку продольные звуковые волны определяются модулем упругости твердого тела, а поперечные звуковые волны зависят от модуля сдвига твердого тела. Измерив скорость этих двух типов волн, можно определить модуль упругости твердого тела.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Ультразвуковой эхоскоп	U100101
2	Ультразвуковой зонд с частотой 1 МГц	U10015
1	Комплект оборудования для опытов «Ультразвук в твердых телах»	U10020
1	Алюминиевый брусок для опытов со шкалой транспорта	U10022
1	Набор из 3 цилиндров	U10026
1	Связующий гель для опытов с ультразвуком	XP999

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

В газах и жидкостях звук распространяется исключительно в виде продольных волн. В этом опыте звуковое давление колеблется вокруг равновесного значения и создает колеблющиеся области сжатия и разрежения. Звук также проникает в твердые тела в виде поперечных волн, в которых колеблется напряжение сдвига. Поперечные волны способны распространяться в твердых телах, потому что твердые тела обладают необходимым сопротивлением сдвигу, требующимся для того, чтобы проводить звук.

Продольные и поперечные волны обладают разными скоростями, которые зависят от плотности ρ и модуля упругости твердого тела. Скорость продольных волн, определяемая выражением

$$(1) \quad c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

E : модуль упругости, μ : коэффициент Пуассона,

больше, чем скорость поперечных волн

$$(2) \quad c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

G : модуль сдвига

Связь между модулем упругости E , модулем сдвига G твердого тела и коэффициентом Пуассона определяется следующим равенством:

$$(3) \quad \frac{E}{G} = 2 \cdot (1 + \mu)$$

Поэтому можно рассчитать все три величины, характеризующие упругость, зная две скорости звука c_L и c_T .

В этом опыте сначала измеряется время распространения t ультразвукового сигнала с частотой 1 МГц через три полиакриловых цилиндра различной длины s . Значения наносятся на график в системе координат $s-t$ (см. рис. 1). По наклону линии наилучшего соответствия измеренным значениям получаем скорость продольной волны звука в полиакриловом теле.

Затем резервуар наполняется водой и помещается на пути распространения волны. Измеряется время прохождения. Время прохождения уменьшается путем помещения на пути волны тонкой плоскопараллельной пластины из полиакрила или алюминия. Это происходит потому, что в материале пластины звук распространяется быстрее, чем в воде. Снятие точных показаний осуществляется позади резервуара с водой при двух отчетливо различающихся ультразвуковых сигналах, что вызвано различным временем распространения продольных и поперечных звуковых волн в твердых телах (см. рис. 2).

Если пластину отклонить на угол α относительно падающей волны, то, согласно закону Снеллиуса, волна преломится, и мы получим две преломленные волны под углами β_L и β_T (см. рис. 3).

$$(4) \quad \frac{c}{\sin \alpha} = \frac{c_L}{\sin \beta_L} = \frac{c_T}{\sin \beta_T}$$

c : скорость звука в воде

Поскольку две скорости звука, c_L и c_T , в твердом теле больше, чем скорость звука c в воде, мы можем в итоге наблюдать явление полного отражения – отдельно для продольных и поперечных волн, – при котором передаваемый сигнал полностью исчезает. Соответствующие скорости можно измерить по критическим углам α_L для продольных волн и α_T для поперечных волн:

$$(5) \quad c_L = \frac{c}{\sin \alpha_L} \quad \text{и} \quad c_T = \frac{c}{\sin \alpha_T}$$

ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

а) Показания из первой серии измерений времени распространения не лежат на прямой, проходящей через точку начала отсчета в системе координат $s-t$. Это обусловлено тем, что время распространения, которое требуется сигналу для прохождения через переходный и защитный слой ультразвукового измерительного датчика-преобразователя, также систематически измеряется.

