Ю.Г. Павленко

Пособие по физике для поступающих в вузы

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 53
ББК 22.3
Ю11

Ю.Г. Павленко
Ю11 Пособие по физике для поступающих в вузы / Ю.Г. Павленко – М.: Книга по Требованию, 2024. – 480 с.

ISBN 978-5-458-35001-3

Эта книга — репринт оригинального издания (издательство ""МГУ"", 1978 год), созданный на основе электронной копии высокого разрешения, которую очистили и обработали вручную, сохранив структуру и орфографию оригинального издания. Редкие, забытые и малоизвестные книги, изданные с петровских времен до наших дней, вновь доступны в виде печатных книг.

Пособие содержит достаточно полное изложение курса физики, изучаемого в средней школе. Важная особенность книги состоит в том, что содержание основных законов и уравнений, физики иллюстрируется на основе удачно подобранных примеров и задач. Разбор этих примеров (их более двухсот) позволяет овладеть эффективными методами решения задач. Выбор материала в «Пособии» определяется программой по физике для средней школы, пособие по физике предназначено для школьников 8—10 классов и учащихся подготовительных отделений.

ISBN 978-5-458-35001-3

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие предназначено для учащихся подготовительных курсов естественных факультетов МГУ. Цель пособия — углубить и расширить понимание физики будущими абитуриентами и научить их активно применять физические законы к решению конкретных задач.

Главное внимание мы уделяли важнейшим физическим явлениям и физическим законам. В пособии достаточно полно освещаются те вопросы, которые, как показали практика приемных экзаменов и опыт работы подготовительных курсов, наиболее сложны для усвоения. Мы стремились изложить физику, насколько это возможно, в том виде, в каком она изучается в высших учебных заведениях, не выходя, однако, за рамки программы средней школы. Ряд важных вопросов, о которых вскользь упоминается в существующих пособиях (и которые входят в действующую в настоящее время программу по физике для поступающих), рассмотрен нами значительно полнее. Мы надеемся, что этот дополнительный материал поможет читателю более глубоко представить физические основы соответствующих разделов физики.

В пособии приведено более двухсот примеров и задач, иллюстрирующих применение физики в жизни и современной технике. Каждый параграф начинается с изложения теоретического материала, затем разбирается несколько примеров и задач, которые часто служат дополнением к тексту и помогают яснее понять физические понятия и законы. Приведенные в тексте задачи, как правило, среднего уровня трудности. Практически все задачи снабжены решениями. В конце каждого параграфа указаны номера задач для самостоятельного разбора. Мы ссылаемся на два сборника задач:

1. Бендриков Г. А., Буховцев Б. Б., Керженцев В. В., Мякишев Г. Я. Задачи по физике. Изд-во МГУ, 1968.

2. Зубов В. Г., Шальнов В. П. Задачи по физике. М., «Наука», 1967.

Работе с этими задачниками мы придаем важное значение, поскольку в них помещены задачи, предлагавшиеся на приемных экзаменах по физике на естественных факультетах МГУ за целый ряд лет. Рекомендуемые для решения задачи представляют минимальный набор. В остальном учащиеся должны сами выбрать для себя индивидуально «непонятные» задачи и обратить особое внимание на постановку задач, осмысливание физических законов, лежащих в основе того или иного явления, анализ и обсуждение полученного решения. К сожалению, в ближайшее время курсы не имеют возможности обеспечить учащихся этими задачниками.

Теперь сделаем несколько методических замечаний практического характера, цель которых — обратить внимание учащихся на основные понятия, физические законы и методы решения задач. Прежде всего необходимо изучить § 1, освоить понятие вектора; ясно представлять, что вектор в отличие от скаляра задается тремя числами. Умение обращаться с векторами понадобится во всех разделах физики.

Вся кинематика (§ 3—7) содержится в формулах (3) и (4) примера 5.2. С их помощью могут быть составлены и решены всевозможные задачи по кинематике. При изучении второго закона Ньютона (§ 9, 11, 13) надо обратить внимание на его векторный характер: $m\mathbf{a}=\mathbf{F}$ дает три соотношения, а не одно. Силы, действующие на тело, возникают от его взаимодействия с другими телами. В механике мы имеем дело только с тремя типами сил: 1) гравитационные силы, 2) при деформации соприкасающихся с телом поверхностей, нитей и т. д. возникает сила упругости, 3) сила трения.

Чрезвычайно важно овладеть законами сохранения импульса (§ 10) и законами сохранения и изменения полной энергии (§ 12).

В главе «Молекулярная физика» необходимо усвоить понятия равновесного состояния, температуры, процесса, влажности, первый и второй законы термодинамики, свойства газов, насыщенного пара, уравнение Клапейрона — Менделеева.

