

УТВЕРЖДЕНО  
Проректор по учебной работе  
и довузовской подготовке  
А. А. Воронов  
30 мая 2018 года

## ПРОГРАММА

по дисциплине: Общая физика: механика  
по направлению подготовки: 03.03.01 «Прикладные математика и физика»  
физтех-школа: для всех физтех-школ  
кафедра: общей физики  
курс: 1  
семестр: 1

Трудоёмкость:

теор. курс: базовая часть – 4 зачет. ед.;

физ. практикум: базовая часть – 3 зачет. ед.;

лекции – 30 часов

Экзамен – 1 семестр

практические (семинарские)

занятия – 30 часов

лабораторные занятия – 60 часов

Диф. зачёт – 1 семестр

ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ – 120

Самостоятельная работа:

теор. курс – 90 часов

физ. практикум – 75 часов

Программу и задание составили:

к.ф.-м.н., доц. К.М. Крымский

к.ф.-м.н., доц. М.А. Савров

к.ф.-м.н., доц. П.В. Попов

к.ф.-м.н., доц. Д.И. Холин

к.ф.-м.н., доц. А.В. Гавриков

Программа принята на заседании кафедры общей физики 7 мая 2018 г.

Заведующий кафедрой  
д.ф.-м.н., профессор

А. В. Максимычев

## МЕХАНИКА

1. Предмет физики. Физические величины, единицы измерений СИ и СГС, внесистемные единицы.

Кинематика материальной точки. Системы отсчёта и системы координат (декартова, полярная, сферическая). Радиус-вектор, линейные и угловые скорости и ускорения. Нормальное, тангенциальное и полное ускорения. Описание движения вдоль плоской кривой, радиус кривизны траектории.

2. Динамика материальной точки. Задание состояния частицы в классической механике. Основная задача динамики. Инерциальные и неинерциальные системы отсчёта. Первый закон Ньютона. Импульс и сила. Инертная и гравитационная массы. Второй закон Ньютона. Уравнение движения частицы, роль начальных условий. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса.

Движение тел с переменной массой, реактивное движение. Уравнение Мещерского, формула Циолковского.

3. Работа силы. Мощность. Консервативные и неконсервативные силы. Понятие силового поля. Потенциальная энергия, потенциал поля. Кинетическая энергия частицы. Закон сохранения энергии в механике. Общефизический закон сохранения энергии.

Динамика системы частиц. Центр инерции (центр масс). Закон движения центра инерции. Система центра инерции. Преобразование энергии при смене системы отсчёта. Теорема Кёнига. Задача двух тел, приведённая масса. Анализ столкновения двух частиц для абсолютно упругого и неупругого ударов. Построение и использование векторных диаграмм. Пороговая энергия при неупругом столкновении частиц.

4. Момент импульса материальной точки. Связь момента импульса материальной точки с секториальной скоростью. Момент импульса системы материальных точек. Момент силы. Уравнение моментов. Закон сохранения момента импульса. Движение тел в центральном поле.

5. Закон всемирного тяготения. Потенциальная энергия в гравитационном поле. Законы Кеплера. Классификация траекторий в поле центральных гравитационных сил, финитные и инфинитные движения. Критерий финитного движения. Первая и вторая космические скорости. Связь параметров орбиты планеты с полной энергией и моментом импульса планеты. Теорема Гаусса и её применение для вычисления гравитационных полей.

6. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Момент инерции. Вычисление моментов инерции твёрдых тел. Теорема Гюйгенса–Штейнера. Уравнение моментов при вращении вокруг неподвижной оси. Кинетическая энергия вращающегося тела.

7. Кинематика твёрдого тела. Теорема Эйлера. Мгновенная ось вращения. Угловая скорость как вектор, сложение вращений. Независимость угловой скорости вращения твёрдого тела от положения оси, к которой отнесено вращение. Уравнение моментов относительно движущегося начала и движущейся оси. Плоское движение твёрдого тела. Качение. Скатывание тел с наклонной плоскости.

