ЗАОЧНЫЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ КУРСЫ

Ф И З И К А

К Р И В О Л И Н Е Й Н О Е   Д В И Ж Е Н И Е

М О С К В А

Методические рекомендации по изучению темы ''Криволинейное движение'' предназначены для слушателей заочных подготовительных курсов.

Составитель - А.Я. Симонов.

Научно-методический совет: Д.С. Бакаев.
А.А. Бесчинская
А.А. Пинский
А.Я. Симонов

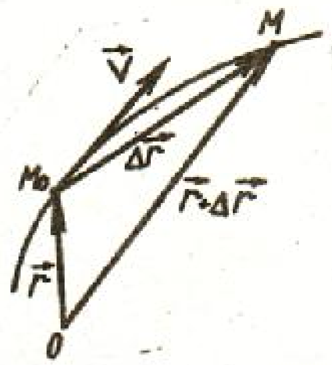
© Научно-педагогическое объединение ''Перспектива''

Криволинейное движение.

Движение тела по криволинейной траектории называется криволинейным движением.

Мгновенной скоростью называется предел, к которому стремится отношение перемещения ко времени движения, при неограниченом уменьшении этого времени:

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{r}\,'.$$



При неограниченном уменьшении времени направление перемещения стремится к касательной к траектории. Поэтому скорость тела при криволинейном движении направлена по касательной к траектории.

Мгновенным ускорением называется предел, к которому стремится отношение изменения скорости ко времени, за которое оно произошло, при неограниченном уменьшении времени

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t \to 0} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{V}\,'$$

Для выявления характера ускорения в криволинейном движении предварительно рассмотрим равномерное движение по окружности.

1. Равномерное движение по окружности.

Одним из простейших и широко распространенных видов криволинейного движения является равномерное движение тела по окружности - движение тела по окружности с постоянной по модулю скоростью. Такое движение характеризуется рядом физических величин: угловой скоростью движения

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = 2\pi n,$$

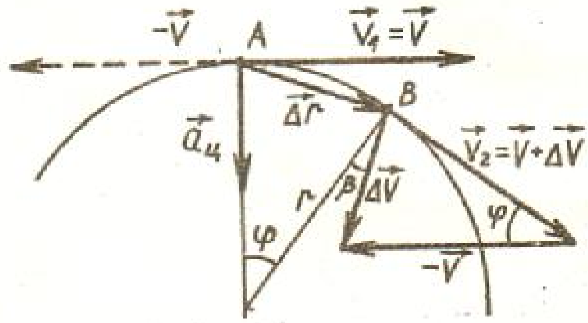
где n - частота вращения за единицу времени, периодом обращения $T = 1/n$, линейной скоростью движения

$$V = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rn = \omega R$$

где R - радиус окружности, по которой происходит движение тела.

Так как при равномерном движении по окружности модуль скорости не изменяется, а направление изменяется непрерывно, то равномерное движение точки происходит с ускорением, которое называется центростремительным или нормальным. Из рисунка найдем вектор изменения скорости $\vec{\Delta v}$ и его модуль Δv. Из подобия треугольника скоростей и OAB следует

$$\frac{\Delta v}{\Delta r} = \frac{v}{R}$$



Отсюда:

$$\Delta v = \frac{v}{R} \Delta r$$

Далее:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{R} \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

$$a_{ц.c} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{R} \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{v^2}{R}$$

Получим для модуля ускорения:

$$a_{ц.c} = \frac{v^2}{R}$$

Как же направлен вектор ускорения? Очевидно, что вектор $\vec{a}$ направлен так же, как и вектор $\vec{\Delta V}$. Но при неограниченном уменьшении времени угол при вершине треугольника скоростей φ стремится к нулю; но тогда и β стремится к нулю, а угол между векторами $\vec{a}$ и $\vec{V}$ стремится к прямому. Это означает, что вектор изменения скорости, а соответственно и вектор ускорения, перпендикулярен вектору скорости, т.е. направлен по радиусу к центру окружности.

Центростемительная сила.

Равномерное движение тел по окружности происходит под действием постоянной по модулю силы, все время направленной перпендикулярно к вектору скорости. Эта сила приложена к телу, направлена по радиусу к центру вращения и удерживает тело на окружности. Называется она центростремительной силой. Она вызывает ускорение движения тела в том же направлении - центростремительное ускорение. Согласно второму закону Ньютона, центростремительная сила

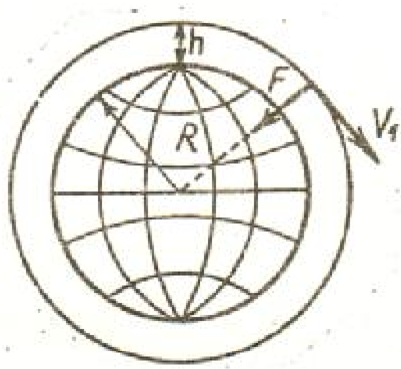
$$F_ц = ma_ц = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R$$

Центростремительная сила - это не новый вид силы, а название силы, удерживающей тело на окружности. Природа центростремительной силы в каждом конкретном случае может быть различна (сила трения, сила упругости, тяготения и т.п.)

Центростремительная сила приложена к движущемуся по окружности телу со стороны связи его с центром вращения, а центробежная сила приложена к связи со стороны тела, поэтому эти

силы друг друга не уравновешивают.

3.Космическе скорости.



1-ая космическая скорость

1. Без учета "h"

$$F_ц \approx P;$$

$$\frac{mv^2}{R} = mg; \quad V_I = \sqrt{gR} \approx$$

$$\approx \sqrt{10 \cdot 6400000} \text{ м/с} \approx 8 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 8 \text{км/с}$$

2. С учетом высоты полета.

$$F_ц = F_{тяг}; \quad \frac{mv^2}{R+h} = \gamma \frac{mM_З}{(R+h)^2};$$

$$V_I = \sqrt{\gamma \frac{M_З}{R+h}} = \sqrt{\frac{gR^2}{R+h}}$$

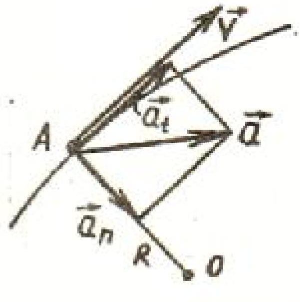
Модуль скорости определяется массой планеты, ее размерами и высотой полета.

2-ая космическая скорость.

$V_{II} = \sqrt{2gR} \approx 11,2$ км/с - скорость преодоления тяготения Земли.

4. Общий случай криволинейного движения.

Вернемся к рассмотрению ускорения в криволинейном движении в общем случае.



В общем случае ускорение направлено под углом к скорости. Ускорение удобно разложить на две состаляющие, тангенциальное ускорение $\vec{a}_t$ и нормальное $\vec{a}_n$.

Модуль тангенциального ускорения равен производной модуля скорости:

$$a_t = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta|\vec{V}|}{\Delta t} = \frac{dV}{dt} = V'.$$

Нормальное ускорение совпадает с центростремительным ускорением с которым точка двигалась бы по дуге окружности, заменяющей траекторию в окрестности рассматриваемой точки. Модуль нормального ускорения

$$a_n = \frac{V^2}{R},$$

где R - радиус кривизны траектории.