

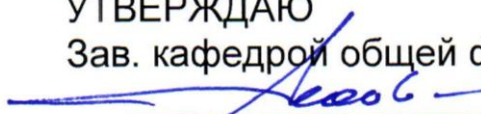
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой общей физики ФТИ

 А.М. Лидер

« » 2017 г.

ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА

Методические указания к выполнению лабораторной работы
ПК-02 по курсу «Общая физика» по теме «Механика» для
студентов всех направлений и специальностей

Издательство
Томского политехнического университета
2017

УДК 537
ББК 22.2

Поступательное движение тела: методические указания к лабораторной работе ПК-02 по курсу «Общей физики» по теме «Механика» для студентов всех направлений и специальностей / сост. Т.Н. Мельникова, В.А. Стародубцев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 14 с.

УДК 537
ББК 22.2

Составители Т.Н. Мельникова, В.А. Стародубцев

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
Общей физики ФТИ
«_____» 2017 г.

Председатель

учебно-методической комиссии  А.М. Лидер

ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Механическое движение. Система отсчета. Материальная точка

Механическое движение – это процесс изменения положения данного тела в пространстве с течением времени относительно другого тела, которое мы считаем неподвижным.

Тело, условно принятое за неподвижное – тело отсчета.

Тело отсчета – это тело, относительно которого определяется положение другого тела.

Обычно в качестве тела отсчета выбирается земля, но может быть и движущийся относительно земли предмет: автомобиль, лодка, самолет и т.д.

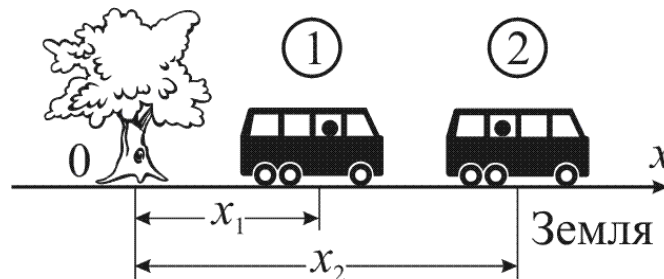


Рис. 1.

Пример. Автомобиль (рис. 1) движется относительно тела отсчета – дерева. Человек вместе с автомобилем движется относительно этого тела отсчета, но относительно другого тела отсчета (автомобиль) находится в покое.

Механическое движение всегда относительное.

Механический покой всегда относительный.

Система отсчета – это тело отсчета, система координат, жестко связанная с ним, и прибор для измерения времени движения.

Простейшей системой координат является прямоугольная декартова система (рис. 2). Система координат нужна для определения положения тела относительно тела отсчета. Выбор системы отсчета зависит от условий данной задачи.

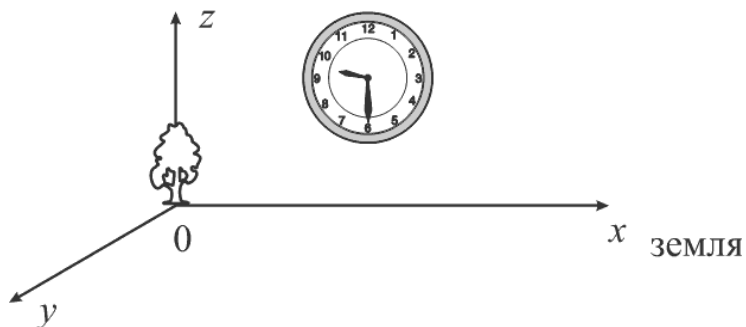


Рис. 2.

Движение реальных тел, как правило, сложное. Для упрощения рассмотрения движений пользуются моделями. Одними из первых моделей реальных тел являются абсолютное твердое тело и материальная точка.

Абсолютно твердым телом называется тело, расстояние между любыми двумя точками которого остается постоянным при любых внешних воздействиях.

Эта модель позволяет исключить деформацию тел при движении. Изучив движение абсолютно твердого тела, мы понимаем закономерности движения реальных твердых тел.

Простейшими видами механического движения абсолютно твердого тела являются поступательное (рис. 3) и вращательное (рис. 4).