8. Общее вращение твёрдого тела. Понятие о тензоре инерции и эллипсоиде инерции. Центробежные моменты инерции. Главные оси инерции. Регулярная прецессия свободного вращающегося симметричного волчка. Гироскопы. Движение свободного гироскопа. Уравнение движения гироскопа под действием сил (приближённая теория). Гироскопические силы. Применения гироскопов.

9. Неинерциальные системы отсчёта. Силы. Относительное, переносное, кориолисово ускорения. Центробежная сила. Сила Кориолиса. Второй закон Ньютона в неинерциальных системах отсчёта. Потенциальная энергия в поле центробежных сил. Вес тела, невесомость. Отклонение падающих тел от направления отвеса. Геофизические проявления кориолисовых сил. Маятник Фуко.

10. Гармонические колебания материальной точки. Пружинный и математический маятники. Частота, круговая частота и период колебаний. Роль начальных условий. Энергия колебаний, связь средней кинетической и средней потенциальной энергий гармонического осциллятора. Механические колебания твёрдых тел. Физический маятник. Приведённая длина, центр качания. Теорема Гюйгенса о физическом маятнике.

11. Свободные затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания, добротность. Вынужденные колебания материальной точки под действием синусоидальной силы. Резонанс. Резонансные кривые (амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики осциллятора). Фазовая плоскость, фазовые траектории осциллятора. Суперпозиция колебаний: фигуры Лиссажу, биения. Параметрическая раскачка колебаний. Понятие об автоколебаниях.

12. Элементы теории упругости. Условие равновесия твёрдого тела. Нормальные и касательные напряжения. Упругие и пластические деформации. Растяжение и сжатие стержней. Коэффициент упругости, модуль Юнга, коэффициент Пуассона. Объёмная плотность энергии упругой деформации. Всестороннее и одностороннее растяжение и сжатие. Понятие о деформациях сдвига и кручения. Гидростатика: закон Паскаля, сила Архимеда, уравнение равновесия жидкости.

13. Распространение продольных упругих возмущений в среде. Волновое уравнение. Длина волны, волновое число, фазовая скорость. Бегущие и стоячие волны. Отражение волн от свободной и жёстко закреплённой границы. Условие возникновения стоячих волн. Плотность потока энергии волны. Эффект Доплера.

14. Элементы специальной теории относительности. Принцип относительности. Независимость скорости распространения взаимодействий (скорости света) от системы отсчёта. Преобразования Галилея и Лоренца. Интервал и его инвариантность относительно смены системы отсчёта. Относительность понятия одновременности. Замедление времени, собственное время жизни частицы. Сокращение масштабов, собственная длина. Сложение скоростей. Релятивистский эффект Доплера.

15. Импульс релятивистской частицы. Уравнение движения релятивистской частицы под действием внешней силы. Кинетическая энергия релятивистской частицы, энергия покоя, полная энергия. Инвариантность массы системы. Инвариант энергии–импульса. Ускорители частиц.

### **Литература**

#### Основная литература

1. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. 1. Механика. – М.: Физматлит, 2003.
2. *Кириченко Н.А., Крымский К.М.* Общая физика. Механика: учебное пособие. – М.: МФТИ, 2013.
3. *Кингсеп А.С., Локишин Г.Р., Ольхов О.А.* Основы физики. Курс общей физики. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика. – М.: Физматлит, 2001.
4. Лабораторный практикум по общей физике. Т. 1. Механика / под ред. А.Д. Гладуна. – М.: МФТИ, 2012.
5. Сборник задач по общему курсу физики. Ч. 1 / под ред. В.А. Овчинкина. – М.: Физматкнига, 2017.

#### Дополнительная литература

6. *Калашиников Н.П., Смондырев М.А.* Основы физики. – М.: Лаборатория знаний, 2017.
7. *Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М.* Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. – М.: Наука, 1969.
8. *Хайкин С.Э.* Физические основы механики. – М.: Наука, 1971.
9. *Киттель Ч., Найт У., Рудерман М.* Механика. – М.: Наука, 1983.
10. *Фейнман Р.* Фейнмановские лекции по физике. – Вып. 1, 2. М.: Мир, 1977.
11. *Корявов В.П.* Методы решения задач в общем курсе физики. Механика. – М.: Студент, 2012.
12. *Булыгин В.С.* Автоколебательный пружинный маятник: учебно-методическое пособие по курсу Общая физика. – М.: МФТИ, 2014.
13. *Гавриков А.В., Ворона Н.А.* Механические колебания: учебно-методическое пособие по курсу Общая физика. – М.: МФТИ, 2011.
14. *Белонучкин В.Е.* Относительно относительности. – М.: МФТИ, 2009.

