ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Разумов
Владимир Федорович
член-корр. РАН
ИПХФ РАН

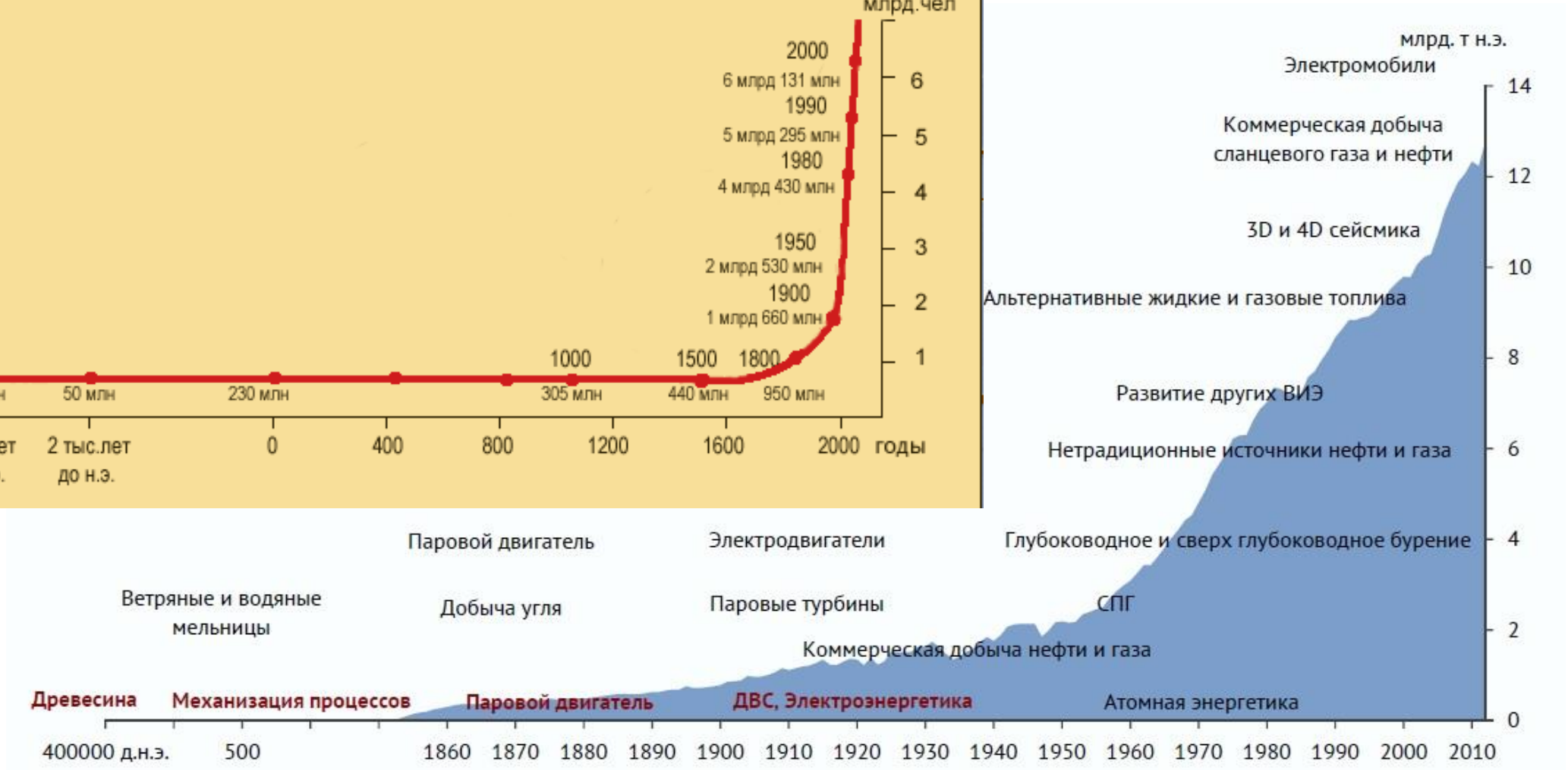
Энергетика – одна из наиболее важных сфер человеческой деятельности, связанная с производством, использованием, запасанием и транспортировкой различных видов энергии. Энергетика играет определяющую роль в прогрессе цивилизации. Энергетика определяет направления развития науки, техники, экономики, экологии, социальных отношений, геополитики.

Единицы измерения энергии

	Гкал	ГДж	МВт.ч
1 т. у. т.	7,0	29,3	8,12
1 т. н. э.	10,0	41,868	11,63

	кал	Дж	кВт.ч
кал	1	4,18	$1.6\ 10^{-6}$
Дж	0.24	1	$2.78\ 10^{-7}$
кВт.ч	$8.6\ 10^{5}$	$3.6\ 10^{6}$	1