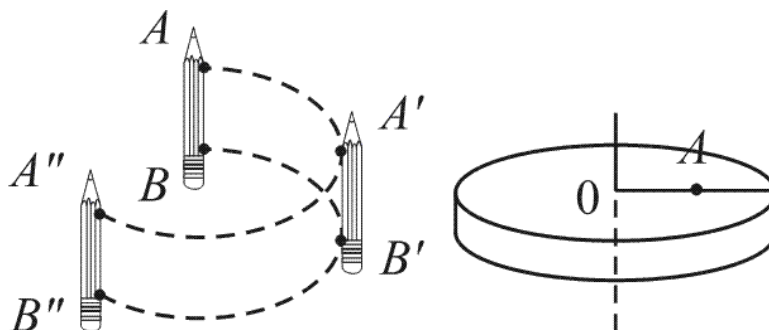


Рис. 3

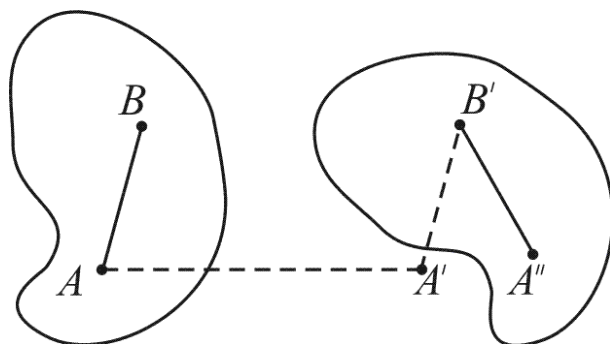


Рис. 4

Поступательным движением называется движение, при котором любая прямая, соединяющая две произвольные точки тела, перемещается параллельно самой себе. При поступательном движении траектории всех точек тела одинаковы. Таким образом, для описания поступательного движения тела достаточно описать движение какой-либо одной его точки (т.е. рассмотреть кинематику прямолинейного движения материальной точки).

Вращательным движением называется такое движение, при котором все точки тела описывают окружности в параллельных плоскостях, а центры этих окружностей лежат на одной прямой, называемой осью вращения (неподвижная ось – рис. 3). Любое плоское движение можно представить, как результат поступательного движения вдоль $ВВ'$ и «чистого вращения» на угол $А'В'А''$ – рис. 4. Изучая характер движения Земли, планет относительно Солнца, мы можем не учитывать размеры этих тел и считать их материальными точками (т.е. рассмотреть кинематику криволинейного движения материальной точки).

Материальной точкой называется тело, размерами и формой которого можно пренебречь в данной задаче.

Данное понятие является математической абстракцией. Одно и то же тело в одних задачах можно рассматривать как материальную точку, а в других задачах – нельзя. Например, радиус Земли $R_{\text{Земли}}$ равен 6400 км, расстояние между Солнцем и Землей L равно 150 000 000 км ($L \gg R_{\text{Земли}}$). Рассматривая движение Земли относительно Солнца, радиусом Земли можно пренебречь и считать, что Земля – материальная точка. Однако если нужно выяснить причины смены времен года, то Землю уже нельзя считать материальной точкой, а надо учитывать ее размеры, вращение вокруг оси и т.д. Мы будем изучать механическое движение материальной точки для того, чтобы потом определить движение реального тела.

В работе рассматривается поступательное движение тела сферической формы в среде, создающей сопротивление движению, с учетом выталкивающей силы Архимеда. Столкновения сферы со стенками "камеры" происходят по типу частично упругого удара.

Цель работы: анализ траекторий поступательного движения в зависимости от соотношения между величинами действующих сил, вязкости среды и коэффициента восстановления скорости при ударе (ударах).

1. Возможные случаи движения

Исходное состояние: тело сферической формы поднято на высоту H_0 от пола камеры, ему сообщается начальная скорость v_0 , вектор начальной скорости направлен под углом α к горизонту.

В общем случае на тело действуют три силы: сила тяжести mg , сила Архимеда F_A и сила сопротивления движению F_r . Величина силы сопротивления движению в среде F_r , прямо пропорциональна величине скорости движения и коэффициенту кинематической вязкости (коэффициенту внутреннего трения). В процессе движения, в каждой точке траектории, вектор скорости направлен вдоль касательной к траектории по направлению движения. Сила сопротивления движению F_r имеет обратное направление, и изменяется как по величине, так и по направлению, в соответствии с изменением вектора скорости (рис. 1).