В главе «Основы электродинамики» надо обратить внимание на векторный характер закона Кулона, свойство суперпозиции, закон сохранения заряда, понятия напряженности, потенциала и их связь. Важно понимать, что электрические цепи, содержащие сопротивления, э. д. с. и емкости, могут быть рассчитаны на основе закона сохранения заряда и закона Ома для участка цепи, содержащего э. д. с.

В разделах «Магнитное поле» и «Электромагнитная индукция» основными являются формулы (35.3) и (36.3), закон Ленца.

В главе «Оптика» следует обратить внимание на современную формулировку закона преломления, явление полного внутреннего отражения, разобраться в понятиях действительное и мнимое изображение и предмет. Оптические системы, содержащие линзы и сферические зеркала, рассчитываются на основе формулы (43.1).

Кандидат физико-математических наук

Ю. Г. Павленко

Глава I. МЕХАНИКА

§ 1. Скаляры и векторы

Физика, как и любая другая наука, основывается на наблюдениях. При описании различных явлений физики стремятся получить количественные соотношения между физическими величинами. Какие же величины используются в физике? В школьном курсе мы сталкиваемся с величинами двух типов. Величины первого типа определяются только своими числовыми значениями в соответствующей системе единиц — их называют скалярами. Например, число молекул в некотором объеме, масса, температура, работа, энергия, путь, пройденный телом, плотность являются скалярами. Величины второго типа характеризуются числовым значением и направлением в пространстве — это векторы. Сила, перемещение, скорость, ускорение, напряженность электрического и магнитного полей являются векторами. Векторы изображаются в виде направленных отрезков (стрелок). Стрелка указывает направление вектора, а длина стрелки дает числовое значение вектора в выбранном масштабе. Иногда определяют вектор как направленный отрезок. Это определение неверно, так как не всякий направленный отрезок может быть вектором. Мы не будем давать строгого определения векторной величины, отметим только, что два направленных отрезка только тогда являются векторами, когда их сумма может быть представлена в виде одного направленного отрезка, построенного по правилу параллелограмма.

Векторы обозначаются буквами, напечатанными жирным шрифтом, или буквами со стрелкой или чертой над ними. Числовое значение вектора **a** («длина» стрелки), взятое со знаком плюс, называется модулем вектора, или абсолютной величиной вектора, и обозначается через $|\mathbf{a}|$

или a. Модуль вектора — положительная скалярная величина. Векторы называют равными, если они лежат на параллельных прямых, имеют одинаковое направление и длину. Из этого определения следует, что каков бы ни был вектор **a**, всегда можно перенести его в точку P и

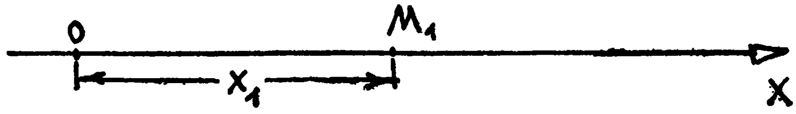

Рис. 1.1

построить вектор **b**=**a**. Заметим, что если **b**=**a**, то $a=b$. Обратное заключение, конечно, недопустимо. Понятия «больше», «меньше» применимы только к абсолютной величине векторов, но не к самим векторам.

1. Система координат. Чтобы задать положение точки, лежащей на прямой линии, выбирают произвольно начало отсчета (точка O на рис. 1.1), единицу масштаба и одно из двух возможных направлений в качестве положительного. Такая прямая называется координатной, или числовой, осью. Полупрямая, идущая в положительном направлении, называется положительной полуосью; полупрямая, идущая в противоположном направлении, — отрицательной полуосью. Координатой точки M_1, находящейся на числовой оси, называют расстояние x_1 от начала отсчета, взятое со знаком плюс, если точка лежит на положительной полуоси, или со знаком минус, если точка лежит на отрицательной полуоси.

Для того чтобы *задать числами положение точки на плоскости*, выбирают на ней две координатные оси, пересекающиеся, вообще говоря, под произвольным углом (разумеется, отличным от 0 и 180°). Мы будем использовать две взаимно перпендикулярные числовые оси, образующие, как говорят, декартову, или прямоугольную, систему координат. Одну из осей назовем осью x, другую — осью y. Точку пересечения осей называют началом координат. Начало координат является началом отсчета каждой из координатных осей (рис. 1.2). Пусть M_1 произвольная точка на плоскости. Спроектируем точку M_1 на координатные оси, т. е. проведем через M_1 перпендикуляры к прямым ox и oy и обозначим основания этих перпендикуляров соответственно M_{1x} и M_{1y}. Координатами x_1 и y_1 точки M_1 называются координаты точек M_{1x} и M_{1y}.