б) Из уравнений 1 – 3 получаем характеристическое уравнение для коэффициента Пуассона μ

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{c_L}{c_T} \right)^2 - 1}{\left(\frac{c_L}{c_T} \right)^2 - 1}$$

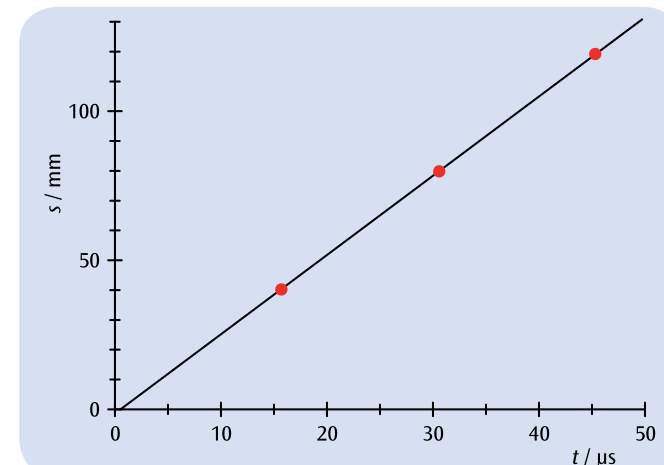


Рис. 1: График $s-t$ ультразвукового сигнала в полиакриловом теле

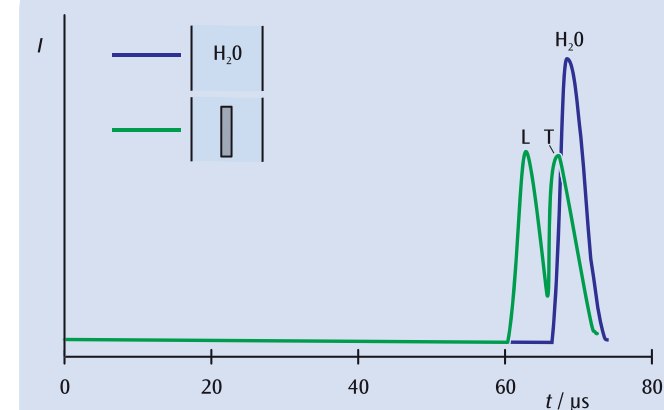


Рис. 2: Ультразвуковой сигнал после проникновения в водяной резервуар (синий: без плоскопараллельной пластины, зеленый: с плоскопараллельной пластиной)

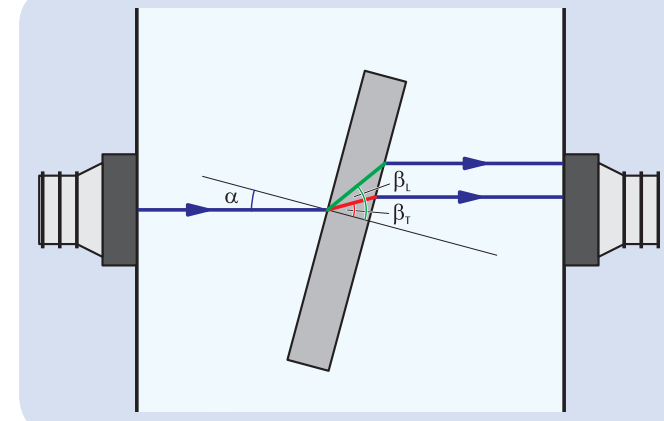


Рис. 3: Экспериментальная установка для определения скорости звука в случае продольных и поперечных волн по критическим углам полного отражения

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Определение скорости звука в случае продольных волн в полиакриловом теле по времени распространения ультразвукового сигнала с частотой 1 МГц.
- Измерение передачи продольных и поперечных звуковых волн в твердых телах с помощью наклонной плоскопараллельной пластины.
- Определение скорости звука в случае продольных и поперечных волн по критическому углу полного отражения.
- Определение модуля упругости E , модуля сдвига G и коэффициента Пуассона твердого тела μ по двум значениям скорости.