



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Процесс распространения колебаний в среде называется **волной**. Частицы среды совершают колебания около положения равновесия. При этом происходит передача энергии без переноса вещества.

Волны бывают *продольными* и *поперечными* в зависимости от направлений колебаний частиц среды.

Если направление колебаний частиц коллинеарно с направлением распространения волны, то эта волна называется **продольной**; если направление колебаний частиц перпендикулярно направлению распространения волны, волна называется **поперечной**.

Поперечные волны обусловлены упругими деформациями *сдвига*, **продольные** – деформациями *сжатия* и *растяжения*.

В *твердых* телах наблюдается оба вида деформации, поэтому в них распространяются и продольные, и поперечные волны. В *жидкостях* и *газах* деформации сдвига неупругие, т.е. сдвинутые друг относительно друга слои жидкости или газа не стремятся вернуться в исходное положение. Следовательно, в жидкостях и газах распространяются только продольные волны.

Итак, в воздухе распространяются продольные волны, представляющие собой изменение со временем *концентрации* молекул воздуха или *давления* в каждой точке пространства.

Механические колебания в упругих средах и телах, частоты которых лежат в пределах от 16 до 20 000 Гц, называются **звуковыми**. Механические колебания с частотами ниже 16 Гц называют **инфразвуком**, а выше 20 000 Гц – **ультразвуком** (рис. 1).

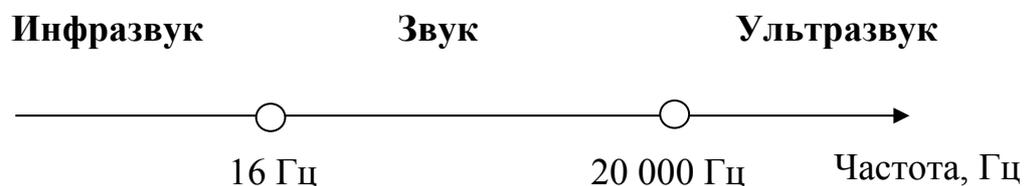


Рис. 1

Звук распространяется с определенной, но различной скоростью в твердых, жидких и газообразных средах.

Волны, которые характеризуются одинаковой частотой и

постоянством разности фаз называются **когерентными**. В результате наложения когерентных волн наблюдаются явления усиления колебаний в одних местах, ослабление или полное гашение в других. Такое явление называется **интерференцией**.

Частным случаем интерференции является наложение двух встречных волн одинаковых частот и амплитуд. В этом случае образуются **стоячие волны**. Если положить начальную фазу колебания источника равной нулю, то уравнение бегущей волны можно записать в виде (направление распространения волны совпадает с осью x)

$$\xi_1(x, t) = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) = A \cos \left(\omega t - \frac{2\pi x}{T v} \right) = A \cos(\omega t - kx), \quad (1)$$

где $\xi_1(x, t)$ – смещение частицы от среднего значения в момент времени t , A – амплитуда колебаний, ω – циклическая частота, $k = 2\pi / \lambda$ – волновое число, λ – длина волны, x – координата колеблющейся частицы, v – *фазовая скорость* распространения волны в упругой среде.

Фазовая скорость – это скорость перемещения данной фазы волны, она зависит от упругих свойств среды и от ее плотности.

Длина волны – это расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковой фазе или расстояние на которое распространяется волна за один период.

Если бегущая волна встречает преграду, то появляется обратная волна, уравнение которой имеет вид

$$\xi_2(x, t) = A \cos(\omega t + kx). \quad (2)$$

В результате интерференции этих двух волн возникает следующий колебательный процесс:

$$\xi(x, t) = \xi_1(x, t) + \xi_2(x, t) = 2A \cos kx \cos \omega t = 2A \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right) \cos \omega t. \quad (3)$$

Из анализа уравнения (3) следует, что в каждой точке стоячей волны происходят колебания той же частоты ω , что и у интерферирующих волн, а амплитуда стоячей волны не зависит от времени и является функцией координаты x :

$$A_{\text{ст}} = \left| 2A \cos \left(\frac{2\pi x}{\lambda} \right) \right|. \quad (4)$$