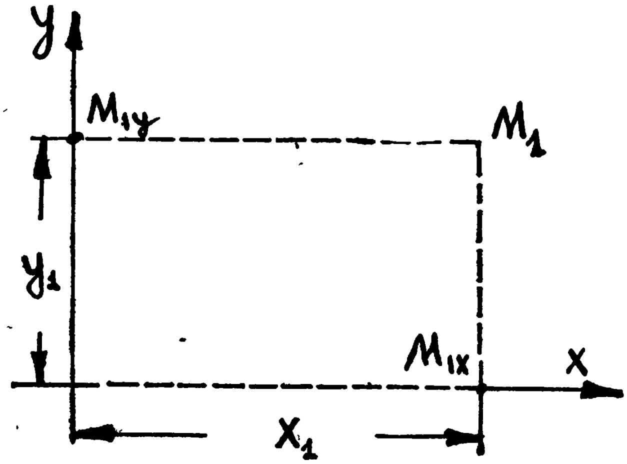

Рис. 1.2

Положение точки M_1 в пространстве определяется координатами x_1, y_1, z_1 оснований перпендикуляров, опущенных из точки на три взаимно перпендикулярные координатные оси ox, oy и oz.

2. Задание вектора. При решении физических задач приходится иметь дело с векторами, расположенными в различных плоскостях. Мы рассмотрим часто встречающуюся в школьном курсе ситуацию, когда все векторы, характеризующие некоторую систему, лежат в одной плоскости. Поэтому для задания вектора **a** введем прямоугольную систему координат (рис. 1.3) с осями x и y. В отличие от скалярной величины для характеристики вектора одного числа недостаточно. Нетрудно видеть, что, задавая абсолютную величину вектора a, угол α, который вектор образует с осью x, и положение плоскости xy, мы полностью определим векторную величину **a** в выбранной системе координат. Указанный способ задания вектора не является единственным. Мы будем пользоваться другим, более удобным при решении задач заданием вектора. Прежде чем говорить о нем, вспомним определение проекции вектора на числовую ось: *проекция любого вектора на какую-либо ось равна произведению абсолютной величины вектора на косинус угла между положительным направлением оси и направлением* *самого вектора.* На рис. 1.4 изображены четыре вектора **a**, **b**, **c**, **d**. Их проекции на ось x соответственно равны:

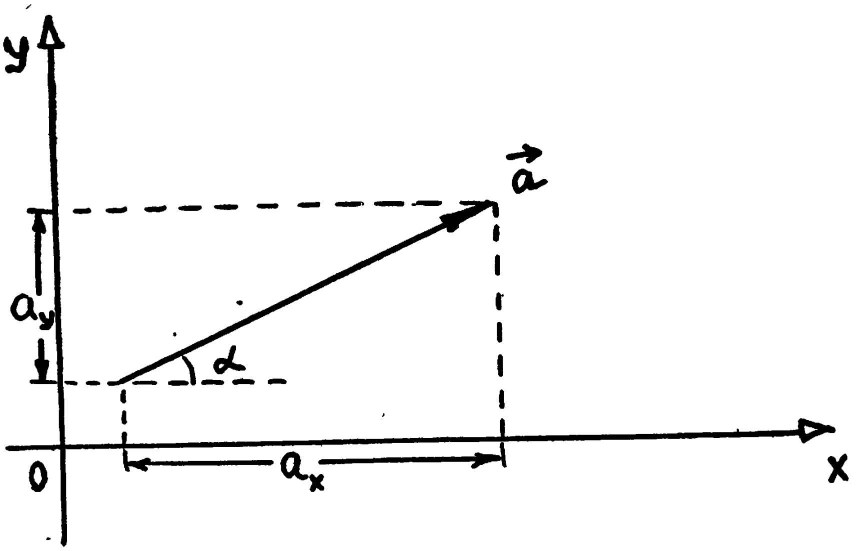

Рис. 1.3

$$a \cos \alpha, \quad b \cos \frac{\pi}{2} = 0,$$

$$c \cos (\pi - \beta) = -c \cos \beta, \quad d \cos \left(\frac{3\pi}{2} + \gamma\right) = d \sin \gamma,$$

а проекции на ось y:

$$a \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = a \sin \alpha, \quad b \cos 0^\circ = b,$$

$$c \cos \left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = c \sin \beta, \quad d \cos (\pi - \gamma) = -d \cos \gamma.$$

Возвращаясь к рис. 1.3, нетрудно понять, что два числа a_x и a_y, являющиеся проекциями вектора на оси x и y, также могут быть использованы для определения направления и величины вектора.