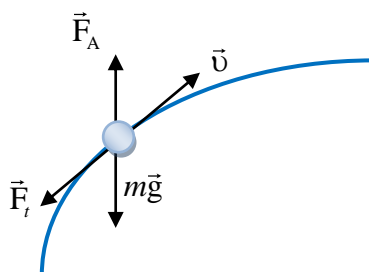


Рис. 1. Схема действующих сил

Модуль вектора скорости шара после удара о стенку v_2 определяется соотношением:

$$v_2 = K_v v_1, \quad (1)$$

где v_1 – скорость до удара, K_v – коэффициент восстановления скорости.

Если $K_v = 0$, то удар является абсолютно неупругим. Если $K_v = 1$, то по модулю скорость не изменяется, и удар будет абсолютно упругим. В реальных случаях, при $0 < K_v < 1$, удар считается частично упругим.

В зависимости от соотношения сил, можно выделить несколько частных случаев движения в среде.

1. Состояние невесомости, когда выталкивающая сила компенсирует силу тяжести:

$$\vec{F}_A + m\vec{g} = 0. \quad (2)$$

Отсюда следует равенство (3).

$$\rho_c g V - mg = 0 \quad \text{или} \quad \rho_c g V = mg,$$

$$\rho_c g \frac{m}{\rho_t} = mg,$$

$$\frac{\rho_c}{\rho_t} = 1 \quad \text{или} \quad \rho_c = \rho_t. \quad (3)$$

Здесь обозначено:

m – масса тела,

g – ускорение силы тяжести,

ρ_c и ρ_t – плотности среды и тела,

$V = \frac{m}{\rho_t}$ – объем тела и вытесненной им среды.

При учете силы сопротивления, движение тела будет прямолинейным равнозамедленным, по направлению вектора начальной скорости v_0 . В зависимости от коэффициента сопротивления K_t , который определяется формой тела и коэффициентом внутреннего трения, тело проходит различные пути при равных значениях начальной скорости.

2. Падение тела будет происходить при условии $\rho_t > \rho_c$, всплытие – при обратном соотношении между плотностями. Когда силу сопротивления можно считать пренебрежимо малой величиной, траекторию движения можно представить параболой. Действительно, с учетом выталкивающей силы, ускорение падения будет определяться выражением (4):

$$a_y = g \frac{\rho_t - \rho_c}{\rho_t}. \quad (4)$$

Для газов $\rho_c \ll \rho_t$ и $a_y \rightarrow g$.

В случае угла бросания $a_0 = 0$ легко записать уравнение траектории в параметрическом виде (5):

$$\begin{aligned} X &= v_0 t, \\ Y &= \frac{\rho_t - \rho_c}{\rho_t} \frac{t^2}{2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь координата Y отсчитывается от положения H_0 . Исключив время t из (5), получим уравнение траектории (6):

$$Y = \frac{X^2(\rho_t - \rho_c)}{2\rho_t v_0^2} = X^2 \cdot \text{const}. \quad (6)$$

Таким образом, сложение двух прямолинейных движений, равномерного по горизонтали и равноускоренного по вертикали, приводит к криволинейной траектории.

3. При действии значительной силы сопротивления, движение по горизонтали становится замедленным, с переменной величиной ускорения $a < 0$. Ускорение падения или всплывания также становится переменным и получить аналитическое выражение для траектории очень сложно. В таких случаях для расчета траекторий движения тел используют компьютер.

В настоящей работе расчет производится по методу малых отрезков (перемещений). Суть метода состоит в том, что для достаточно малых интервалов времени можно считать величину и направление действия силы сопротивления движению постоянными. Тогда перемещения по горизонтали и по вертикали становятся равнозамедленными или равноускоренными, и новые положения тела можно найти по известным формулам равнопеременного движения. Рассчитанная траектория будет представляться ломаной линией, которая переходит в плавную кривую при уменьшении шага (интервала) счета по времени. Сочетание свойств среды и тела определяют отклонения реальной траектории, рассчитанной машиной, от параболы (рис. 2).