Максимальное значение (т.е. $A_{\text{ст}} = 2A$) амплитуда достигает в тех точках пространства, координаты которых удовлетворяют условию

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \pm m\pi, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (5)$$

Минимальное значение (т.е. $A_{ст} = 0$) амплитуда достигает в тех точках пространства, координаты которых удовлетворяют условию

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \pm(2m + 1)\frac{\pi}{2}, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (6)$$

Точки, в которых амплитуда колебаний максимальна, называются **пучностями стоячей волны**, а точки, в которых амплитуда колебаний равна нулю – **узлами стоячей волны** (рис. 1).

Тогда, координаты пучностей и узлов будут равны:

$$x_n = \pm m \frac{\lambda}{2}, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (7)$$

$$x_{узн} = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2}, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (8)$$

Из формул (7), (8) видно, что расстояние между соседними пучностями и соседними узлами равно $\frac{\lambda}{2}$, между пучностью и узлом

$$\left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2} - m \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{4}. \quad (9)$$

В интервале $\lambda/2$ между соседними узлами находятся точки, колеблющиеся с различными амплитудами, но в одинаковых фазах, т.е. одновременно достигающие максимума смещения.

Будет ли на границе отражения узел или пучность, зависит от соотношения плотностей сред (рис. 2). Если среда, от которой происходит отражение, менее плотная то при отражении фаза волны не меняется, и в месте отражения возникает

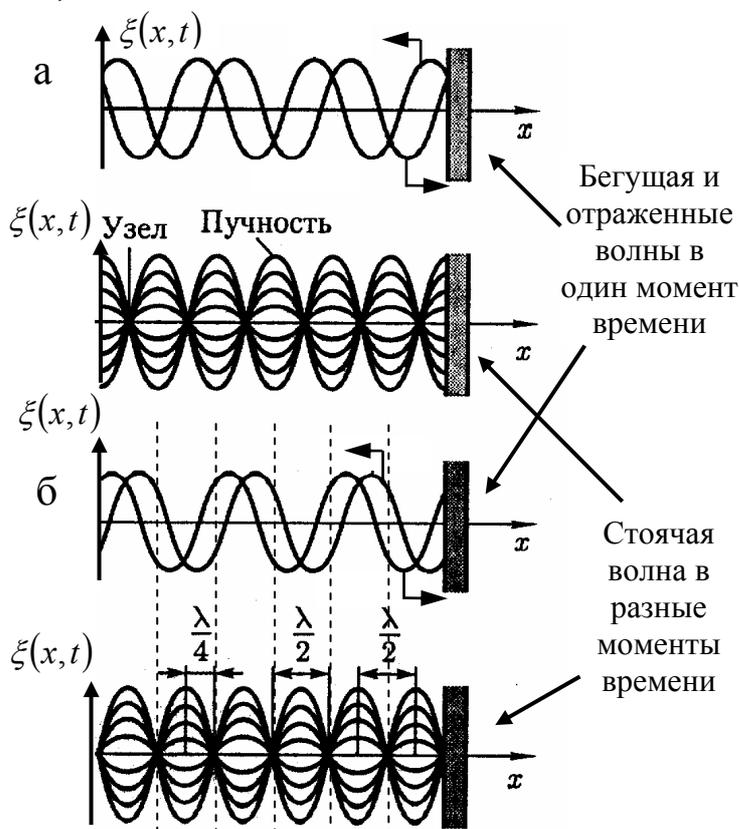


Рис. 2

пучность (рис. 2, а), если *более плотная* тогда при отражении фаза изменяется на противоположную (говорят, что на границе происходит потеря половины длины волны) и колебания в противоположных фазах гасят друг друга – образуется *узел* (рис. 2, б).

На рис. 3 показаны зависимости бегущей и стоячей волн для разных моментов времени и зависимости модулей амплитуд волн от координаты x .

