
ЛЕКЦИЯ 1

МЕХАНИКА. КИНЕМАТИКА. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

1. Виды физики, модели механики

Есть два вида физики: **общая**, которая знакомит студентов с экспериментальными результатами и **теоретическая**, занимающаяся, прежде всего, математической стороной физических процессов. Экспериментальная физика основана на количественных наблюдениях, то есть наблюдениях конкретных измерений. В этой основе физика очень связана с геометрией. Геометрия изучает, что такое пространство, пространственные фигуры, пространственное построение. Первые измерения проводились в древнее время еще Архимедом, Пифагором, Аристотелем, но реальная оценка измерений пришла приблизительно 4 века назад с исследованиями Галилео Галилея. Он начал изучать конкретные процессы, такие как скатывание шарика по наклонной плоскости, следовательно ему потребовались измерительные приборы для оценки времени и расстояния. Вместо часов Галилей использовал пульс. Скатывания шарика по квадратичному закону подтверждается опытом.

Физика занимается, наблюдениями, измерениями и построениями моделей движения тела; физика старается описать процесс, используя идеализации (упрощение опыта до его предельной сути, пренебрегая всеми несущественными моментами, оставляя самое главное в данном опыте). В этом заключается вся сложность физики. Она занимается не реальными задачами, а физическими моделями, строит эти модели и в этом заключается ее ценность для других наук — получение опыта при построении моделей. Ученые физики стараются понять суть явления, вычленив самое главное, и построить на основании этого теорию.

Классическая модель механики предполагает изучение движения тел со скоростями много меньшими скорости света. Но с развитием науки ученые открывали частицы скорости движения которых равны или сопоставимы со скоростью света. Их изучение с помощью законов классической механики невозможно.

В классической теории свойства пространства и времени (их изучают науки геометрия и хронометрия) вместе дают понятие **кинематики**. Свойства пространства и



времени не зависят от того, какие объекты участвуют в движении и каким образом оно осуществляется. Это справедливое утверждение в классической механике. На самом деле пустое пространство не имеет смысла, то есть пространство появляется там, где есть объект. Классическая механика использует евклидово пространство. А **релятивистская механика** объясняет, что пространство и свойства его зависят от наполняющих его объектов (общая теория относительности).

2. Координаты и время

В геометрии есть понятие «геометрическая точка», положение которой определяется координатами в пространстве. Рассмотрим, например, декартову систему координат. Введем единичные вектора \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} — орты, модули которых равны единице. Это базис, на котором держится система координат. Этот базис необходимо привязать к точке, которая должна располагаться на каком-то теле. В механике **системой отсчета** называют тело, к которому привязана точка отсчета и система координат, и движение других тел рассматривается в этой системе отсчета. **Материальная точка** — это геометрическая точка, размерами которой можно пренебречь. Материальной точкой может быть Земля по отношению к Солнцу, Солнце по отношению к галактике.

Положение точки по отношению к системе координат можно задать радиус-вектором \vec{r} . Если материальная точка движется, то $\vec{r} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$, где $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ — координаты конца вектора в любой момент времени t . То есть необходимо три координаты, чтоб задать положение точки в трехмерном пространстве (см. рис. 1.1).

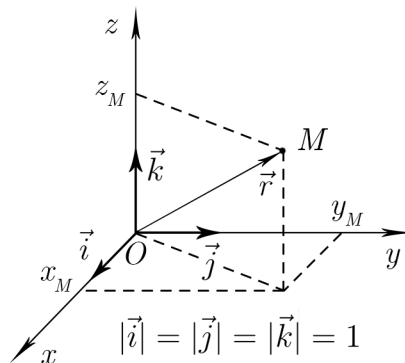


Рис. 1.1

Время измеряется часами: естественными (сутки, час, минута, секунда) или механическими (основанные на периодическом действии). Пример периодического процесса: малые колебания математического маятника, который дает понятие промежутков времени. Единица измерения — секунда. 1 секунда — промежуток времени, в течение которого совершается 9192631770 колебаний электромагнитного излучения между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома Цезия-133 в отсутствие внешних полей.