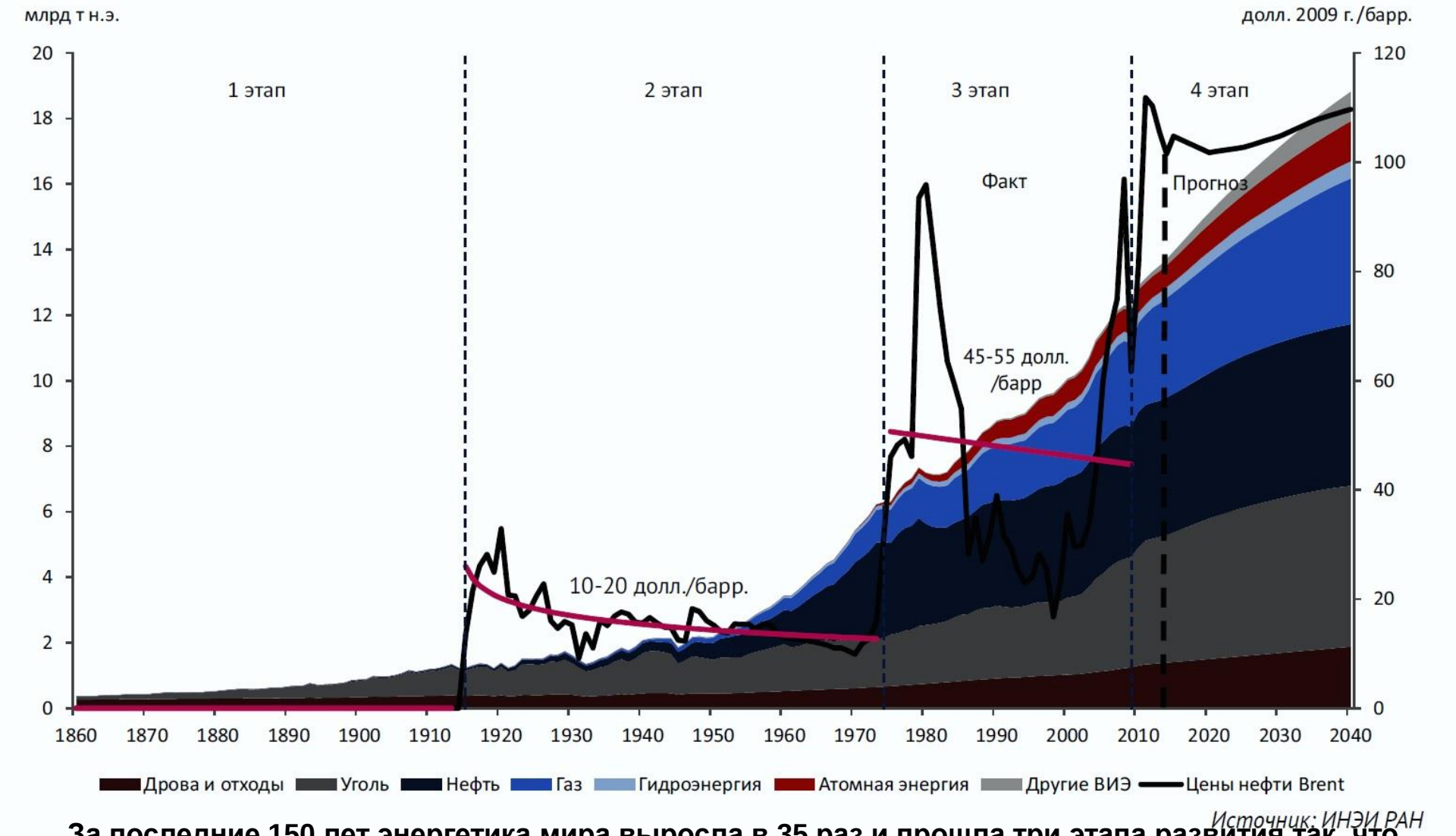
	Торф	Дрова	Каменный уголь антрацит	Нефть	Мазут	Бензин	Газ	Уран 235
т. у. т.	0,28	0,35	1,0	1,43	1,33	1,55	1,7	2631
т. н. э.	0,20	0,25	0,70	1	0,93	1,05	1,19	1840