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$$

Бегущая волна для
трех моментов времени

$$\xi(x, t) = 2A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \cos \omega t$$

Стоячая волна для
четырех моментов времени

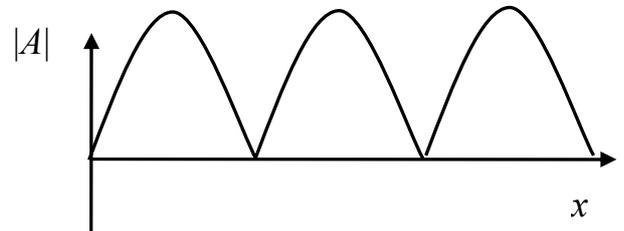
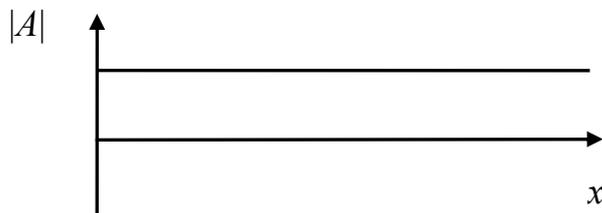
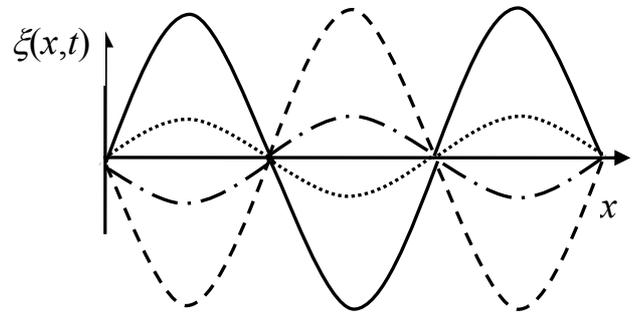
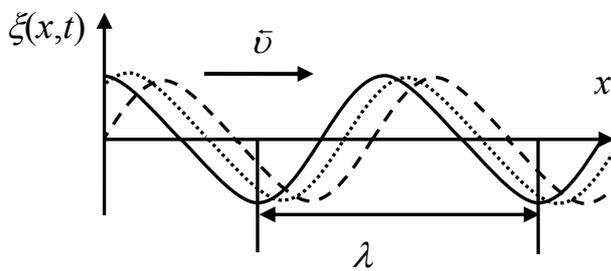


Рис. 3

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ И МОДУЛЯ ЮНГА

Цель лабораторной работы – ознакомление с одним из методов определения скорости распространения звука в твердых телах и рассчитать модуль Юнга.

Оборудование: установка (звуковой генератор, датчик, приемник, осциллограф, зажим). *Получить:* два стержня (стальной и латунный).

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Зависимость фазовой скорости от упругих свойств среды и от ее плотности для продольных волн имеет вид

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1)$$

где E – модуль Юнга среды, ρ – плотностью среды.

В бесконечном металлическом стержне стоячие волны создаются при любой частоте бегущих волн. В ограниченном стержне могут установиться стоячие волны только при некоторых частотах, величина которых зависит от длины стержня, условий на его концах и от способа закрепления стержня. От этих условий зависят собственные частоты колебания стержня, а стоячие волны в ограниченном стержне возникают тогда, когда частота вынуждающих колебаний совпадает с одной из собственных частот.