Электронные ресурсы: [http://physics.mipt.ru/S\\_I/](http://physics.mipt.ru/S_I/)

## ЗАДАНИЕ ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ

для студентов 1-го курса  
на осенний семестр 2018/19 учебного года

Дата	№ нед	Темы семинарских занятий	Задачи		
			0	I	II
3–9 сент.	1	Основы кинематики.	<sup>0</sup> <sub>1</sub> <sup>0</sup> <sub>2</sub>	1.1 1.10 1.12 1.19	1.4 1.11 1.21 1.3
10–16 сент.	2	Динамика материальной точки. Законы Ньютона.	2.1 2.5 <sup>0</sup> <sub>3</sub>	2.17 2.68 2.43 2.57	2.18 2.52 2.74 2.59
17–23 сент.	3	Закон сохранения импульса. Реактивное движение.	<sup>0</sup> <sub>4</sub> <sup>0</sup> <sub>5</sub> 3.2	4.27 3.11 3.43 3.60	4.10 3.31 3.36 3.41
24–30 сент.	4	Динамика систем. Работа и энергия.	<sup>0</sup> <sub>6</sub> <sup>0</sup> <sub>7</sub> <sup>0</sup> <sub>8</sub>	4.25 4.47 4.51 4.125	2.75 4.30 4.41 4.76
1–7 окт.	5	Законы сохранения. Упругие и неупругие столкновения.	4.70 4.109	4.90 4.96 4.108 6.4	4.80 4.98 4.141 6.15
8–14 окт.	6	Движение в поле центральных сил. Тяготение.	<sup>0</sup> <sub>9</sub> 7.1 7.10	6.8 7.61 7.85 7.189	6.9 7.11 7.5 7.58
15–21 окт.	7	Вращение твёрдых тел вокруг неподвижной оси.	<sup>0</sup> <sub>10</sub> <sup>0</sup> <sub>11</sub> <sup>0</sup> <sub>12</sub>	9.1 9.7 9.90 9.131	9.105 9.126 9.121 9.95
22–28 окт.	8	Плоское движение твёрдого тела, качение.	<sup>0</sup> <sub>13</sub> <sup>0</sup> <sub>14</sub> <sup>0</sup> <sub>15</sub>	9.76 9.79 9.115 9.163	9.71 9.89 9.187
27 октября (суббота)		Контрольная работа (общекурсовая)			
29 окт.– 4 нояб.	9	Разбор контрольной работы. Сдача 1-го задания.			

5–11 нояб.	<b>10</b>	Произвольное движение твёрдого тела. Гироскопы.	11.7 11.8	11.1 11.14 11.20 11.24	11.10 11.12 Т1
12–18 нояб.	<b>11</b>	Неинерциальные системы отсчёта.	<sup>0</sup> 16 <sup>0</sup> 17 12.38	12.19 12.82 12.7 12.71	12.28 12.87 12.48 12.34
19–25 нояб.	<b>12</b>	Свободные колебания. Колебания твёрдых тел.	<sup>0</sup> 18 <sup>0</sup> 19 5.71	5.43 10.4 10.48 10.85	12.89 10.78 10.43 14.2
		Вынужденные колебания.	<sup>0</sup> 20	5.60	5.74 12.80
26 нояб. – 2 дек.	<b>13</b>	Элементы теории упругости.	<sup>0</sup> 21 13.17	13.7 13.16 13.33	13.18 13.36 13.50
3–9 дек.	<b>14</b>	Кинематические эффекты теории относительности. Преобразования Лоренца.	<sup>0</sup> 22 <sup>0</sup> 23 <sup>0</sup> 24	8.4 8.80 8.30 8.77	8.7 8.97 8.89
10–16 дек.	<b>15</b>	Динамика релятивистских частиц. Релятивистские столкновения.	<sup>0</sup> 25 <sup>0</sup> 26	8.59 8.43 8.48 Т2	8.69 8.57 Т3
17–21 дек.		Сдача 2-го задания.			

