

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

М.Ю. Докукин

**Колебания и волны
в механических системах.
Элементы специальной
теории относительности.
Термодинамика равновесных
макросистем**

Учебно-методическое пособие

Под редакцией О.С. Еркович



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 2 1

УДК 531.62:534.1

ББК 22.3

Д63

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://bmstu.press/catalog/item/7180>

Факультет «Фундаментальные науки»
Кафедра «Физика»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебно-методического пособия*

Докукин, М. А.

Д63

Колебания и волны в механических системах. Элементы специальной теории относительности. Термодинамика равновесных макросистем : учебно-методическое пособие / М. Ю. Докукин; под ред. О. С. Еркович — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — 60, [4] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5566-9

Содержит три раздела, структурированных в соответствии с четырьмя задачами домашних заданий по первому и второму модулям дисциплины «Физика и естествознание» (разделы «Механика», «Термодинамика»). Все задачи имеют многовариантные условия. Даны примеры решения типовых задач.

Для студентов первого курса бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки «Инноватика» и изучающих дисциплину «Физика и естествознание» в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 531.62:534.1

ББК 22.3



*Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте:
info@baumanpress.ru*

ISBN 978-5-7038-5566-9

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

Предисловие

Учебно-методическое пособие посвящено выполнению домашнего задания по основным разделам дисциплины «Физика и естествознание» — «Механика» и «Термодинамика», освоение которых необходимо для изучения всех остальных разделов курса.

Выполнение домашнего задания должно способствовать выработке у студентов устойчивых навыков в решении многоходовых физических задач, более глубокому усвоению и пониманию основных физических законов, формированию общекультурных и общепрофессиональных компетенций. При работе над домашним заданием формируются, в частности, способность к самоорганизации и самообразованию, к овладению способами приобретения и извлечения знаний, осуществлению самостоятельной учебно-познавательной деятельности.

Домашнее задание состоит из четырех задач.

Первая задача посвящена исследованию колебаний в механических системах и распространению колебаний в упругих средах в виде волн и имеет четыре типа различных независимых условий. Ее решают путем составления уравнения динамики и с использованием принципа суперпозиции (наложения).

Вторая задача относится к специальной теории относительности, имеет два типа различных независимых условий. Ее решают с использованием преобразований Лоренца и их следствий, а также закона сохранения импульса и закона сохранения энергии.

Первая и вторая задачи входят в домашнее задание по первому модулю дисциплины.

Третья задача посвящена изучению и описанию равновесных состояний в макросистемах (газах) и имеет два типа различных независимых условий. Ее решают путем составления уравнения состояния, использования основных законов термодинамики и определения термодинамических характеристик.

Четвертая задача относится к исследованию статистических закономерностей в равновесных макросистемах, определению средних значений физических величин, характеризующих отдельные

элементы этих систем, и расчету термодинамических параметров таких систем. Задача имеет два типа различных независимых условий, ее решают с применением соответствующих функций распределения и правил статистик.

Третья и четвертая задачи входят в домашнее задание по второму модулю дисциплины.

Исходные данные для каждого конкретного варианта домашнего задания сведены в соответствующие таблицы.

Задачи необходимо решать в общем аналитическом виде, используя общеизвестные стандартные математические преобразования. В результате таких действий студент получает формулу для искомой физической величины, а затем подставляет в нее числовые значения исходных величин, выраженные в единицах СИ, и получает итоговый результат.

Решение каждой задачи следует выполнять на отдельных листах. На лицевой стороне первого листа должно быть написано:

Домашнее задание по дисциплине «Физика и естествознание»
(первый курс, второй семестр)
Группа ... Фамилия, инициалы ...
Вариант № ... Задача № ...

На первой странице необходимо написать условия задачи с исходными данными в соответствии с вариантом, изобразить заданный рисунок. Затем приводится решение задачи. Все вводимые студентом новые параметры и обозначения физических и геометрических величин обязательно следует сопровождать соответствующими пояснениями. При решении задачи необходимо ссылаться на используемые физические законы. Например: «...согласно закону сохранения импульса, имеем...» или «...в соответствии с законом сохранения энергии следует записать...». Уравнения, математические выражения и формулы нужно записывать отдельной строкой и обязательно нумеровать. (Нумерация должна быть одинарной, в отличие от используемой в данном пособии двойной нумерации, обусловленной издательскими требованиями.) Это позволяет при преобразованиях делать ссылку на эти номера. Например: «...подставим зависимость (4) в уравнение (7) ...». Такое изложение хода решения задачи дает возможность преподавателю проверить правильность предлагаемого решения и указать на конкретную ошибку, если она имеется. Целесообразно сопровождать решение задачи пояснительными рисунками, которые показывали бы исследуемую систему в ее движении, развитии.

