

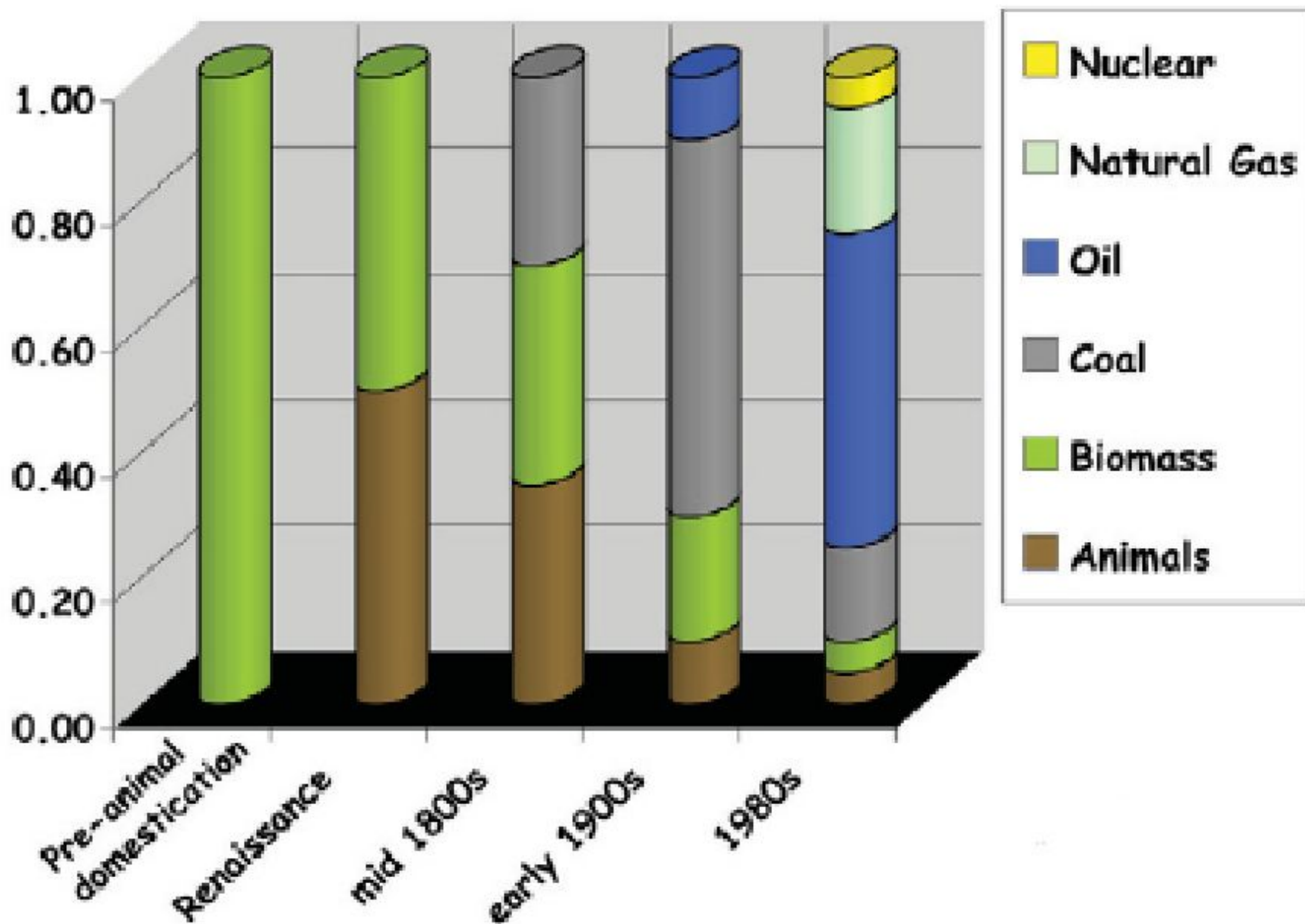
# ЭНЕРГИЯ

## Посмотрим опыт со свинцовыми шариками

- Полностью неупругий удар. Закон сохранения количества движения справедлив до удара суммарный импульс 0 после удара 0.
- Важно, что нагрелись после удара. Т.е. переход кинетической энергии в тепло. **Какую форму описания процесса выбрать** чтобы охарактеризовать процесс преобразования механической энергии в тепло?

**ЭНЕРГИЯ – количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи.** Условно можно разбить на механическую, внутреннюю, электромагнитную, химическую, ядерную.