### Примечания

Номера задач указаны по Сборнику задач по общему курсу физики. Ч. 1. Механика, термодинамика и молекулярная физика / под ред. В.А. Овчинкина (3-е изд., испр. и доп.). – М.: Физматкнига, 2013.

Все задачи обязательны для сдачи задания. В каждой теме семинара задачи разбиты на 3 группы:

- 0** — задачи, которые студент должен решать в течение недели для подготовки к семинару;
- I** — задачи, рекомендованные для разбора на семинаре (преподаватель может разбирать на семинарах и другие равноценные задачи по своему выбору);
- II** — задачи для самостоятельного решения; их решения должны быть оформлены студентами в отдельных тетрадях и сданы преподавателю на проверку.

### Задачи 0 группы

**01.** Мяч посылается с начальной скоростью  $v_0 = 19,6$  м/с под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту. В тот же момент навстречу мячу стартует игрок, находящийся на расстоянии  $\ell = 55$  м. С какой скоростью он должен бежать, чтобы успеть схватить мяч до удара о землю?

Ответ: 5,6 м/с.

**02.** Точка начинает двигаться по окружности с угловым ускорением  $\varepsilon = 1,7$  рад/с<sup>2</sup>. Найти угол между векторами ускорения и скорости точки через  $t = 1$  с.

Ответ:  $\alpha = 60^\circ$ .

**03.** Скорость некоторого тела при поступательном движении пропорциональна его координате:  $\dot{x} = x/\tau$ , где  $\tau = 10$  с. Найти координату и ускорение тела в момент времени  $t = \tau$ , если в начальный момент оно находилось в точке  $x_0 = 1$  м.

Ответ:  $x(\tau) \approx 2,72$  м,  $a(\tau) \approx 0,027$  м/с<sup>2</sup>.

**04.** К свободному аэростату массой  $M = 10$  т привязана верёвочная лестница, на которой находится человек массой  $m$ . Исходно аэростат неподвижен. В каком направлении и с какой скоростью  $V$  будет перемещаться аэростат, если человек начнёт подниматься вверх по лестнице с постоянной скоростью  $u$  относительно лестницы? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: вниз со скоростью  $V = u/11$ .

**05.** Ракета массой  $M = 6$  т установлена для запуска по вертикали. При скорости истечения газов  $u = 3$  км/с найти расход топлива  $\mu$ , необходимый для того, чтобы обеспечить тягу, достаточную для придания ракете начального ускорения  $a = 2g$  вверх.

Ответ: 59 кг/с.

**06.** Тонкий однородный стержень раскрутили вокруг одного из концов. С какой силой действует стержень на ось вращения, если сила натяжения в его середине равна 12 Н?

Ответ: 16 Н.

**07.** Груз, висящий на лёгкой пружине жёсткостью  $k = 400$  Н/м, растягивает её на  $\Delta x_0 = 2$  см. Какую работу надо затратить, чтобы утроить удлинение пружины ( $\Delta x_1 = 6$  см), прикладывая к грузу вертикальную силу?

Ответ: 0,32 Дж.

**08.** Потенциальная энергия взаимодействия двух неполярных молекул может быть приближённо описана формулой  $U(r) = U_0 \left[ \left(\frac{a}{r}\right)^{12} - \left(\frac{a}{r}\right)^6 \right]$  (потен-

циал Леннарда-Джонса), где  $U_0 > 0$ ,  $a = 4$  нм,  $r$  — расстояние между молекулами. Найти расстояние  $r_0$ , при котором сила взаимодействия молекул равна нулю.

Ответ: 4,5 нм.

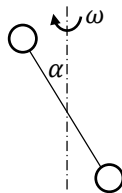
**09.** Над некоторой планетой запущен спутник связи, всё время находящийся над одной и той же её точкой. Во сколько раз радиус орбиты этого спутника  $R$  больше радиуса планеты  $R_0$ , если известно, что другой спутник, обращающийся вокруг планеты на малой высоте, делает за время планетарных суток 17 полных оборотов?