В нашей установке на одном конце стержня действует вынуждающая сила, которая заставляет частицы совершать колебания на этом конце. Следовательно, здесь всегда будет *пучность* волны. На противоположном конце стержня в зависимости от плотности внешней среды появится пучность или узел. Если конец стержня находится в контакте с более плотной средой, то при отражении фаза

изменяется на противоположную (происходит потеря половины длины волны). Таким образом, на этой границе складываются колебания с одинаковой амплитудой и противоположными фазами, что приводит к появлению узла (колебания в противоположных фазах гасят друг друга). Если конец стержня находится в контакте с менее плотной средой (что и реализовано в данной установке – происходит контакт с воздухом), то при отражении фаза волны не меняется, потери полуволны нет, и стоячая волна будет иметь здесь *пучность*. Следовательно, в нашей установке на обоих концах стержня имеются пучности стоячей волны. Кроме того, стержень в установке жестко закреплен посередине, понятно, что жесткое крепление не позволяет частицам стержня совершать колебания, и в этом месте всегда будет *узел*. Частоты, соответствующие этим условиям, будут *собственными частотами* колебаний данного стержня.

На (рис. 1) представлены формы собственных колебаний стержня низкой частоты. В случае а) (рис. 1) на длине стержня укладывается *половина длины волны*, в случае б) – *три половины длины волны*, и т.д.

Если l – длина стержня, то в стержне реализуются только такие колебания, половина длины волны которых укладывается на длине стержня нечетное число раз

$$l = n \frac{\lambda}{2}. \quad (2)$$

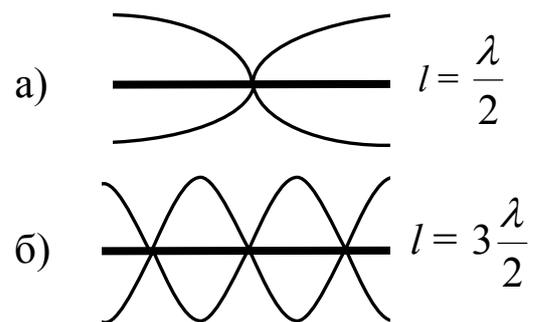


Рис. 1

Колебания, соответствующие $n = 1$, называются **основным тоном**. Колебания, соответствующие $n = 3, 5, \dots$ называются **обертонами**. Зная n и длину стержня можно определить длину волны

$$\lambda = \frac{2l}{n}. \quad (3)$$

Колебания в изучаемом стержне возбуждаются с помощью электромагнита – датчика, на который подается переменное напряжение звуковой частоты от звукового генератора. Переменное магнитное поле, действуя на один конец ферромагнитного стержня, возбуждает в нем продольные волны. Если стержень не ферромагнитный, то к его концам прикрепляются пластинки из ферромагнетика. У другого конца стержня устанавливается приемник,

устроенный также, как и датчик. В его обмотках наводится ЭДС индукции в результате изменения магнитного поля, созданного колеблющимся стержнем. Сигнал с приемника подается на вертикальный вход осциллографа.

Необходимо следить, чтобы датчик и приемник не касались стержня – имелся небольшой зазор между ними. Схема установки приведена на рис. 2.

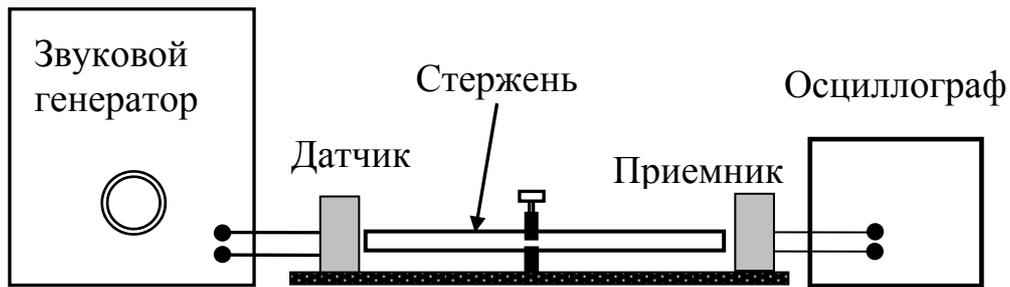


Рис. 2

Датчик возбуждает в стержне стоячую волну. Меняя частоту вынужденных колебаний, можно добиться **резонанса** – совпадения частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний. При этом осциллограф зафиксирует резкое возрастание амплитуды колебаний частиц стержня.