1. Колебания и волны в механических системах

В задачах этого раздела рассматриваются колебательное движение в механических системах и распространение колебаний в упругих средах в виде гармонических волн, наложение которых может приводить к формированию интерференционной картины.

Анализ и последующее решение задачи начинают с составления уравнения динамики соответствующей механической системы. На начальной стадии исследуют характеристики системы, в которой совершаются свободные колебания. Затем полученное уравнение (при условии малых смещений системы от положения равновесия) преобразуют к каноническому дифференциальному уравнению малых вынужденных колебаний, частное решение которого отыскивают в виде гармонической функции. Рассчитывают основные характеристики образовавшегося осциллятора и с учетом заданной периодической вынуждающей силы строят его амплитудно-частотную характеристику.

После этого исследуют волновые процессы в упругих средах, которые непосредственно примыкают к осциллятору — генератору колебаний. Зная характеристики и свойства упругой среды, записывают уравнения бегущей и отраженной от преграды продольных гармонических волн и определяют условия формирования в данной среде стоячих волн. Для заданной в соответствии с вариантом гармоника записывают уравнение стоячей волны амплитуд смещений и строят ее качественную картину в пределах упругой среды. Затем в соответствии с типом задачи (упругий твердый стержень или волновод с газом / жидкостью) выводят уравнение стоячей волны амплитуд деформаций в стержне или амплитуд давлений в волноводе и строят качественную картину соответствующей волны.

Первая задача для вариантов 1–28

Колебательные системы (КС), представленные на рис. 1.1–1.7, состоят из шайбы массой m и двух пружин, имеющих упругости k_1 и k_2 . Движение КС происходит в горизонтальной плоскости

в окружающей среде со слабыми вязкими свойствами (малым коэффициентом сопротивления r). На рис. 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 шайба колеблется под действием пружин, соединенных параллельно, а на рис. 1.2, 1.4, 1.6 колебания происходят под действием пружин, соединенных последовательно. Массой пружин можно пренебречь. Длины первой и второй пружин в недеформированном состоянии равны l_{10} и l_{20} . Возможные векторы начальной скорости шайбы $\vec{V}_1$ и $\vec{V}_2$. Шайбу, находящуюся в положении равновесия, смещают на расстояние L , а затем импульсом придают ей в начальный момент времени $t = 0$ скорость $\vec{V}_1$ или $\vec{V}_2$ в соответствии с заданием. В результате система приходит в колебательное движение.

В момент времени t_1 на шайбу начинает действовать внешняя периодическая сила, изменяющаяся по гармоническому закону и переводящая КС в режим установления колебаний. К моменту установления колебаний справа от шайбы на достаточном расстоянии (для обеспечения непосредственного периодического контакта и отсутствия заклинивания и разрушения) размещают твердый стержень из известного материала, закрепленный с помощью упоров A или заделки B (см. рис. 1.1–1.4). В задачах другого типа

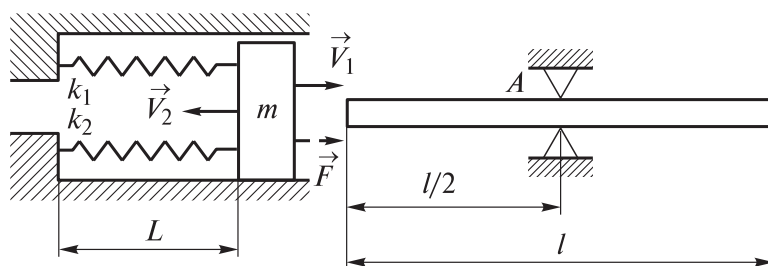


Рис. 1.1. Горизонтальная колебательная система с параллельными пружинами и твердым стержнем с защемлением