# Формы энергии



# Тело на столе и паровоз в движении

- **Как передается** энергия от одного тела к другому? Посредством **Работы** (размерность как  $u$  энергии)
- Тело на столе лежит, а паровоз на рельсах двигается прямолинейно с  $V = \text{const}$ . Так как равнодействующие сил в обоих случаях равны 0, то количество движения не меняется. Но в 1-м случае вообще ничего не происходит, а во втором для создания силы тяги **нужна энергия и надо совершать работу!** Из опыта **количество сожженного топлива пропорционально произведению силы тяги на путь**. Везде важна работа! Не важно в механике или бизнесе! Чем больше сил (в нужном направлении) Вы приложили при большем перемещении тем больше совершили работу! Или наоборот для перемещения в нужном направлении нужно приложить больше сил и следовательно совершить большую работу. А без серьезной систематической работы в любой области далеко не продвинешься!
- Вспомним конец прошлой лекции. **Природа массы? Масса и энергия? Поле или вещество?** Различных видов энергии на химическую, ядерную и т.д. чисто условное - **есть различные формы материи** Например, электромагнитно поле и «неполевая» масса.
- Энергия и работа измеряются в одних и тех же единицах. В СИ: работу в **1 Дж = совершает сила 1 Н на пути 1 м**. (в системе СГС:  $1 \text{ Дж} = 10^7 \text{ эрг}$ )

# Работа сил

**Элементарной работой  $dA$  силы  $F$**  на элементарном перемещении  $ds$  называется скалярное произведение силы на перемещение:

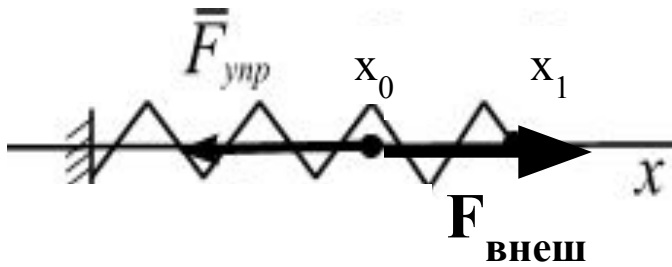
$$dA = (F \times ds) = F ds \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол между направлением силы и перемещением. Работа в механике может быть как положительной ( $\alpha < \pi/2$ ,  $\cos \alpha > 0$ ) так и отрицательной ( $\alpha > \pi/2$ ,  $\cos \alpha < 0$ ) и нулевой (при  $\alpha = \pi/2$   $dA=0$ , то есть сила работы не совершает если направление приложения силы и движения перпендикулярны). Работа силы на конечном участке траектории от точки 1 до точки 2 равна определенному интегралу:

$$A = \int_1^2 F ds \cos \alpha = \int_1^2 F_s ds$$

где  $F_s = F \cos \alpha$  – проекция силы на направление перемещения. **Работа равна площади под кривой  $F(s)$ .**

# Работа упругих сил пружины

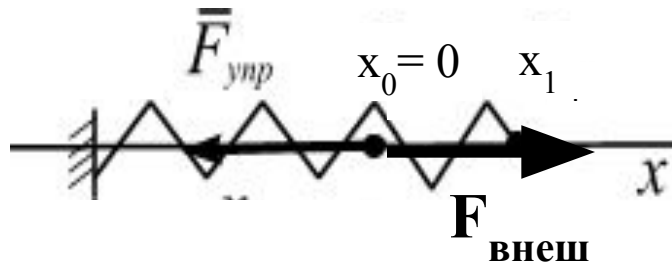


МТ движется из точки  $x_0$  (где пружина не деформирована) в точку  $x_1$ . Вычислим работу упругих сил  $F_{\text{упр}}$  при растяжении пружины под действием внешней силы  $F_{\text{внеш}}$  (в пределах закона Гука). Пружина деформируется и при малых отклонениях  $x$  от точки  $x_0$  к

телу приложена сила  $F_{\text{упр}} = -kx$ . В общем случае **работа силы упругости** на перемещении тела от  $x_0$  до  $x_1$ :

$$A_{01} = \int_{x_0}^{x_1} -F_{\text{упр}} dx = \int_{x_0}^{x_1} -kx dx = -k \int_{x_0}^{x_1} x dx = -\frac{k}{2} (x_1^2 - x_0^2)$$

# Работа внешней силы



Если взять  $x_0 = 0$ , то  $A_{01} = -\frac{k}{2}x_1^2 < 0$

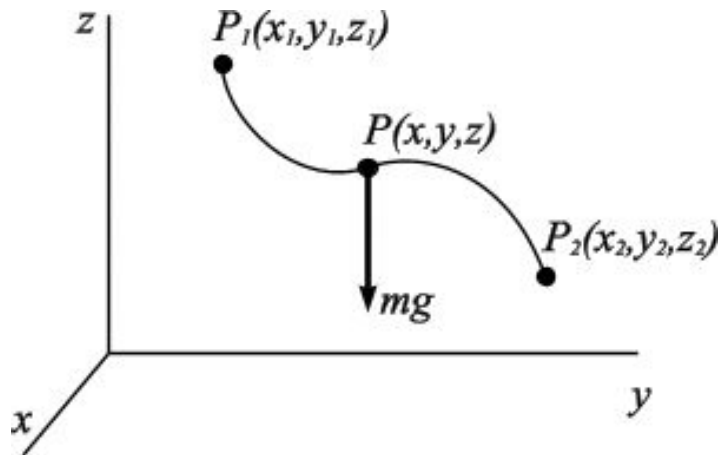
то есть **работа силы упругости пружины отрицательна**. Т.е.

внешняя сила  $F_{\text{внеш}}$  совершала положительную работу против сил упругости  $F_{\text{упр}}$ . Но пружина потому и растянулась, что действовала  $F_{\text{внеш}} = -F_{\text{упр}}$ .

**Работа внешней силы положительна:**  $A_{\text{Внеш}} = \frac{k}{2}x_1^2 > 0$

такую работу надо совершить, чтобы растянуть пружину.

# Работа силы тяжести



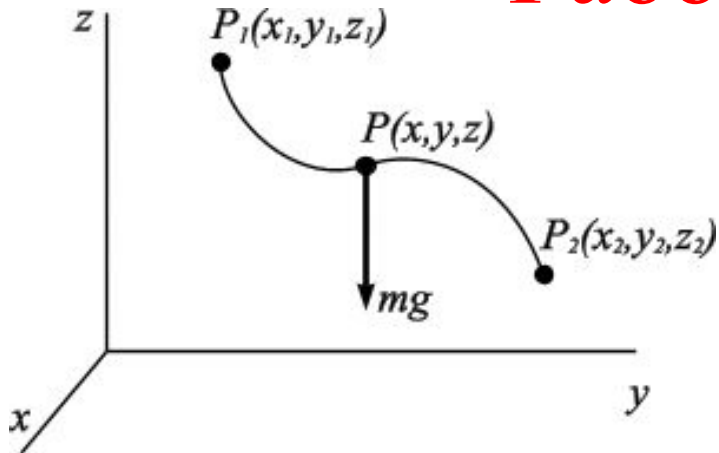
Любую траекторию движения **МТ** можно разбить на элементарные составляющие по горизонтали и вертикали. Пусть **МТ** движется под действием силы тяжести. Учитывая, что  $F_x=0$ ,  $F_y=0$ ,  $F_z=-mg$

$$\begin{aligned} A_{01} &= \int_{P_1}^{P_2} (F_x dx + F_y dy + F_z dz) = -mg \int_{z_1}^{z_2} dz = \\ &= -mg(z_2 - z_1) = mg(z_1 - z_2) = mgh > 0 \end{aligned}$$

где  $z_1 - z_2 = h$  - изменение координаты по вертикали.

Фактически мы говорим об изменении потенциальной энергии

# Работа силы тяжести



При перемещении на всех горизонтальных участках работа будет равна нулю из-за перпендикулярности силы и перемещения, и суммарная **работа**

- **$A = mgh > 0$ , если тело опускается, равной  $mgh$ . если поднимается.** Величина работы не зависит от формы траектории, а лишь от начальной и конечной точек.
- **Работа студента, поднимающегося по ступенькам?**
- Если сил несколько то = работе равнодействующей силы
- Переменная сила. Разбиваем на отрезки на которых сила и/или угол константа и суммируем или интегрируем
- Центральная сила  $A = F(r)dr$ . Разбиваем на отрезки и интегрируем. **Зависит от вида  $F(r)$  и начального и конечного положения и не зависит от вида траектории.**



# Мощность

- Быстроту совершения работы характеризует мощность.

**Мощностью  $P$**  называется отношение работы  $dA$  к промежутку времени  $dt$ , за которое она совершена:

$$P = \frac{dA}{dt} = Fv$$

- Мощность в СИ измеряется в ваттах (Вт). 1Вт это такая мощность, когда за одну секунду совершается работа в 1Дж. внесистемная единица **«лошадиная сила»** (л.с.) измеряет не силу, а именно мощность: 1 л.с. = 736 Вт

- Какова мощность китайской электросети?

Если их 1.5 Г человек x одну лампочку 100 Вт на каждого = 150 ГВт но + заводы, и т.д. =600 ГВт. В РФ около 200 ГВт.

**Не путать ! Напряжение измеряется в Вольтах (В), а мощность в Ваттах (Вт) (назван в честь Джеймса Ватт 1736 - 1819) Шотландского изобретателя)**

# Энергия

- Мировое потребление энергии оценивается как 14ТВт при потребности около 40 ТВт. В будущем речь должна идти о сотнях ТВт.
- При существующем уровне развития для достижения уровня 40 ТВт (покрытия текущей мировой потребности для обеспечения нормальной жизни всего человечества) необходимо ежедневно строить по одной копии крупнейшей мировой ветряной «фермы» 0.751 ГВт (FL, USA) около 100 лет . Или по одной Саяно-Шушенской ГЭС (имела до аварии наибольшую в РФ установленную мощность 6.4 ГВт) ежедневно в течении 11 лет

# Консервативные силы

- Если в механике (!) для стационарного поля сил работа, совершаемая силами поля зависит лишь от начального и конечного положений МТ и не зависит от пути, по которому она двигалась, то такие силы называются **консервативными (К-силы)** или **потенциальными**.
- Если работа не зависит от пути, то это означает, что работа по замкнутому контуру равна нулю:

$$\oint A = 0$$

- **К-силы** это силы работа которых по любому замкнутому пути равна нулю.
- **Следовательно есть и неконсервативные силы.**

# Консервативные силы

- **К-силы** вводятся для формулировки закона сохранения энергии (см. ниже) (для закона сохранения импульса достаточно понятия **замкнутой системы** рассмотрим сегодня в конце лекции).
- **В консервативных системах (К - сис)** как правило речь идет о взаимодействии **посредством поля** (гравитационное и т.д.). **В замкнутых системах** (см. ниже) имеются ввиду **контактные взаимодействия**.
- Примером **К-сис** являются солнечная система. Не идеальные **К-сис** является система с упругими или квазиупругими силами:  $\oint A = 0$  (при  $x_1 = x_0$ ) (если сопротивление воздуха и трения нет).

# Центральное поле

Мы уже говорили о центральной силе  $F(r)$  и о том, что можно показать, что **работа в центральном поле сил также не зависит от пути (см. слайды №7-8)**. Центральное поле - это такое поле, в котором :

- 1) сила, действующая на частицу в любой точке, проходит через одну точку, называемую центром поля.
- 2) величина силы зависит только от расстояния до этого центра  $F(r)$ .

# Примеры консервативных сил

- **Центральными** являются и силы **электростатического взаимодействия** между точечными зарядами, описываемые законом Кулона, и **гравитационные** силы, описываемые законом всемирного тяготения. Следовательно, электростатические и гравитационные силы также являются **К-силами**.

**Заключаем:**

**Силы центрального стационарного поля консервативны**

# Примеры неконсервативных сил

Примером **неконсервативных** сил (непотенциальных или диссипативных) являются **сила сопротивления среды (воздуха), силы трения**, причем как сухого трения, так и жидкого. Чем длиннее путь, проходимый по траектории при наличии сил трения, тем больше работа сил трения. Нуль при интегрировании работы не получается потому, что **силы трения всегда направлены в сторону, противоположную перемещению** (за исключением ведущих и ведомых колес), поэтому элементарная работа на любом перемещении отрицательна. А чтобы был нуль, надо чтобы на разных участках элементарная работа была разного знака (меняла знак)

# Потенциальная энергия тела, поднятого на высоту $h$

- Если в системе действуют **только К-силы**, то можно ввести понятие потенциальной энергии **U**.
- **U** взаимодействия частиц системы зависит только от их взаимного расположения, то есть от конфигурации системы.  
**U** тела, поднятого на высоту  $h$  от поверхности Земли:

$$U = mgh$$

- Система тело-Земля обладает **неким запасом энергии U**. Эту энергию и называют **потенциальной**.
- При подъеме набирает энергию (работу совершает кто-то другой) при спуске отдаст  $mgh$ .
- Такое определение **U** годно **для всех К сил**. Количественная характеристика взаимодействия в механике – сила. **К-сила**  $\mathbf{F} = -\text{grad}U$ . Более общая характеристика взаимодействия - **U**.



# Потенциальная энергия сжатой пружины

Потенциальная энергия сжатой на величину  $x$  пружины:

$$U = kx^2/2$$

В случае пружины потенциальная энергия зависит от взаимного положения отдельных частей тела. Потенциальную энергию несжатой пружины мы взяли равной нулю. Чтобы пружина приобрела потенциальную энергию, необходимо над ней совершить работу, в точности равную величине приобретенной потенциальной энергии.

# Кинетическая энергия материальной точки

- Любое двигающееся тело представляет самую простую форму движения материи мерой которого и является **кинетическая энергия T**. T материальной точки называют половину произведения массы точки на квадрат ее скорости :

$$T = \frac{mv^2}{2}$$

- Кинетическая энергия, является скалярной положительной величиной.
- Примеры: цунами (если глубина уменьшилась в 100 раз то скорость возрастет в первом приближении на порядок), внедорожник со V от 60 до 120км/ч , а T в 4 раза. Кто выигрывает в боксе большой кулак или большая скорость?
- Почему именно в таком виде? **Напрямую следует из 2-го закона Ньютона**

# Кинетическая энергия

$$m \dot{v} = F$$

$$m \dot{v} v dt = m \frac{dv v dt}{dt} = m v dv = F dS$$

$$m v dv = m d \frac{v^2}{2} = d \frac{m v^2}{2} = dT = F dS$$

$$F = 0 \Rightarrow dT = 0 \Rightarrow \frac{m v^2}{2} = \text{const}$$

$$F \neq 0 \Rightarrow dA = F ds$$

$$\int_1^2 d \frac{m v^2}{2} = \int_1^2 F dS \Rightarrow A_{12} = T_2 - T_1$$

# Кинетическая энергия механической системы

Кинетической энергией механической системы называется сумма кинетических энергий всех  $i$ -х точек, входящих в систему:

$$T = \frac{1}{2} \sum_i m_i v_i^2$$

где  $v_i$  и  $m_i$  - скорости и массы точек системы. Скорости определяются относительно неподвижной системы отсчета.

**Потенциальная энергия может быть отрицательна  
а кинетическая нет !**

# Замкнутые системы

Система тел, в которой **внешние силы отсутствуют и нет обмена веществом (масса постоянна)**, называется **замкнутой** или **изолированной (в общем случае нет обмена энергией и веществом)**. Т.е. действуют только внутренние силы, обусловленные взаимодействием тел, входящих в систему. **Не путать замкнутые с консервативные системы. К-сис может не быть замкнутой** (движение происходит в потенциальном силовом поле, образованными телами не входящими в **К-сис**. Пример: колебания маятника в поле тяготения земли).

Замкнутые системы обладают очень важным свойством: при определенных условиях в них **сохраняются три физические величины – энергия, импульс и момент импульса**. Существуют три закона сохранения, которые являются фундаментальными законами природы. **Законы сохранения не зависят от природы и характера действующих сил**.

## Закон сохранения механической энергии

Полной механической энергией  $E$  системы **МТ** называется сумма их кинетической и потенциальной энергий:  $E=T+U$ . **В поле сил тяжести** полная механическая энергия равна:

$$E = T + U = \frac{mv^2}{2} + mgh$$

**Закон сохранения механической энергии** гласит: полная механическая энергия **замкнутой** системы материальных точек, между которыми действуют только **консервативные силы**, остается постоянной (**замкнутая – энергия не поступает в систему; консервативные силы = нет сил трения**).

- Верен только для **К сил**. Для того, чтобы было изменение энергии необходимо, чтобы неконсервативные силы совершили отрицательную работу. Но если система не замкнута появляются дополнительные члены описывающие работу внешних **К сил**.  $U=mgh$ - взаимная потенциальная энергия тел

# Невыполнение закона сохранения механической энергии

Если же в системе **есть и неконсервативные силы**, то полная механическая **энергия не сохраняется**. При наличии, например, трения полная механическая энергия будет уменьшаться, постепенно переходя во внутреннюю энергию тел, что приводит к их нагреванию.

Закон сохранения энергии обусловлен **однородностью времени**. Это означает, что замена момента времени  $t_1$  моментом времени  $t_2$  без изменения значений координат и скоростей тел не изменяет механических свойств системы.

# Вечный двигатель не возможен

- Хорошая альтернатива паровым машинам появилась с созданием двигателей Стирлинга, который мог преобразовывать в работу любую разницу температур. Основной принцип работы двигателя Стирлинга заключается в постоянно чередуемых нагревании и охлаждении рабочего тела в закрытом цилиндре. Обычно в роли рабочего тела выступает воздух. При нагревании газа его объём увеличивается, а при охлаждении — уменьшается. Это свойство газов и лежит в основе работы двигателя Стирлинга.

Таким образом, при переходе от тёплого источника к холодному источнику происходит расширение и сжатие газа, находящегося в цилиндре. Разницу объёмов газа можно превратить в работу, чем и занимается двигатель Стирлинга.



# Цикл Стирлинга