Из рис. 1.3 следует связь между двумя способами задания вектора:

$$a_x = a \cos \alpha, \quad a_y = a \sin \alpha, \tag{1.1}$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}, \quad \sin \alpha = \frac{a_y}{a}, \quad \cos \alpha = \frac{a_x}{a}. \tag{1.2}$$

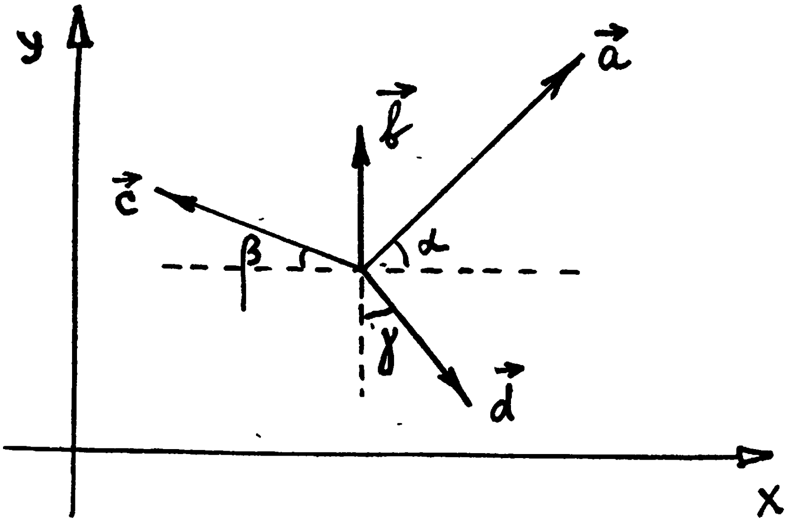

Рис. 1.4

Два числа a_x, a_y, определяющие векторную величину, называют составляющими (или компонентами) вектора в направлении соответствующих координатных осей. Часто для вектора используется следующая форма записи: $\mathbf{a}=(a_x, a_y)$. Подчеркнем еще раз, когда мы говорим о векторе, расположенном в плоскости, то речь идет о двух числах.

Следствие 1. Если вектор $\mathbf{a}=\mathbf{b}$, то $a_x=b_x$, $a_y=b_y$. Все составляющие нулевого вектора $\mathbf{c}=0$ равны нулю: $c_x=0$, $c_y=0$.

Вектор называют постоянным, если в любой момент времени его длина и направление остаются неизменными. Очевидно, компоненты постоянного вектора не зависят от времени. В общем случае длина вектора и его направление в пространстве могут изменяться с течением времени. Компоненты такого вектора являются функциями времени.

Рассмотрим некоторые операции с векторами.

3. Умножение вектора на скаляр. Допустим, мы имеем вектор $\mathbf{v}$ и скаляр t. При умножении вектора $\mathbf{v}$ на скаляр t абсолютная величина вектора изменится в t раз, а его направление останется прежним или изменится на противоположное в зависимости от знака t. В результате образуется некоторый вектор $\mathbf{r}=\mathbf{v}t$ с компонентами v_xt, v_yt. Пусть, например, $\mathbf{v}$ — постоянный вектор, скажем скорость, а t — время. Тогда вектор перемещения $\mathbf{r}$, изменяясь с течением времени, является переменным вектором.

Умножая вектор **a** на —1, получим новый вектор **c**=—**a**, который называют обратным вектору **a**.

4. Сложение векторов. Определим сумму двух векторов **a** и **b**.

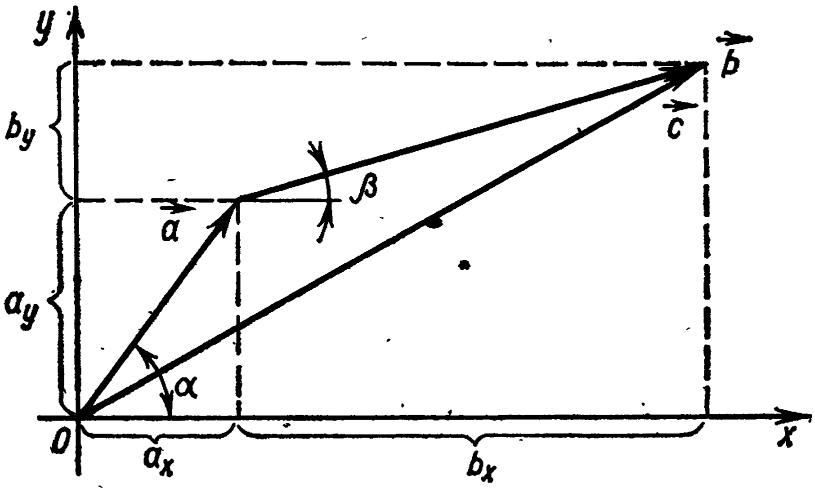

Рис. 1.5

Суммой двух векторов **a** и **b** называется вектор **c**, который идет из начала вектора **a** в конец вектора **b**, при условии, что начало вектора **b** приложено к концу вектора **a**.