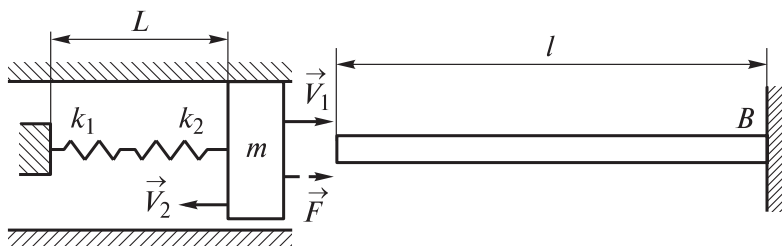


Рис. 1.2. Горизонтальная колебательная система с последовательными пружинами и твердым стержнем с заделкой

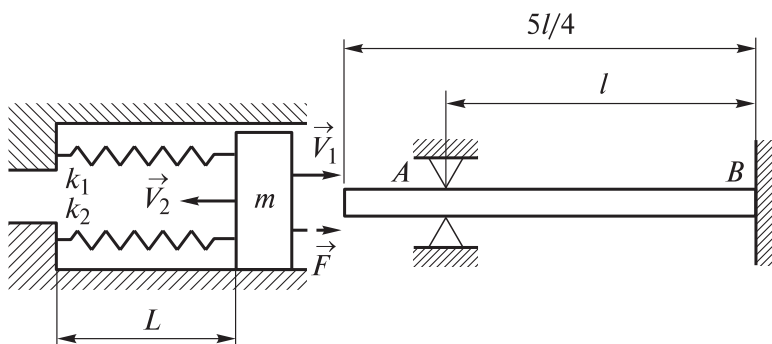


Рис. 1.3. Горизонтальная колебательная система с параллельными пружинами и твердым стержнем с защемлением и заделкой

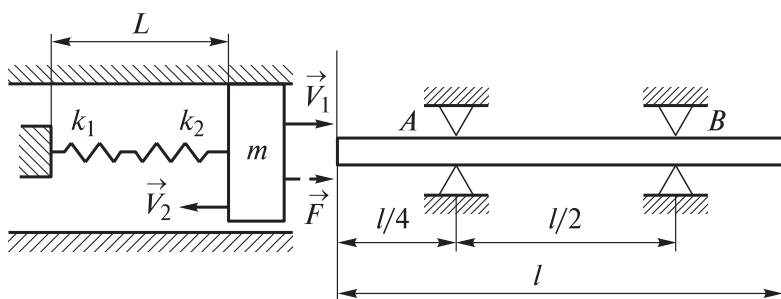


Рис. 1.4. Горизонтальная колебательная система с последовательными пружинами и твердым стержнем с защемлениями

(см. рис. 1.5—1.7) вместо стержня размещают волновод, который заполнен газом или жидкостью. Постоянно колеблющаяся шайба воздействует на левый торец стержня (или левый торец волновода с упругой мембраной M), вызывая в нем образование продольной гармонической волны, которая, отражаясь от противоположного

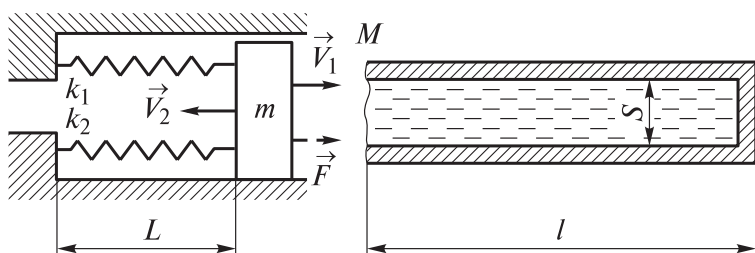


Рис. 1.5. Горизонтальная колебательная система с параллельными пружинами и закрытым волноводом

Содержание

Предисловие.....	3
1. Колебания и волны в механических системах.....	5
Первая задача для вариантов 1–28.....	5
Пример решения задачи.....	27
Вопросы для самоконтроля.....	33
2. Элементы специальной теории относительности	35
Вторая задача для вариантов 1–14	37
Вторая задача для вариантов 15–28.....	38
Примеры решения задач	39
Вопросы для самоконтроля.....	41
3. Термодинамика и кинетика равновесных макросистем.....	42
Третья задача для вариантов 1–14	56
Третья задача для вариантов 15–28	57
Четвертая задача для вариантов 1–14	57
Четвертая задача для вариантов 15–28.....	58
Примеры решения задач	59
Вопросы для самоконтроля.....	61
Литература.....	62