При анализе формы траекторий обратите внимание

- на симметрию кривой относительно точки максимального подъема;
- на величины максимального подъема H_0 , радиуса кривизны в области максимума, горизонтального перемещения S_1 до первого удара;
- при последовательных отскоках сравните величины подъёмов H_i , горизонтальных смещений S_i и радиусов кривизны в области максимумов;
- сравните углы падения α и отражения β при последовательных частично упругих ударах.

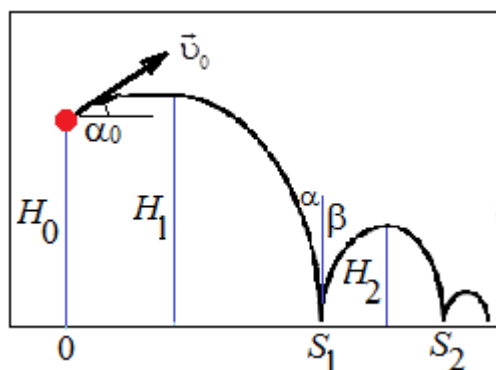


Рис. 2. Траектория движения в общем случае

2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Приведенные в заданиях 1-7 численные значения свойств среды, тела, исходного положения являются наиболее представительными, но

не строго обязательными. Они могут быть изменены по инициативе студентов, выполняющих работу. Важно, чтобы было выполнено главное в заданиях – получены данные для построения графиков тех или иных зависимостей.

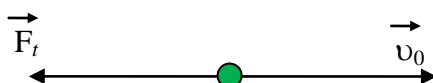
Задание 1. Движение в невесомости.

1. Введите следующие значения параметров среды и тела:

$\rho_c = \rho_t = 1,6 \text{ г/см}^3$; $K_c = 1 \text{ кг}\cdot\text{с}$; $K_b = 0$; $M = 5 \text{ кг}$; $H_0 = 0,05 \text{ м}$; $v_0 = 1 \text{ м/с}$; $\alpha_0 = 0$; $MG = 1$; $MV = 1$; $DT = 0,2$; $T = 2 \text{ с}$.

Параметр, который будет изменяться K_c .

Шаг изменения параметра: 1. Число траекторий: 7. Условия движения:



2. Измерьте величины пробегов, полученные значения запишите в таблицу 1.

Таблица 1

K_c	1	2	3	4	5	6	7
S							

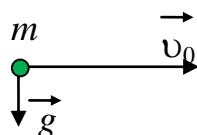
3. Постройте график зависимости $S = f(K_c)$.

4. Сделайте вывод. Запишите в отчет, линейно или нелинейно изменяется путь тела в зависимости от величины коэффициента сопротивления.

Задание 2. Падение тела без учета сопротивления среды.

1. Измените параметры: $\rho_c = 0$; $K_c = 0$; $H_0 = 0,5 \text{ м}$.

Все остальные параметры остаются без изменений. Условия движения: начальная скорость тела v_0 направлена горизонтально, ускорение свободного падения направлено вертикально вниз.



Параметр, который будет изменяться: v_0 . Шаг изменения: 1. Число кривых: 5.

2. Зарисуйте полученное семейство траекторий $y = f(x)$ в отчет.

3. Измерьте горизонтальные перемещения, занесите значения в таблицу 2 (аналогично таблице 1).

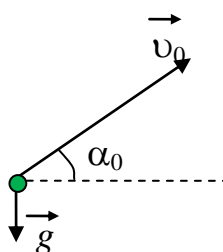
Таблица 2

v_0	1	2	3	4	5	6	7
S							

4. Постройте график зависимости $S = f(v_0)$.
5. Сделайте вывод.

Задание 3. Бросок тела под углом к горизонту.

1. Введите: $H_0 = 0$; $v_0 = 3$. Условия движения: начальная скорость v_0 направлена под углом α_0 к горизонту, ускорение свободного падения направлено вертикально вниз.



Параметр, который будет изменяться: α_0 . Шаг изменения: 15. Число кривых: 7.