** Красным цветом выделены революции, черным – прорывы.*

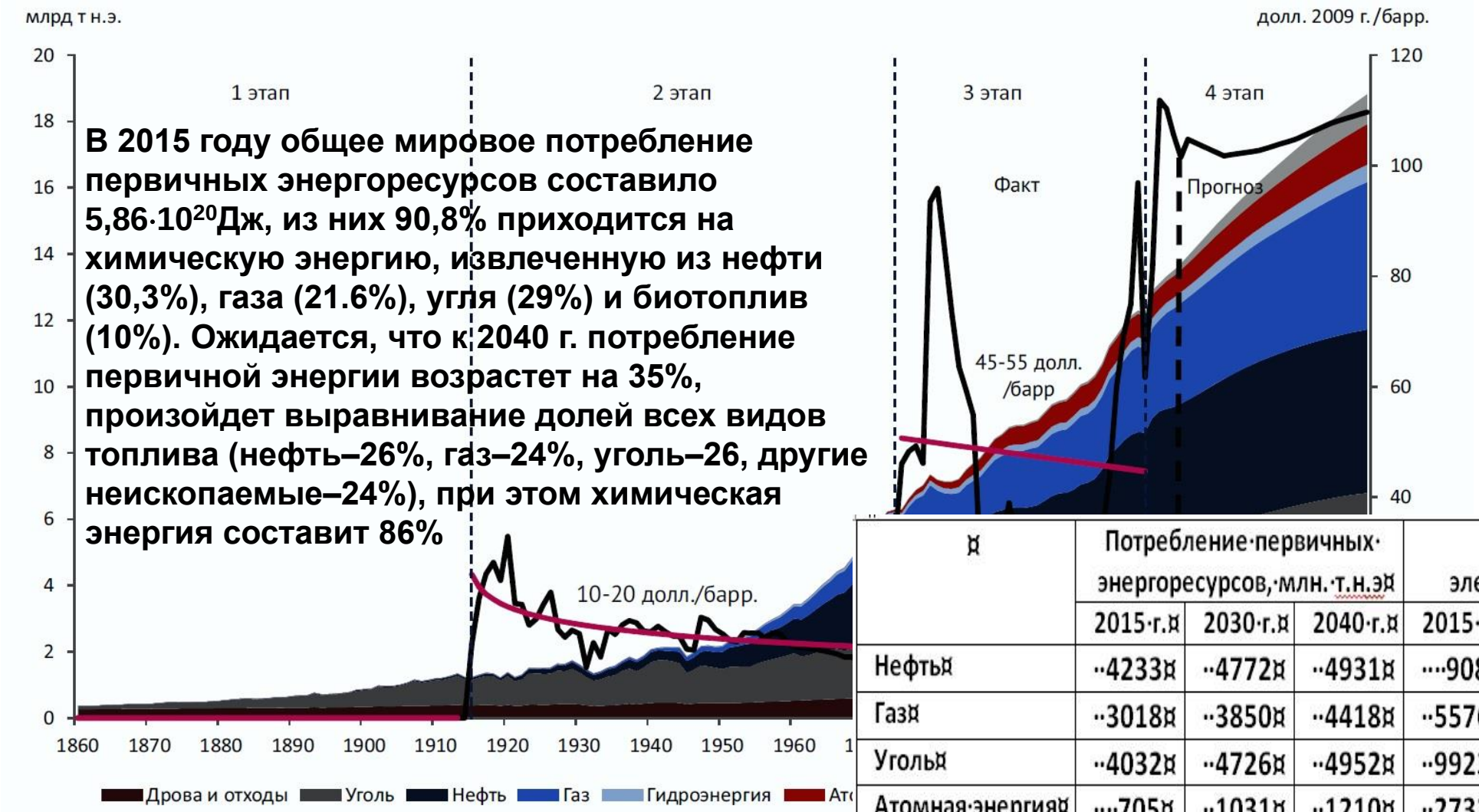
Источник: ИНЭИ РАН

Этапы развития мировой энергетики за последние 150 лет и прогноз до 2040 г



За последние 150 лет энергетика мира выросла в 35 раз и прошла три этапа развития так, что длительность этапов последовательно уменьшалась (70, 50 и 30 лет), удваивались цены топлива и замедлялся рост энергопотребления (в 4,8, 4,2 и 1,6 раза), а в конце каждого этапа наблюдался кризисный спад спроса на энергию. В настоящее время происходит переход на следующий 4-ый этап развития мировой энергетики, характеризующийся очередным удвоением цен и более умеренным ростом энергопотребления

Этапы развития мировой энергетики за последние 150 лет и прогноз до 2040 г



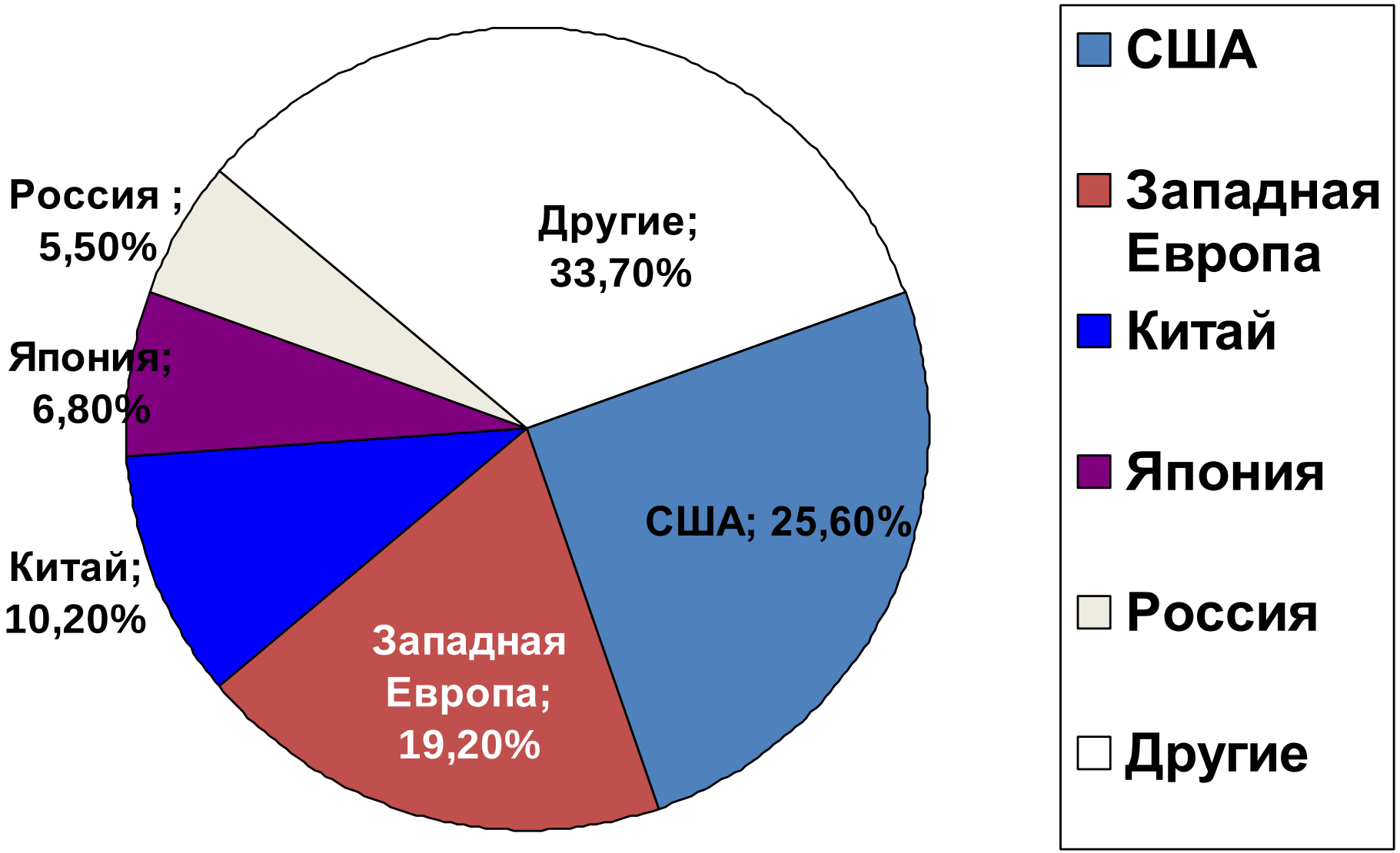
В 2015 году общее мировое потребление первичных энергоресурсов составило 5,86·10^{20}Дж, из них 90,8% приходится на химическую энергию, извлеченную из нефти (30,3%), газа (21.6%), угля (29%) и биотоплив (10%). Ожидается, что к 2040 г. потребление первичной энергии возрастет на 35%, произойдет выравнивание долей всех видов топлива (нефть–26%, газ–24%, уголь–26, другие неископаемые–24%), при этом химическая энергия составит 86%