Из рис. 1.5 видно, что вектор **c** имеет компоненты $c_x = a_x + b_x$, $c_y = a_y + b_y$. В векторных обозначениях эти соотношения записываются в виде **c**=**a**+**b**.

По определению, абсолютная величина вектора **c** равна: $c = \sqrt{c_x^2 + c_y^2}$. Учитывая, что вектор $\mathbf{a} = (a\cos\alpha,\ a\sin\alpha)$, а вектор $\mathbf{b} = (b\cos\beta,\ b\sin\beta)$, найдем

$$c = \sqrt{(a_x + b_x)^2 + (a_y + b_y)^2} =$$

$$= \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\cos(\alpha - b)}.$$

Этим соотношением, связывающим стороны a, b, c векторного треугольника, мы доказали теорему косинусов. Согласно определению (1.2) угол γ между вектором **c** и осью ox определяется соотношениями:

$$\cos\gamma = \frac{a\cos\alpha + b\cos\beta}{c}, \quad \sin\gamma = \frac{a\sin\alpha + b\sin\beta}{c}.$$

Складывая полученный вектор **c** с некоторым вектором **d**, аналогичным образом получим сумму трех векторов. Продолжая этот процесс, можно определить сумму любого числа векторов. При этом компоненты результирующего вектора равны суммам компонент слагаемых векторов по соответствующим осям. Из этого построения следует полезный рецепт для нахождения величины и

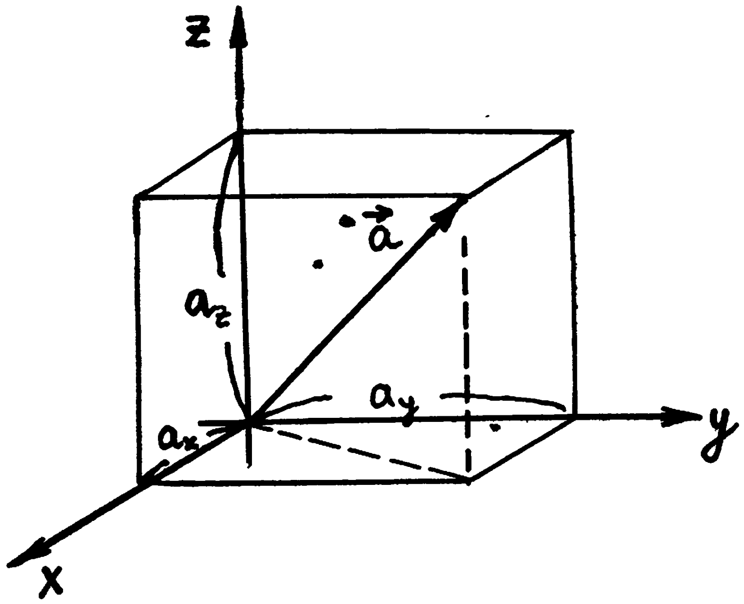

Рис. 1.6

направления вектора $\mathbf{c}=\mathbf{a}_1+\mathbf{a}_2+\ldots$: достаточно найти сумму компонент слагаемых векторов по осям x и y.

Следствие 2. Сумма векторов $\mathbf{a}+\mathbf{b}+\ldots$ равна нулю, если равны нулю суммы компонент слагаемых векторов по осям x и y:

$$0=a_x+b_x+\ldots,$$
$$0=a_y+b_y+\ldots.$$

Соотношение $\mathbf{c}=\mathbf{a}+\mathbf{b}$ (см. рис. 1.5) можно, если угодно понимать, как разложение вектора **c** на два составляющих его вектора **a** и **b**.

5. Вычитание векторов. Разность **d** векторов **a** и **b** можно определить как результат сложения вектора **a** и $-\mathbf{b}$ или из эквивалентного соотношения $\mathbf{a}=\mathbf{b}+\mathbf{d}$. Вектор $\mathbf{d}=(a_x-b_x,\ a_y-b_y)$. Весьма важным при решении ряда задач является вывод о том, что если разность двух векторов $\mathbf{d}=0$, то эти векторы равны друг другу.