2. Измерьте и запишите значения S_i в зависимости от угла α_0 . Значения занесите в таблицу 3.

Таблица 3

α_0	0	15	30	45	60	75	90
S							

3. Постройте график зависимости $S = f(\alpha_0)$.
4. Сделайте вывод.

Задание 4. Влияние силы Архимеда

1. Введите $\rho_c = 0,6$.
2. Изобразите схему действующих сил (условия движения).
3. Повторите предыдущее задание: Измерьте и запишите значения S_i в зависимости от угла α_0 . Значения занесите в таблицу 4.

Таблица 4

α_0	0	15	30	45	60	75	90
S							

4. Постройте график зависимости $S = f(\alpha_0)$.

5. Сделайте вывод. Опишите в отчете, как изменились траектории движения. Остается ли их форма симметричной по отношению к положению максимума кривых? Возросли или уменьшились высоты подъемов и горизонтальные перемещения?

Задание 5. Влияние силы сопротивления движению.

1. Введите: $K_c = 2$ и повторите предыдущее задание.
2. Изобразите схему действующих сил (условия движения).
3. Измерьте и запишите значения S_i в зависимости от угла α_0 . Значения занесите в таблицу 5.

Таблица 5

α_0	0	15	30	45	60	75	90
S							

4. Постройте графики зависимости $S = f(\alpha_0)$. Графики зависимостей $S = f(\alpha_0)$ для заданий 3, 4, 5 лучше представить на одном рисунке отчета.

5. Проанализируйте изменения формы траекторий, запишите выводы в отчет. С учетом полученных результатов ответьте на вопрос: Если один и тот же груз бросить горизонтально в воздухе и в воде, то в какой среде расстояние от места броска до точки падения груза будет больше?

Задание 6. Частично упругий удар шара о стенки.

1. Введите $\alpha_0 = 75^\circ$; $K_c = 0$. Остальные параметры оставьте без изменений.

Параметр, который будет изменяться K_b .

Шаг изменения параметра: 0,2. Число траекторий: 6.

2. Найдите отличия, которые появляются в форме траекторий, по мере приближения удара к абсолютно упругому, опишите их в отчете.

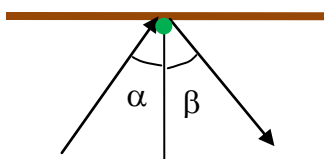
Задание 7. Сравнение углов падения и отражения при частично упругом ударе.

1. Введите $K_c = 0$; $\rho_c = \rho_t$. Остальные параметры без изменений.

Параметр, который будет изменяться K_b .

Шаг изменения параметра: 0,2. Число траекторий: 6.

Условия движения:



2. Проанализируйте изменения угла отражения β в зависимости от величины коэффициента восстановления скорости K_v .

3. Сделайте вывод.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Эта часть работы выполняется самостоятельно.

1. Величина кинетической энергии тела не одинаково зависит от массы и скорости. Определите влияние массы тела и его начальной скорости на величину пути в случае $\rho_t = \rho_c$ при $K_c > 0$. Вывод запишите в отчет.
1. Исследуйте зависимость горизонтального перемещения до первого удара S_i от начальной высоты H_0 , для одного из значений угла бросания α_0 . Постройте соответствующий график.
2. Исследуйте, остается ли отношение тангенсов углов β и α постоянным для различных углов падения. Как связано это отношение с величиной коэффициента восстановления скорости K_v ?

ГЛОССАРИЙ

1. **Абсолютно твердым телом** называется тело, расстояние между любыми двумя точками которого остается постоянным при любых внешних воздействиях.
2. **Абсолютно неупругим ударом** – называют такое ударное взаимодействие, при котором тела соединяются (слипаются) друг с другом и движутся дальше как одно тело.
3. **Вращательным движением** называется такое движение, при котором все точки тела описывают окружности в параллельных плоскостях, а центры этих окружностей лежат на одной прямой, называемой осью вращения
4. **Вязкость (внутреннее трение)** — одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. В результате работа, затрачиваемая на это перемещение, рассеивается в виде тепла.
5. **Коэффициент внутреннего трения (вязкость жидкости)** — мера сопротивления течению жидкости под действием внешних сил (например, силы тяжести). Вязкость — величина, обратная текучести жидкости; зависит от природы жидкости и уменьшается с увеличением температуры.

6. **Коэффициент восстановления скорости при ударе** – зависит от материала, формы и размеров соударяющихся масс, от величины скоростей.
7. **Материальной точкой** называется тело, размерами и формой которого можно пренебречь в данной задаче.
8. **Механическое движение** – это процесс изменения положения данного тела в пространстве с течением времени относительно другого тела, которое мы считаем неподвижным.
9. **Поступательное движение** — это механическое движение системы точек (абсолютно твердого тела), при котором отрезок прямой, связывающий две любые точки этого тела, форма и размеры которого во время движения не меняются, остается параллельным своему положению в любой предыдущий момент времени.
10. **Сила Архимеда** – На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу того количества жидкости или газа, которое вытеснено погруженной частью тела.
11. **Система отсчета** – это тело отсчета, система координат, жестко связанная с ним, и прибор для измерения времени движения.
12. **Состояние невесомости** – состояние, при котором сила взаимодействия тела с опорой (вес тела), возникающая в связи с гравитационным притяжением, пренебрежимо мала. Другое название этого эффекта — **микрогравитация**.
13. **Тело отсчета** – это тело, относительно которого определяется положение другого тела.
14. **Упругий удар** – это столкновение, при котором сохраняется механическая энергия системы тел.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется механическим движением?
2. Какое движение называется поступательным?
3. Что такое «Материальная точка»? Приведите примеры, в которых одно и то же тело в одних условиях можно считать материальной точкой, а в других нельзя.
4. Что называется системой отсчета?
5. Что называется радиус-вектором материальной точки относительно начала координат (рисунок)?
6. Что называют координатами материальной точки (рисунок)?
7. Что такое вектор перемещения (рисунок)?

8. Что называется траекторией движения материальной точки? Как можно получить уравнение траектории, если известен закон изменения радиус-вектора материальной точки?
9. Что такое скорость материальной точки?
10. Что называется ускорением точки?
11. Как записать среднюю величину скорости и среднюю величину ускорения за промежуток времени от t_1 до t_2 ?
12. Вектор мгновенной скорости?
13. Вектор мгновенного ускорения?
14. Какую задачу называют прямой задачей кинематики?
15. Как, зная закон изменения координаты точки, определить законы изменения ее скорости и ускорения вдоль заданного направления?
16. Как подсчитать мгновенные значения скорости и ускорения в данный момент времени?
17. Запишите формулы для определения пути и скорости при равноускоренном (равнозамедленном) прямолинейном движении. Как найти ускорение в этом случае?
18. Какую задачу называют обратной задачей кинематики?
19. Как определить законы изменения скорости и координаты вдоль заданного направления, если задан закон изменения ускорения вдоль этого направления? Что должно быть задано дополнительно для того, чтобы ответы были однозначными?
20. Чему равно расстояние между двумя точками в системе отсчета?
21. Как определить расстояние в данный момент времени между двумя движущимися материальными точками, если известны законы изменения их скоростей в одной и той же системе отсчета?
22. В чем состоит принцип независимости движений? Как будет двигаться тело, брошенное горизонтально над поверхностью Земли?
23. Какие составляющие ускорения называют нормальной и тангенциальной? Как они направлены? Какие изменения скорости они характеризуют?
24. Как, зная нормальное и тангенциальное ускорения, определить вектор полного ускорения и его модуль? Рисунок.
25. Что называют кривизной траектории? Чему равен радиус ее кривизны?

ЛИТЕРАТУРА

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики.- М.: ВШ, 1989.-608с.
2. Мэрион Дж.Б. Общая физика с биологическими примерами.-М.: ВШ,1986.-623с.
3. Ремизов А.Н. Курс физики, электроники и кибернетики.-М.-:ВШ,1982.
4. Суорц Кл.Э. Необыкновенная физика обыкновенных явлений. Пер. с англ. в 2-х томах . Т.2.-М : Наука. 1987.-384 с.
5. http://web-local.rudn.ru/web-local/uem/autor/orlova_IN/2.html