Ответ:  $R \approx 6,6R_0$ .

**10.** Вычислить момент инерции  $I$  однородного диска массой  $m$  и радиусом  $R$  относительно оси вращения, проходящей в плоскости диска по его диаметру.

Ответ:  $mr^2/4$ .

**11.** Два маленьких шарика массой  $m$  каждый, закреплённых на лёгкой штанге длиной  $l$ , вращаются с угловой скоростью  $\omega$  вокруг фиксированной оси, проходящей через центр штанги (точка  $O$ ) под углом  $\alpha$  к ней. Найти направление и модуль вектора момента импульса системы относительно точки  $O$  в произвольный момент времени.



Ответ:  $|\vec{L}| = \frac{1}{2}m\omega l^2 \sin \alpha$ , перпендикулярно стержню в плоскости рисунка.

**12.** Высокая и тонкая фабричная труба треснула у основания и стала падать. Найти угловую скорость  $\omega$  и угловое ускорение  $\varepsilon$  как функции угла  $\alpha$  между трубой и вертикалью.



Ответ:  $\varepsilon = \frac{3g}{2l} \sin \alpha$ ,  $\omega = \sqrt{3 \frac{g}{l} (1 - \cos \alpha)}$ .

**13.** Найти ускорение центра тонкостенного мяча, скатывающегося без проскальзывания с плоскости, установленной под углом  $\alpha$  к горизонту.

Ответ:  $a = \frac{3}{2}g \sin \alpha$ .

**14.** Шар и сплошной цилиндр, имеющие равные массы, катятся без скольжения с одинаковой скоростью. Определить отношение их кинетических энергий  $K_{ш} / K_{ц}$ .

Ответ:  $K_{ш} / K_{ц} = 14 / 15$ .

**15.** Тонкое кольцо радиусом  $R$  и массой  $m$  раскручено до угловой скорости  $\omega$  и поставлено вертикально на горизонтальную шероховатую поверхность. С какой скоростью  $V$  будет двигаться кольцо после прекращения проскальзывания?

Ответ:  $V = \omega R / 2$ .



**16.** Поезд движется со скоростью  $V = 144$  км/ч по закруглению радиуса  $R = 20$  км. К потолку вагона подвешен на нити небольшой груз. Оценить угол отклонения нити  $\Delta\alpha$  и относительное изменение натяжения нити  $\Delta T/T$  по сравнению со случаем, когда поезд покоится.

Ответ:  $\Delta\alpha \approx 8,2 \cdot 10^{-3}$  рад  $\approx 0,5^\circ$ ;  $\frac{\Delta T}{T} \approx \frac{\Delta\alpha^2}{2} = 3,3 \cdot 10^{-5}$ .

**17.** Автомобиль находится на дороге, проложенной по экватору. Оценить приращение веса автомобиля  $\Delta N$ , движущегося с востока на запад со скоростью  $V = 120$  км/ч, если вес покоящегося автомобиля  $N_0 = 10^4$  Н.

Ответ:  $\Delta N \approx 5$  Н.

**18.** На гладком столе лежат два груза массами  $m$  и  $2m$ , скреплённые двумя последовательно соединёнными пружинами с жёсткостями  $k$  и  $2k$ . Найти их период колебаний.

Ответ:  $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ .

**19.** Однородный диск радиусом  $r = 10$  см подвешен на оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его край. Дыску сообщили из положения равновесия начальную угловую скорость  $\omega_0 = 0,8$  рад/с. Найти закон изменения угла отклонения маятника во времени, считая амплитуду колебаний малой.

Ответ:  $\varphi \approx 0,1 \sin 8t$ .

**20.** Математический маятник имеет длину  $L = 9,8$  см. Точка подвеса маятника колеблется вдоль оси, расположенной горизонтально, по гармоническому закону с циклической частотой  $\Omega = 11$  рад/с и амплитудой  $a = 1$  мм. Найти амплитуду  $A$  установившихся колебаний маятника. Трение считать малым. *Указание:* перейти в систему отсчёта подвеса.