¤	Потребление·первичных·энергоресурсов,·млн.·т.н.э¤			Генерация·электроэнергии,·ТВт·ч¤		
	2015·г.¤	2030·г.¤	2040·г.¤	2015·г.¤	2030·г.¤	2040·г.¤
Нефть¤	··4233¤	··4772¤	··4931¤	····908¤	····820¤	····751¤
Газ¤	··3018¤	··3850¤	··4418¤	··5576¤	··8941¤	11516¤
Уголь¤	··4032¤	··4726¤	··4952¤	··9923¤	13710¤	15373¤
Атомная·энергия¤	····705¤	··1031¤	··1210¤	··2732¤	··4030¤	··4742¤
Гидроэнергия¤	····361¤	····469¤	····542¤	··3857¤	··5154¤	··6010¤
ВИЭ¤	····215¤	····619¤	····890¤	····924¤	··3131¤	··5137¤
Биоэнергия¤	··1406¤	··1683¤	··1873¤	····412¤	····841¤	··1639¤
ВСЕГО¤	13971¤	17150¤	18815¤	24332¤	36626¤	45167¤

В 2015 г. потребление первичной энергии 220 МДж в день на чел.
Что соответствует мощности всех энергоресурсов 2.5 Квт/чел
Мощность всех электростанций 2,8 ТВт и на 1 чел. – 400 Вт

¤	Потребление·первичных·энергоресурсов,·млн.·т.н.э¤			Генерация·электроэнергии,·ТВт·ч¤		
	2015·г.¤	2030·г.¤	2040·г.¤	2015·г.¤	2030·г.¤	2040·г.¤
Нефть¤	··4233¤	··4772¤	··4931¤	····908¤	····820¤	····751¤
Газ¤	··3018¤	··3850¤	··4418¤	··5576¤	··8941¤	11516¤
Уголь¤	··4032¤	··4726¤	··4952¤	··9923¤	13710¤	15373¤
Атомная·энергия¤	····705¤	··1031¤	··1210¤	··2732¤	··4030¤	··4742¤
Гидроэнергия¤	····361¤	····469¤	····542¤	··3857¤	··5154¤	··6010¤
ВИЭ¤	····215¤	····619¤	····890¤	····924¤	··3131¤	··5137¤
Биоэнергия¤	··1406¤	··1683¤	··1873¤	····412¤	····841¤	··1639¤
ВСЕГО¤	13971¤	17150¤	18815¤	24332¤	36626¤	45167¤

Общее производство электроэнергии (2,8 ТераВт = 2,8 ×10^6 МВт)



Happy Life

o

IT IS NECESSARILY 15 TW IN 2050 AND 35 TW IN 2100!!!
WHERE CAN WE GET THESE AMOUNT OF CARBON FREE ENERGY?

Что такое энергия и как она возникла?

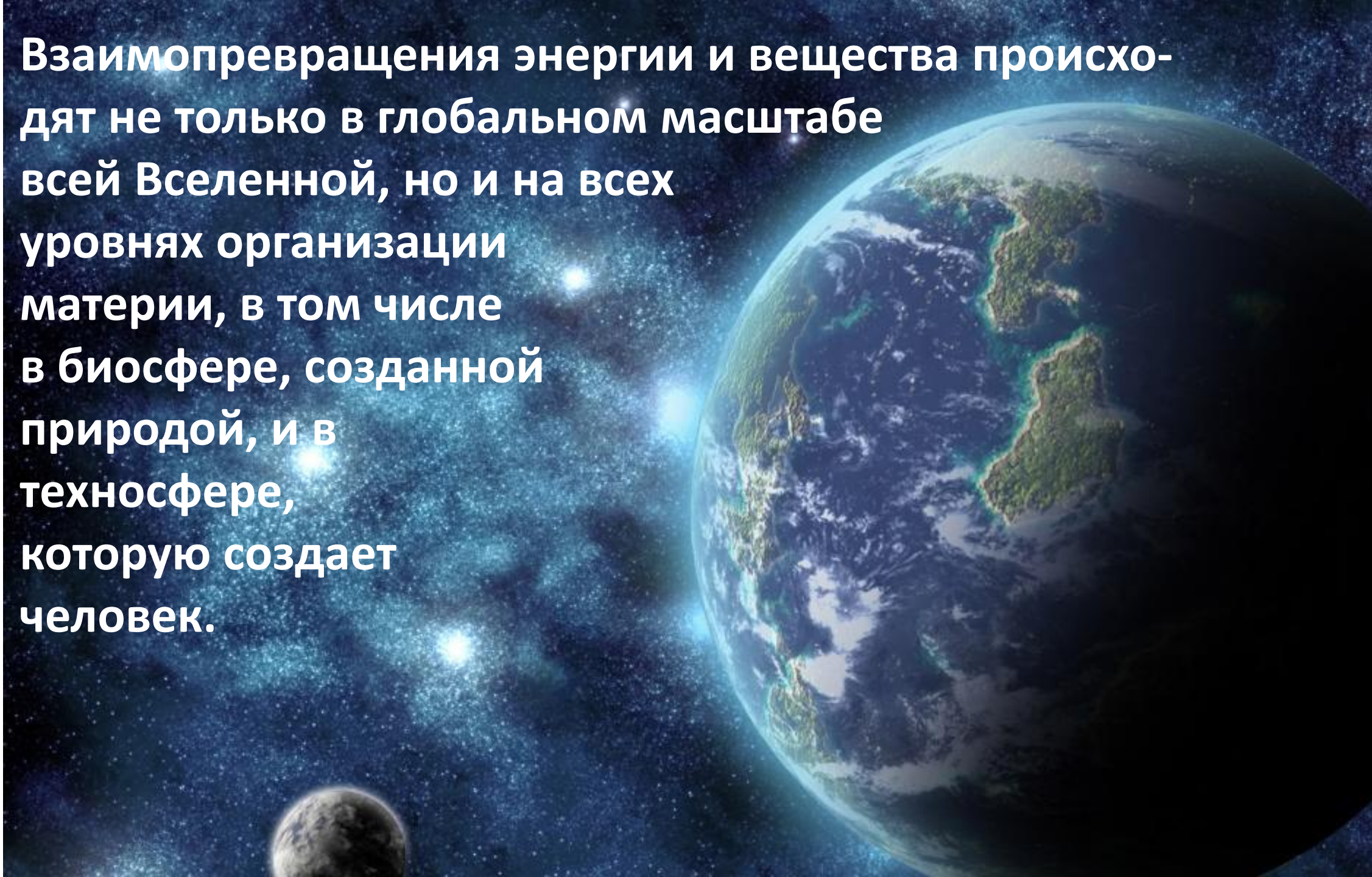
Никто не знает что такое энергия, самое лучшее, что можно сказать – это то что энергия (от греческого energeia – действие), есть мера всех видов взаимодействия и движения вещества, которая в соответствии с законом сохранения энергии для изолированной системы является постоянной величиной и при любых процессах, происходящих в изолированной системе, может лишь переходить из одной формы в другую. Среди различных форм энергии, определяющих меру движения вещества в первую очередь следует отметить такие как механическая, тепловая, химическая, электромагнитная и т.д.