Единица измерения длины — метр. 1 метр — длина 1650763,73 световых волн оранжевой линии атома криптона-86 при переходе с уровня $2p_{10}$ на $5d_5$.

Время необходимо синхронизировать в пространстве. Существует метод синхронизации по Эйнштейну: ровно посередине между двумя точками, в которых находятся секун-



! Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

домеры, разместим точку 3 и устроим вспышку (см. рис. 1.2).



Рис. 1.2

3. Описание движения в механике

Рассмотрим точку M в пространстве и опишем ее движение. Дуга — траектория движения, \vec{r}_1, \vec{r}_2 — радиус-вектора в моменты времени t_1, t_2 , $\Delta\vec{r}$ — изменение расстояния. $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ (см. рис. 1.3).

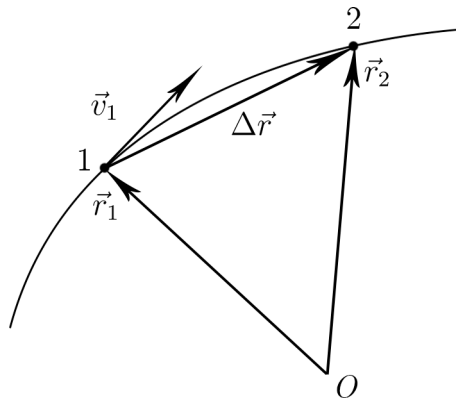


Рис. 1.3

Тогда по определению, **средняя скорость** $\vec{V}_{\text{cp}} = \langle \vec{V} \rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$, $\Delta t = t_2 - t_1$.

Уменьшая промежуток времени, можно привести к мгновенной скорости. На рис. 1.3 хорда 1-2 перейдет в касательную к траектории в точке 1.

! Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu

Скорость точки M :

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}$$

$d\vec{r}$, dt — бесконечно малые величины.

Запишем скорость через орты декартовой системы координат (ДСК):

$$\vec{V} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k}.$$

Тогда модуль скорости будет равен

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}.$$

Введем понятия **направляющих косинусов** — косинусов углов между вектором скорости и единичными ортами ДСК:

$$\cos \widehat{V\vec{i}} = \frac{V_x}{V}, \quad \cos \widehat{V\vec{j}} = \frac{V_y}{V}, \quad \cos \widehat{V\vec{k}} = \frac{V_z}{V}$$

Тогда **ускорение** вычисляется по формуле:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \dot{\vec{V}}.$$

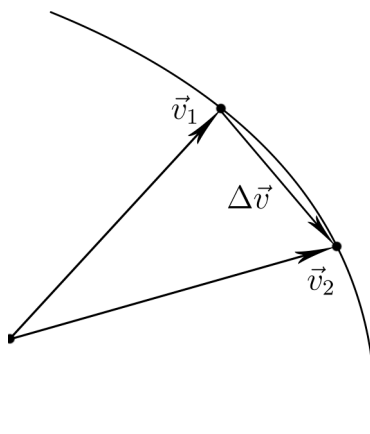


Рис. 1.4

Ускорение направлено по касательной к годографу скорости. **Годограф** — это линия, получаемая соединением концов векторов скоростей точек, проведенных из одной точки.

Зададим плоскую траекторию движения точки M в пространстве (см. рис. 1.5), выберем началом отсчета точку O . $\vec{\tau}$ — единичный вектор (модуль равен 1) вдоль касательной к траектории в точке M ; \vec{n} — единичный вектор нормали.

Тогда выражение для скорости примет вид:

$$\vec{V} = V \vec{\tau},$$

а для ускорения:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{dV}{dt} \vec{\tau} + V \frac{d\vec{\tau}}{dt} = a_\tau \vec{\tau} + a_n \vec{n},$$

! Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

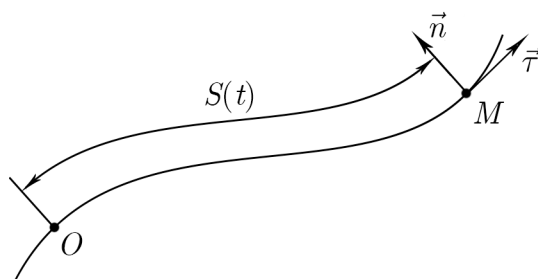


Рис. 1.5

где a_τ — касательное ускорение, a_n — нормальное ускорение.