При первой резонансной частоте на длине стержня укладывается половина длины волны ($n = 1$). Зная длину стержня и частоту колебаний, можно определить скорость распространения звуковой волны в стержне:

$$v = \lambda \nu, \quad (4)$$

$$\lambda = 2l, \quad (5)$$

$$v = 2l\nu, \quad (6)$$

Зная скорость распространения продольных звуковых волн и плотность материала, можно определить модуль Юнга:

$$E = v^2 \rho. \quad (7)$$

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Соблюдайте общие правила техники безопасности при использовании электрических приборов.
2. Не включайте установку без предварительной проверки и разрешения преподавателя или лаборанта.
3. Не оставляйте установку без присмотра во включенном состоянии.
4. Не загромождайте рабочее место посторонними предметами.
5. При выявлении неисправностей быстро отключите установку сообщите о неисправности преподавателю.
6. Строго соблюдайте порядок настройки осциллографа к работе.
7. По завершении работы не забудьте отключить установку от сети.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Измерить длину стержня линейкой.
2. Установить стержень в зажим и закрепить его винтами. Установить зазор между датчиком, приемником и концами стержня не более 0,5 мм.
Изменение зазора производится вращением маховиков датчика и приемника. От величины зазора зависит чувствительность прибора. Чем он меньше, тем чувствительность выше. Необходимо избегать касания концов стержня с приемником и датчиком.
3. Включить в сеть звуковой генератор и осциллограф (рис. 3).

«ВНИМАНИЕ». Перед включением осциллографа в сеть ручку управления () установить в крайнее против часовой стрелки положение, соответствующее минимальной яркости луча. Осциллограф готов к работе через 5 минут после включения.*

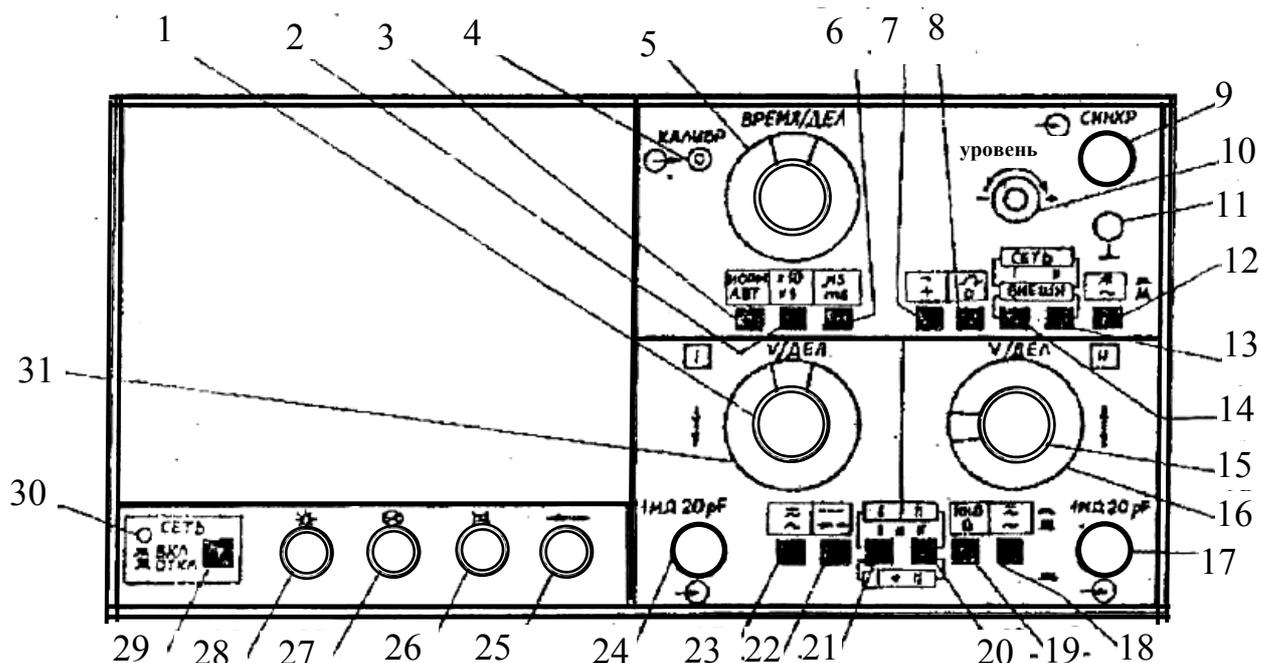


Рис. 3

4. Установить органы управления осциллографом в следующие положения: клавиши 6, 14, 21 – *нажать*. Исходное положение клавиш 1, 10, 15, 25, 26, 27, 28 – *среднее*. Ручку 5 установить в положение 01, ручку 31 установить в положение 20. После выключения осциллографа ручку управления (*) установить в крайнее против часовой стрелки положение.

5. Плавно вращая ручку изменения частоты выходного напряжения звукового генератора от 0 в сторону увеличения частоты, добиться резонанса колебаний стержня.

Примечание: при смене стержней приемник и датчик отводить от концов стержня вращением маховиков. После этого ослабляются винты держателя, и производится замена стержня.

6. Все результаты измерений и расчетов нужно представить в виде таблицы.

7. Найти относительную погрешность скорости звука в стержне и модуля Юнга.

8. Сравнить полученные результаты V и E с табличными.

Таблица №1

№	l , м	ρ , кг/м ³	ν , Гц	ν , м/с	$E_{\text{расч}}$, Н/м ²	$E_{\text{табл}}$ Н/м ²
1.						
2.						

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчетное уравнение для ν_{cp}

$$\nu_{cp} = 2lv. \quad (8)$$

Относительную ошибку вычислить по формуле

$$W = \frac{\sigma_\nu}{\nu_{cp}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\nu}{\nu}\right)^2}, \quad (9)$$

где σ_l, σ_ν – систематические ошибки при определении l и ν .

Абсолютную погрешность вычислить по формуле

$$\sigma_\nu = W\nu_{cp}. \quad (10)$$

Ответ представить в виде

$$\nu = \nu_{cp} \pm \sigma_\nu. \quad (11)$$

Расчетное уравнение для E_{cp}

$$E_{cp} = \nu^2 \rho. \quad (12)$$

Относительную ошибку вычислить по формуле

$$W = \frac{\sigma_E}{E_{cp}} = \sqrt{\left(2\frac{\sigma_\nu}{\nu}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\rho}{\rho}\right)^2}, \quad (13)$$

где σ_ν, σ_ρ – систематические ошибки при определении l и ν .

$$\sigma_E = WE_{cp}. \quad (14)$$

Ответ представить в виде

$$E = E_{cp} \pm \sigma_E. \quad (15)$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От каких свойств среды зависит скорость распространения волн в твердых, жидких и газообразных телах?
2. Каковы физические условия возникновения продольных и поперечных волн в упругих средах?
3. При каких условиях наступает и в чем состоит явление резонанса?
4. От чего зависит частота, амплитуда и начальная фаза колеблющейся системы?
5. Чем отличается бегущая волна от стоячей?
6. Что можно сказать о фазах колебания точек в стоячей волне:
 - а) лежащей по разные стороны узла,
 - б) лежащие между двумя соседними узлами?
7. Дайте понятие фазовой скорости, волнового фронта, волновой поверхности.
8. Как изменить формы собственных колебаний в стержне?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И.Трофимова.–М.: Высш. шк., 2003. – § 153, 154, 156, 157, 158.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика: учеб. пособие для студентов вузов. – 2–е изд., перераб. – М.: Наука, 1999. – § 61, 65, 77, 79, 83, 84, 87, 88.
3. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов: в 5 т./Д.В. Сивухин.–М.: Физматлит, МФТИ, 2002.
4. Детлаф, А.А. Курс физики/А.А.Детлаф. Б.М.Яворсткий.– М.: Высш. шк., 2000.