С точки зрения фундаментальных взаимодействий можно назвать 4 формы энергии: гравитационная, электромагнитная и ядерная (сильная и слабая)

Фундаментальные физические взаимодействия

Фундаментальное взаимодействие	**Безразмерная константа взаимодействия**	**Радиус действия**	**Взаимодей-ствующие частицы**	**Виртуальные частицы посредники взаимодей-ствия**	**Характерное время взаимодей-ствия**
Сильное	$\alpha_s = 1$	**10^{-13}см**	**Адроны**	**Глюоны**	**10^{-23} с**
Электромагнитное	$\alpha_e = \frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$	**∞**	**Заряженны е частицы**	**Фотоны**	**10^{-19} с**
Слабое	$\alpha_e = G_F \frac{m_p^2 e}{\hbar^3} \approx 10^{-5}$	**10^{-16}см**	**Лептоны и андроны**	**Векторные бозоны W и Z_0**	**10^{-11} с**
Гравитационное	$\alpha_g = G \frac{m_p^2}{\hbar c} \approx 10^{-39}$	**∞**	**Любые частицы и материаль-ные объекты**	**Гравитоны**	**?**

Происхождение Вселенной и эволюция всего окружающего нас мира есть непрерывный процесс взаимопревращений энергии и вещества.



Взаимопревращения энергии и вещества происхо-дят не только в глобальном масштабе всей Вселенной, но и на всех уровнях организации материи, в том числе в биосфере, созданной природой, и в техносфере, которую создает человек.

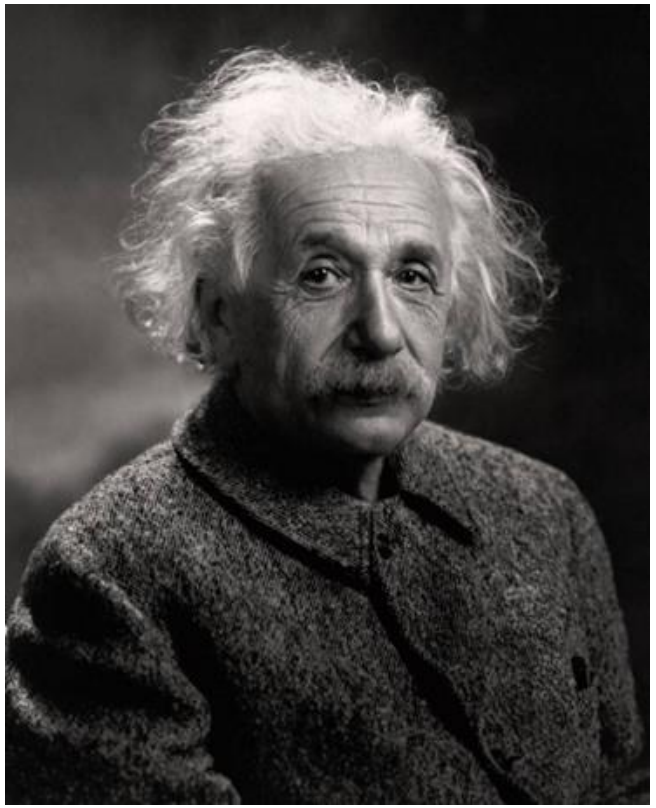
Исаак *Ньютон*
(1643 - 1727)

«Переходы тел в свет и света в тела подчиняются законам Природы, которая, как кажется, забавляется этими превращениями».

И.Ньютон,Трактат «Оптика», 1704 г.

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$$

$$если\ \ p = 0,\ то\ E = mc^2$$



«Принцип относительности в связи с основными максвелловскими уравнениями требует, чтобы масса была непосредственной мерой энергии тела. Свет переносит массу. Мысль забавная и заманчивая. Не знаю только, не смеется ли надо мной Господь Бог, не водит ли он меня за нос»

А.Эйнштейн, 1905 г., из письма к своему другу Конраду Габихту.

Альберт Эйнштейн
(1879-1955)

Откуда взялась энергия Вселенной?

Некоторые факты:

1) Энергия вещества во Вселенной **не сохраняется:**

$$dE = -p\,dV$$

Объём V расширяющейся Вселенной увеличивается, поэтому её энергия уменьшается, если давление p положительно.

2) Сумма энергии вещества и гравитационной энергии сохраняется, но этот закон сохранения необычен:

Эта сумма равна НУЛЮ !

По современным представлениям наша Вселенная возникла из сингулярности в результате диссипации гипотетического скалярного поля (инфлатонного поля). Процесс диссипации, который получил название инфляционного периода возникновения Вселенной, длился меньше чем 10^{-35} сек и сопровождался экспоненциальным пространственным расширением исходной сингулярности (размером порядка планковской длины, т.е. 10^{-33} см), характеризующимся неимоверно большим числом $(10^{10})^{12}$, физический смысл которого не понятен. При этом выделялось громадное количество энергии и гравитирующей материи в виде элементарных частиц (бозонов и фермионов).

Уравнения движения

Уравнение Эйнштейна:

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{m^2}{6}\phi^2$$

Уравнение Клейна-Гордона:

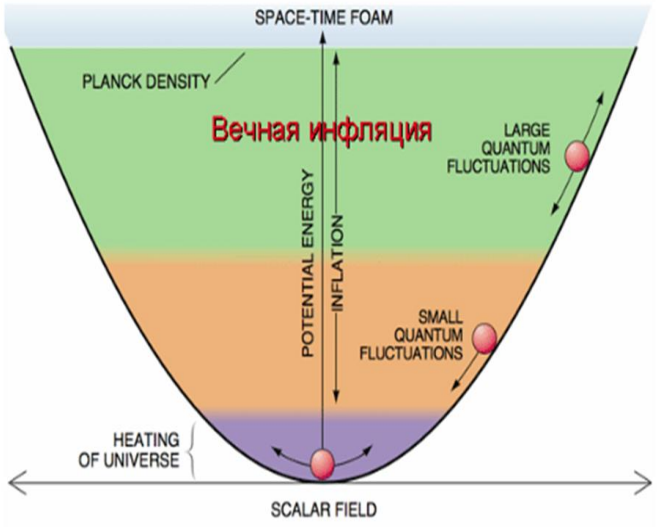
$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} = -m^2\phi$$

Сравните с уравнением для осциллятора с трением:

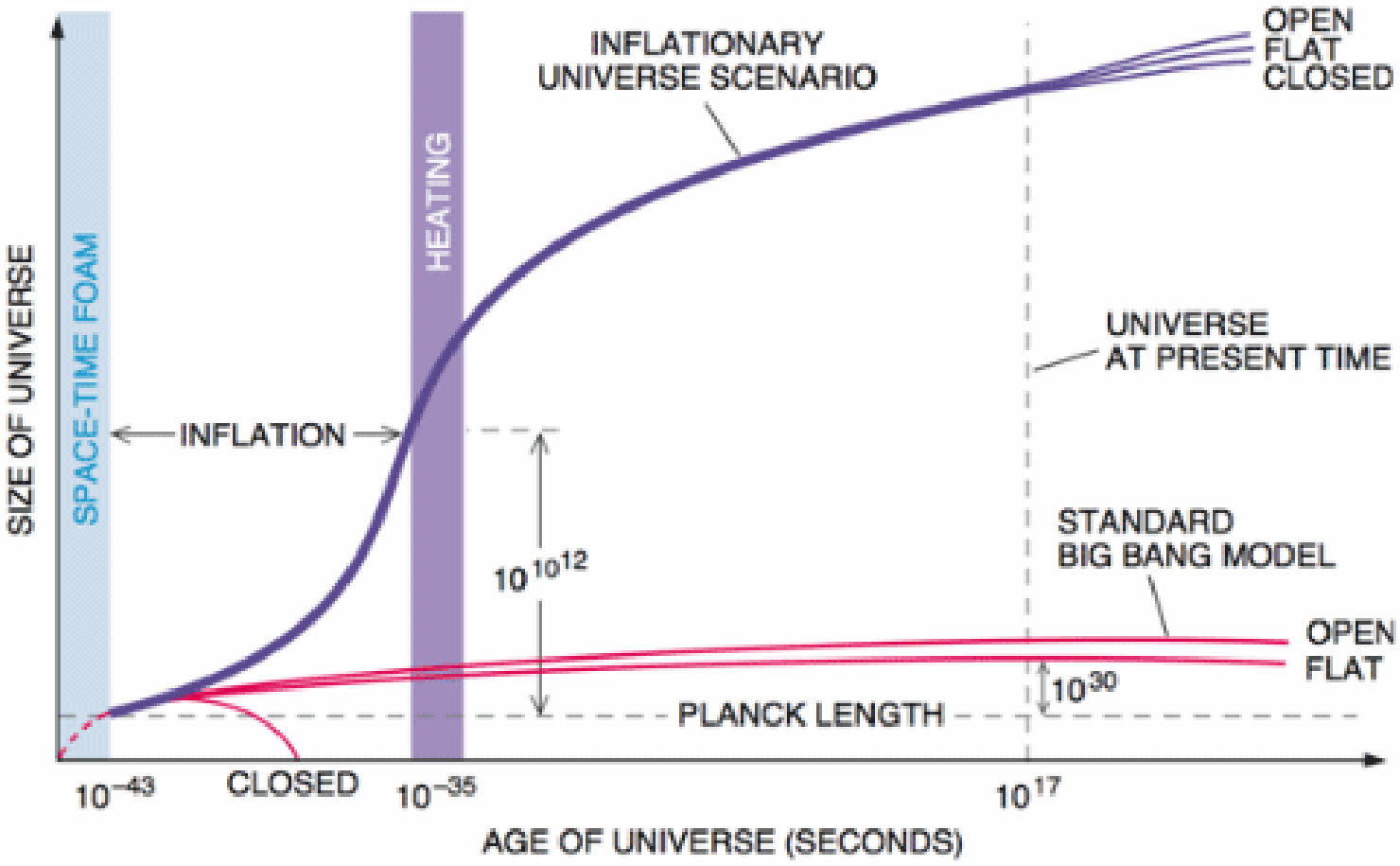
$$\ddot{x} + \alpha\dot{x} = -kx$$

Инфляция и Скалярное Поле

$$V(\phi) = \frac{m^2}{2}\phi^2$$

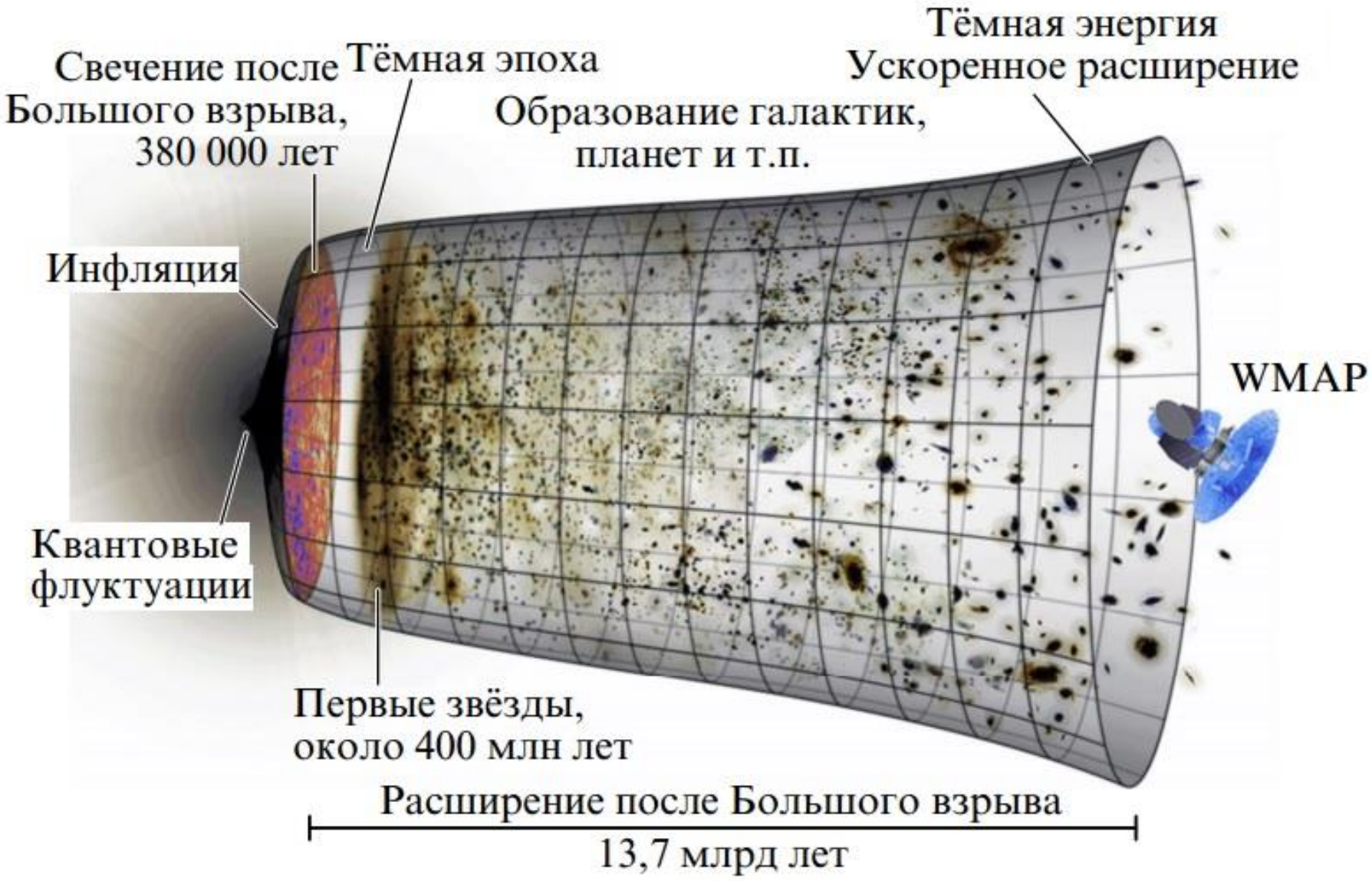


Инфляционная Вселенная

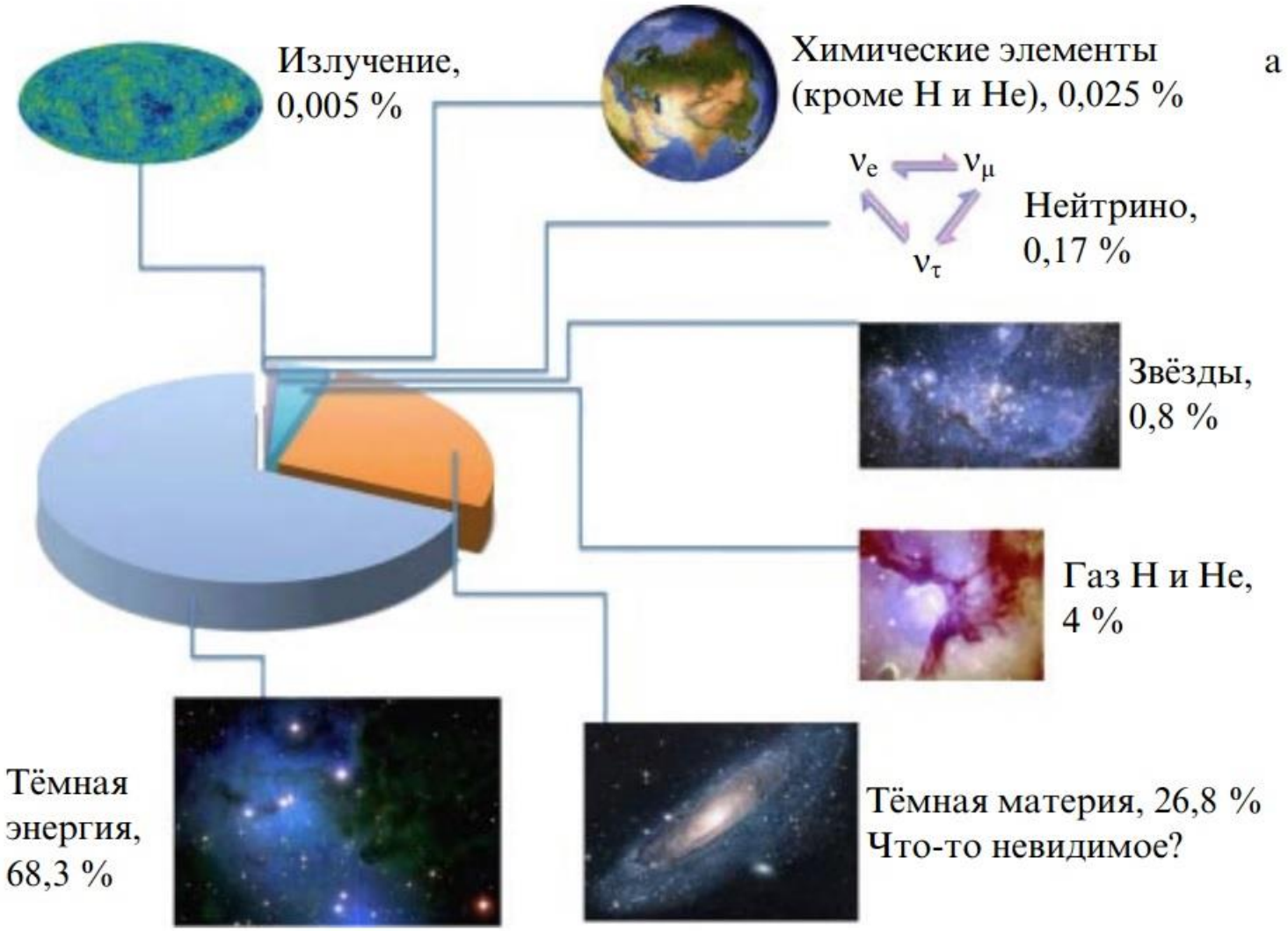