$a_n = \frac{V^2}{\rho}$, т. к.

$$\frac{d\vec{\tau}}{dt} = \frac{d\vec{\tau}}{ds} \frac{ds}{dt} = \frac{V}{\rho} \vec{n},$$

где ρ — радиус кривизны:

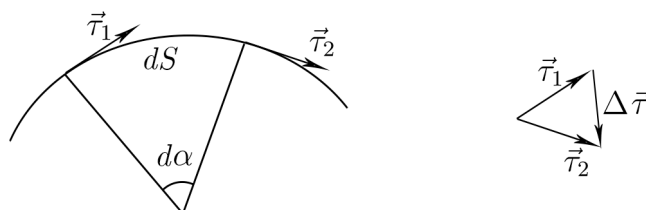


Рис. 1.6

$$d\alpha = \frac{ds}{\rho} = \frac{d\vec{\tau}}{|\vec{\tau}|} = d\vec{\tau} \frac{d\vec{\tau}}{ds} = \frac{1}{\rho} \vec{n}$$

! Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu



Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

Задача Дано: тело брошено под углом 45° к горизонту с начальной скоростью 10 м/с (см. рис. 1.7). Найти радиус кривизны этой траектории через 1 секунду.

$$\alpha = 45^\circ, V_0 = 10 \text{ м/с}$$

Найти ρ через $t = 1 \text{ с}$

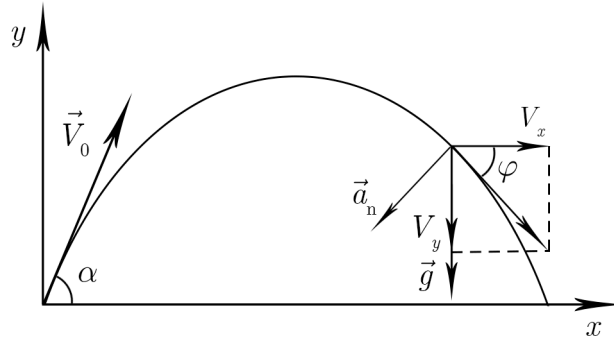


Рис. 1.7

Решение:

$$x(t) = V_0 \cos 45^\circ t, \quad y(t) = V_0 \sin 45^\circ t - \frac{gt^2}{2}, \quad V_x(t) = V_0 \cos 45^\circ, \quad V_y(t) = V_0 \sin 45^\circ - gt$$

Подставляем числа, получаем результат:

$$V_x(t) = 7.07 \text{ м/с}, \quad V_y(t) = -2.47 \text{ м/с}$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = 7.58 \text{ м/с}$$

Скорость V_x не меняется по времени. Рассмотрим скорости на рисунке 1.8.

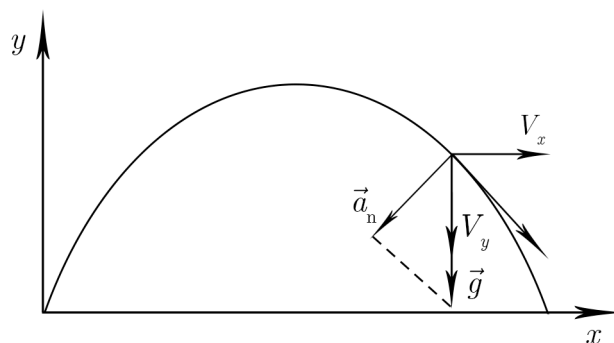


Рис. 1.8

Нормальное ускорение — проекция ускорения точки на нормальную ось. Найдем его из рисунка.

$$\rho = \frac{V^2}{a_n} = g \cos \varphi, \quad \cos \varphi = \frac{V_x}{V} = 0.93.$$



Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu