



# ФИЗИКА В ФИГУРНОМ КАТАНИИ

Формулы

Фигурное катание с точки  
зрения физики



КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ  
ВРАЩЕНИЯ РАВНА СУММЕ  
ГОРИЗОНТАЛЬНОГО И  
ВЕРТИКАЛЬНОГО  
КОМПОНЕНТОВ

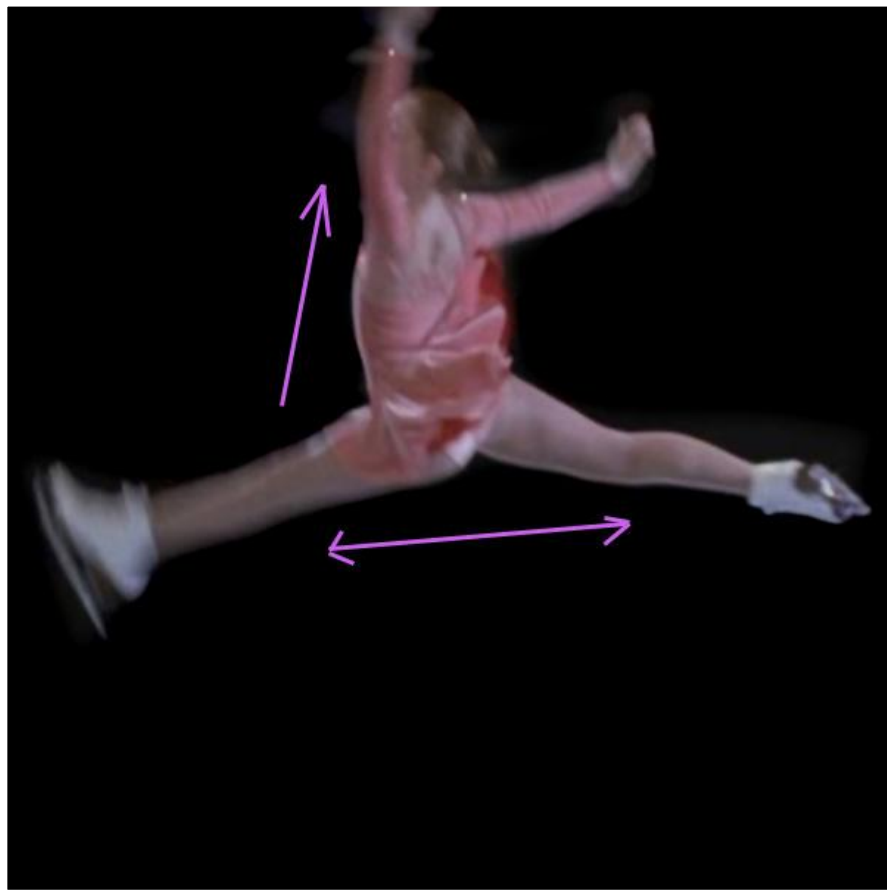
$$E_k = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}IW^2$$



## ИНЕРЦИЯ

КОЛИЧЕСТВО РАВНО  
МАССОВОМУ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЮ  
КОНЬКОБЕЖЦА В ЕГО  
ВРАЩЕНИИ

$$I = \int \rho(R) R^2 / \Gamma \, DV$$



ВРЕМЯ ПОЛЕТА (T) ПРЫЖКА С  
НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТЬЮ ( $v_0$ )  
СНИМАЮЩИМ УГЛОМ ( $\theta$ ) И  
СИЛОЙ ТЯЖЕСТИ (G)

$$T = \frac{2v_0 \sin \theta}{G}$$



ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ  
ДЛЯ ПРЫЖКА:

$$X = V_0 T \cos \theta$$

$$Z = V_0 T \sin \theta - \frac{1}{2} g T^2$$

ГДЕ  $X$  – КАКОЕ РАССТОЯНИЕ  
ПРОЕХАЛИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ  
ПОЛОЖЕНИИ

$Z$  – ВЕРТИКАЛЬНАЯ ВЫСОТА



$$Z_{\text{MAX}} = \frac{V_0^2 \sin^2 \theta}{2G}$$

ГДЕ  $Z_{\text{MAX}}$  – МАКСИМАЛЬНАЯ  
ВЫСОТА ПРЫЖКА

$\theta$  – СНИМАЮЩИЙ УГОЛ  
 $V_0$  – НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ

[Вернуться на  
главную](#)



Фигурное катание — один из самых красивых и элегантных видов спорта. Оно пользуется во всём мире популярностью. История этого прекрасного спорта началась много веков назад. А первое письменное упоминание о ФК встречается в «Хронике знатного города Лондона» (1147г.) написанной монахом Стефаниусом.

## ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ФИГУРНОГО КАТАНИЯ ЧЕРЕЗ ЗАКОНЫ ФИЗИКИ

Что же скрывается за оболочкой красивого спортивного зрелища? Этому вопросу и посвящена эта работа.

Для изучения выбираем элемент фигурного катания, который на наш взгляд является самым сложным с технической точки зрения и подвержен повышенному вниманию, как со стороны профессионалов, так и со стороны любителей — прыжок.



Этот элемент является особенно интересным для изучения с физической точки зрения, т.к. сочетает в себе различные виды движения.

Этот элемент изучается в следующей последовательности:

Этот элемент изучается в следующей последовательности:



Разбег



Отталкивание



Полёт



Приземление

Figure

Skating





# Разбег

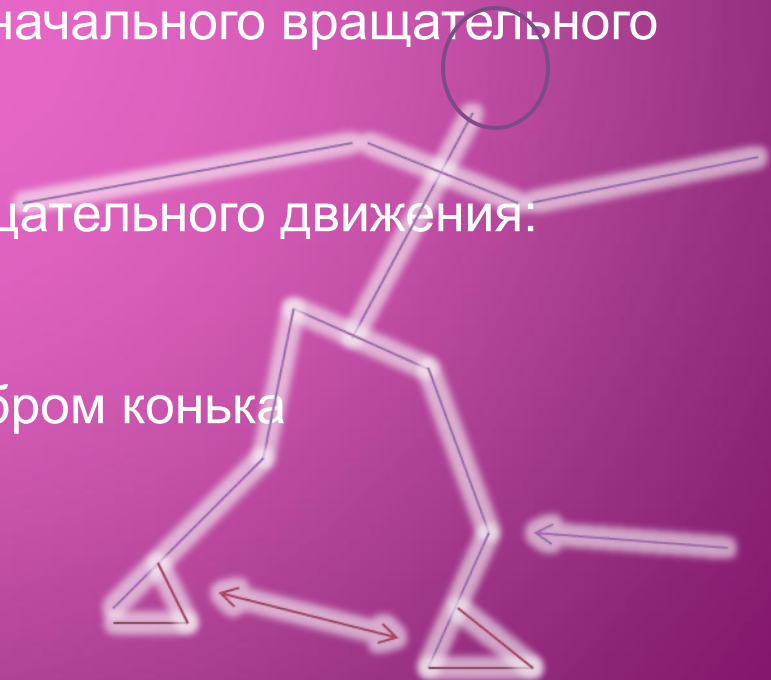
Разбег является начальной частью прыжка, он задаёт начальные условия для выполнения прыжка: скорость, от которой в свою очередь зависят такие параметры как дальность полёта, высота прыжка, и как следствие количество оборотов: фактор который играет определяющую роль в оценке прыжка. От качества выполнения разбега зависит качество выполнения всего прыжка в целом. Итак попробуем разобраться, как происходит разбег.

Период разбега можно условно разделить на две фазы: фазу приобретения скорости и фазу подготовки к толчку.

В фазе приобретения скорости фигурист использует перебежки вперед и назад, различные комбинации шагов, позволяющие достичь скорости движения необходимой для выполнения прыжка.

Во второй фазе происходит создание начального вращательного движения.

Существует три способа создания вращательного движения:  
скольжение по дуге  
вращение верхней части тела  
стопорящее движение зубцами или ребром конька



Теперь расскажем более подробно о каждом из выше упомянутых способов:

Скольжение по дуге:

Скольжение по дуге происходит в одноопорном положении. Во время скольжения фигурист приобретает угловую скорость, необходимую для выполнения прыжка. Особо важными характеристиками такого движения являются:

угол наклона продольной оси фигуриста к вертикали  
(Угол имеет следующую зависимость от скорости и радиуса кривизны (Формула выведена из второго закона Ньютона))  
радиус кривизны дуги, по которой движется фигурист  
линейная и угловая скорости фигуриста

Эти параметры определяют:

угол вылета  
дальность полёта  
высоту полёта  
количество оборотов, совершаемых в прыжке

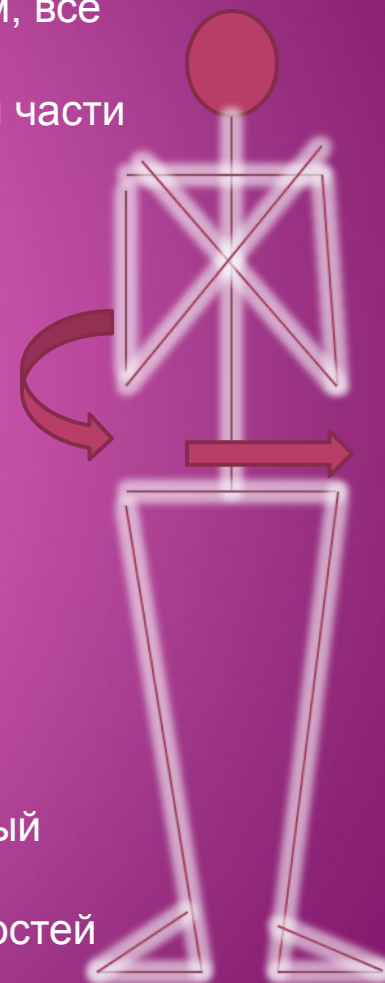
Важным критерием оценки скольжения по дуге является рёберность следа. Чтобы избежать двухрёберности, необходимо увеличивать угол наклона продольной оси фигуриста.

## Вращательное движение:

Голова, плечи и руки фигуриста энергично поворачиваются. В результате верхняя часть тела приобретает вращательное движение. Из-за ограниченной подвижности плеч относительно таза, верхняя часть тела увлекает нижнюю; таким образом, все тело приобретает вращательный момент. Итак, благодаря вращению верхней части тела во время отталкивания фигурист приобретает вращательное движение, количество которого зависит от угловой скорости вращения верхней части тела.

## Стопорящее движение:

Стопорящее движение выполняется зубцами или ребром конька. При стопорящей постановке толчковой ноги скорости правой и левой ноги становятся неодинаковыми, что приводит к возникновению вращательного движения вокруг оси, проходящей через точку опоры зубцов конька толчковой ноги. Момент импульса, полученный телом при стопорящем движении, главным образом определяется разностью скоростей правой и левой ноги, которая в свою очередь определяется скоростью разбега, эффективностью





## Отталкивание

Толчок — важнейшая часть прыжка. В выполнении прыжков толчок решает основные задачи: сообщает телу движение в направлении вперед-вверх и придает вращение вокруг продольной оси. Движение вперед-вверх необходимо для перемещения тела от отрыва к приземлению, а вращение вокруг продольной оси — для выполнения в полете нужного числа оборотов. Движение вперед-вверх и вращение тесно связаны и возникают за счет разгибания толчковой ноги и махов руками, ногой и туловищем.

Маховые движения руками и свободной ногой должны проходить по траекториям, близким к продольной оси тела и в направлении, совпадающим с направлением отталкивания. Они создают дополнительную скорость движения вперёд-вверх.

В некоторых прыжках имеет место энергичное разгибание туловища, такое движение, по существу, считается маховым.



толчковой  
т высоту  
оборотов.





## Полёт

Движение тела фигуриста в полете - сложное движение. Однако в хорошо выполненном прыжке движение оси вращения тела близко к поступательному. В результате сложное движение тела в полете можно рассматривать как движение поступательное вместе с осью вращения и вращательное вокруг этой оси. Известно, что при поступательном движении все точки тела в определенный момент имеют одинаковые векторы скоростей и ускорений. Следовательно, исследование движения оси вращения можно заменить исследованием движения точки. В качестве такой точки удобно выбрать центр тяжести, через который на протяжении всего безопорного периода проходит ось вращения.



Поступательное движение:

Рассматривая поступательное движение центра тяжести фигуриста, можно сделать вывод, что оно соответствует движению тела, брошенного под углом к горизонту. Тогда уравнение

траектории центра тяжести фигуриста в проекциях на оси координат  $x$  и  $y$  без учета

сопротивления воздушной среды выглядит следующим образом:

$$y = x \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha_0} x^2$$

Уравнение показывает, что форма траектории, а, следовательно, и максимальная высота и дальность прыжка зависят лишь от начальных параметров движения фигуриста: начальной скорости вылета и угла вылета при постоянном ускорении свободного падения. Форма траектории – парабола, изменить ее никакими движениями конечностей в полете нельзя.



Вращательное движение тела:

Главная задача в освоении многооборотных прыжков - увеличение числа оборотов. Угол поворота тела в прыжке относительно продольной оси определяется произведением средней угловой скорости вращения и времени полета:

$$\phi = \bar{\omega} \cdot t$$

Угол поворота в полете может быть выражен через максимальную угловую скорость вращения, введением коэффициента скорости группировки, который равен отношению средней угловой скорости к максимальной:

$$\xi = \frac{\bar{\omega}}{\omega_{\max}}$$

Тогда выражение для угла поворота будет выглядеть таким образом:

$$\phi = \xi \cdot \omega_{\max} \cdot t$$

## Приземление

Приземление является заключительной частью прыжка. Неточное выполнение его приводит к падению и таким образом сводит на нет все

усилия, затраченные фигуристом на прыжок. Практика фигурного катания на коньках показывает, что овладение техникой приземления весьма сложный процесс.

Основная задача фигуриста при приземлении - сохранить равновесие на опорной ноге. Выполнение этой задачи усложняется тем, что к моменту соприкосновения конька опорной ноги со льдом тело спортсмена совершает сложное

движение, состоящее из движения поступательного вместе с осью вращения и вращения вокруг вертикальной оси.

Поэтому для успешного решения основной задачи приземления сохранить поступательное движение поступательного вместе с осью вращения и вращения вокруг вертикальной оси, уменьшить остаточную угловую скорость вращения тела относительно продольной оси, уравновесить силы инерции опрокидывания, действующие на фигуриста в боковом и продольном



Поэтому для успешного решения основной задачи приземления сохранить поступательное движение поступательного вместе с осью вращения и вращения вокруг вертикальной оси, уменьшить остаточную угловую скорость вращения тела относительно продольной оси, уравновесить силы инерции опрокидывания, действующие на фигуриста в боковом и продольном

## Амортизационная

### перегрузка

В полете тело фигуриста обладает некоторой величиной кинетической энергии. В конце

амортизации величина кинетической энергии вертикального движения равна нулю.

Определим приблизительно среднюю величину силы, действующей на тело фигуриста в

вертикальном направлении в этот момент. Назовем эту силу амортизационной

перегрузкой.  $m$  — масса тела фигуриста,  $V_{cy}$  — вертикальная составляющая скорости о. ц. т. перед

приземлением. Величина ее может быть определена по формуле:

$$F_{ам} = \frac{m \cdot V_{cy}^2}{2 \cdot \Delta h}$$

$\Delta h$  — вертикальное перемещение о. ц. т. при амортизации;  
 $F_{ам}$  — величина амортизационной перегрузки.

Определим вертикальное перемещение о. ц. т. при амортизации. Выполняя приземление, фигурист в первый

момент касается льда зубцами конька. Поэтому здесь следует учитывать переход конька с зубцов на

плоскость, значительно увеличивающий величину вертикального перемещения о. ц. т. при амортизации.

Расчеты показывают, что величина амортизационной перегрузки, испытываемой фигуристом при

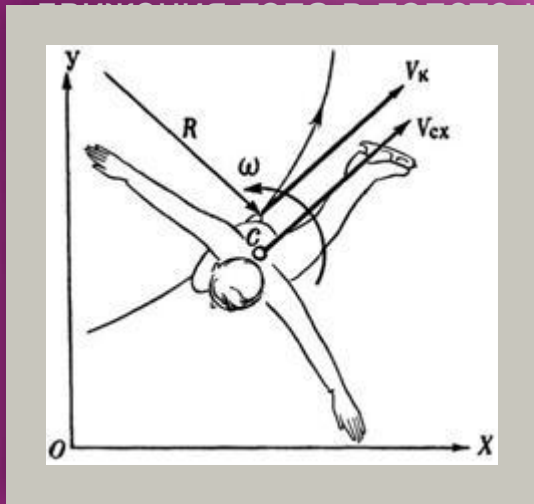
приземлении, превышает 100 кг.

В практике встречаются приземления, выполняемые не на зубцы, а сразу на всю плоскость конька. При

приземлении на плоскость конька величина амортизационной перегрузки увеличивается

## Кривизна дуги приземления

Известно, что в момент приземления фигурист скользит по дуге. Замечено, что движение в приземлении зависит от того, каков был полет. Определение связи между параметрами



приземлении очень важно для практики, так как

Приближенно считая, что траектории о. ц. т. тела и конька опорной ноги тождественны, можно сделать вывод, что радиус кривизны дуги приземления ( $R$ ) зависит от скорости поступательного и вращательного движения тела в полете следующим образом:

$$R = \frac{V_{cx0}}{\omega_0}$$

где:  $V_{cx0}$  — горизонтальная составляющая скорости движения о. ц. т. тела перед приземлением;

$\omega_0$  — угловая скорость вращения тела вокруг продольной оси перед приземлением.

При учете сил трения величина радиуса кривизны будет переменной — уменьшаться в зависимости от характера сил сопротивления.

Данное соотношение выражает связь между параметрами движения тела в полете и во время приземления.

Чем больше радиус дуги приземления, тем более качественно приземление.

Таким образом, качественное выполнение приземления зависит от того, насколько хорошо



## Положение продольной оси тела

Поскольку при приземлении тело фигуриста движется по дуге, возникает центробежная сила инерции ( $S_n$ ),

приложенная к центру тяжести тела. Она рассчитывается по формуле:

$$S_n = \frac{mV^2}{R}$$

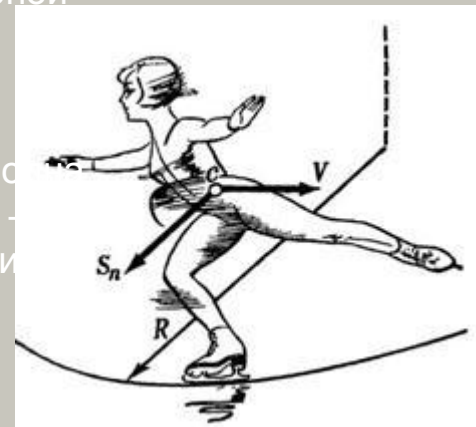
где  $m$  — масса тела;

$V$  - горизонтальная скорость движения о. ц. т. тела;

$R$  - радиус кривизны дуги приземления в

данной точке  
Центробежная сила инерции действует в плоскости, перпендикулярной направлению движения, и стремится опрокинуть тело фигуриста в направлении выпуклости дуги приземления

Именно возникновением центробежной силы инерции объясняется одна из наиболее распространенных ошибок в многооборотных прыжках — падение в сторону выпуклости дуги приземления. Для нейтрализации этой силы фигурист должен придать продольной оси тела наклон в сторону вогнутости дуги приземления. Причем сделать это нужно в толчке и сохранять наклон в полете.



Величина наклона продольной оси тела к плоскости льда имеет решающее значение. Если он недостаточный, то верхнюю часть тела фигуриста как бы выбрасывает наружу дуги приземления. Чрезмерный наклон встречается реже. Он вызывает падение внутрь дуги приземления.

Определение величины наклона у фигуристов высокой квалификации в прыжках аксель, двойной лутц и двойной аксель показало, что в среднем она составляет 70- 72°. Причем с увеличением числа оборотов в прыжке угол наклона увеличивается, т. е. при приземлении продольная ось тела наклонена к плоскости льда меньше в прыжках с большим