Ответ:  $A = \frac{a}{1-g/(\ell\Omega^2)} = 5,8$  мм.

**21.** Два троса с сечениями  $S_1$  и  $S_2 = 2S_1$  и одинаковой длины имеют модули Юнга  $E_1$  и  $E_2 = 2E_1$ . Найти отношение их энергий деформации при одинаковой нагрузке.

Ответ:  $W_1/W_2 = 8$ .

**22.** Две частицы летят вдоль прямой со скоростью  $v = 0,99$  с относительно лабораторной системы. Неподвижный детектор регистрирует эти частицы интервалом  $\Delta t = 10^{-4}$  с. Найти расстояние между частицами в их системе отсчёта.

Ответ:  $l \approx 2,1 \cdot 10^5$  м.

**23.** Две частицы, движущиеся на встречу друг другу с одинаковыми скоростями и находящиеся исходно на расстоянии  $L$  в лабораторной системе, столкнулись через время  $t = L/c$  по лабораторным часам. Найти их относительную скорость.

Ответ:  $0,8c$ .

**024.** С какой скоростью должен двигаться автомобиль, чтобы водитель мог принять красный свет светофора ( $\lambda_k = 700$  нм) за зелёный ( $\lambda_z = 500$  нм)?

Ответ:  $10^8$  м/с.

**025.** Найти скорость электрона, имеющего кинетическую энергию 1) 1 эВ, 2) 1 МэВ. Энергия покоя электрона  $m_e c^2 \approx 0,5$  МэВ.

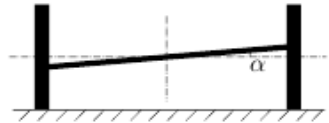
Ответ: 1)  $6 \cdot 10^5$  м/с, 2)  $2,8 \cdot 10^8$  м/с.

**026.** Исходно покоящееся ядро цезия-137 испустило фотон с энергией  $E = 1$  МэВ. Найти скорость, которую приобрело ядро.

Ответ:  $v \approx \frac{c}{1,3 \cdot 10^5} \approx 2,3$  км/с.

### Текстовые задачи

**Т1.** (5А–2014) Ось железнодорожной колёсной пары, представляющая собой однородный тонкий стержень массой  $m = 200$  кг и длиной  $\ell = 1,5$  м, приварена к колёсам под углом  $\alpha = 1^\circ$  к горизонту, как показано на рисунке (колёса расположены вертикально и симметрично, центр масс стержня совпадает с серединой горизонтального отрезка, соединяющего центры колёс). Найти максимальную силу давления одного из колёс на землю при поступательном движении конструкции без проскальзывания по горизонтальной поверхности, когда угловая скорость равна  $\omega = 50$  рад/с. Суммарная масса конструкции равна  $m_0 = 1000$  кг.



Ответ:  $N_{\max} \approx \frac{1}{12} m \omega^2 \ell \alpha + \frac{1}{2} m_0 g = 6 \cdot 10^3$  Н.

**Т2.** Электрон начинает двигаться из состояния покоя в однородном электрическом поле. Сила, действующая на электрон, постоянна и равна  $F = 1,6 \cdot 10^{-13}$  Н. Какое расстояние пройдёт электрон к моменту, когда его кинетическая энергия станет равной его энергии покоя? Какое время при этом пройдет по лабораторным часам?

Ответ:  $l \approx 0,51$  м,  $\tau = \sqrt{3} \frac{l}{c} \approx 3$  нс.

**Т3.** (2Б–2014) Протон влетает в однородное магнитное поле, имея скорость  $v = 3c/5$ . Индукция поля  $B = 5$  Тл всюду одинакова и перпендикулярна начальному направлению движения частицы. После того, как частица прошла расстояние  $l = 2$  см, её вектор скорости повернулся на некоторый угол  $\theta$ . Найти величину этого угла.

*Указание:* сила Лоренца, действующая на частицу, равна  $\vec{F} = q[\vec{v} \times \vec{B}]$ . Удельный заряд протона  $\frac{qv}{m_p} \approx 9,6 \cdot 10^7$  Кл/кг.

Ответ:  $\theta \approx \frac{qBl}{\gamma m v} = 0,04$  рад.