Инфляция - это очень быстрое ускорение Вселенной вскоре после ее возникновения

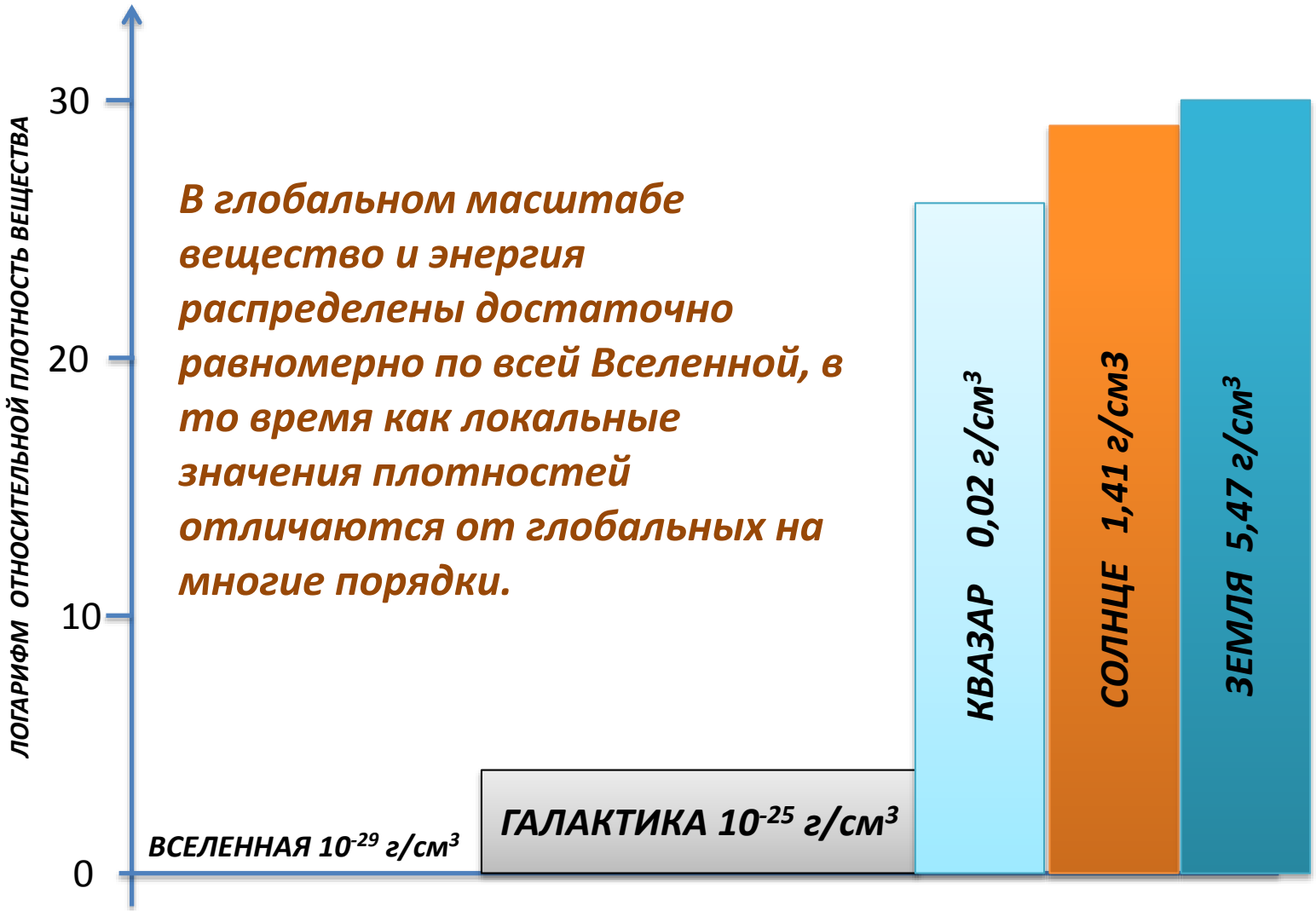
ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ



БАЛАНС ЭНЕРГИИ ВО ВСЕЛЕННОЙ

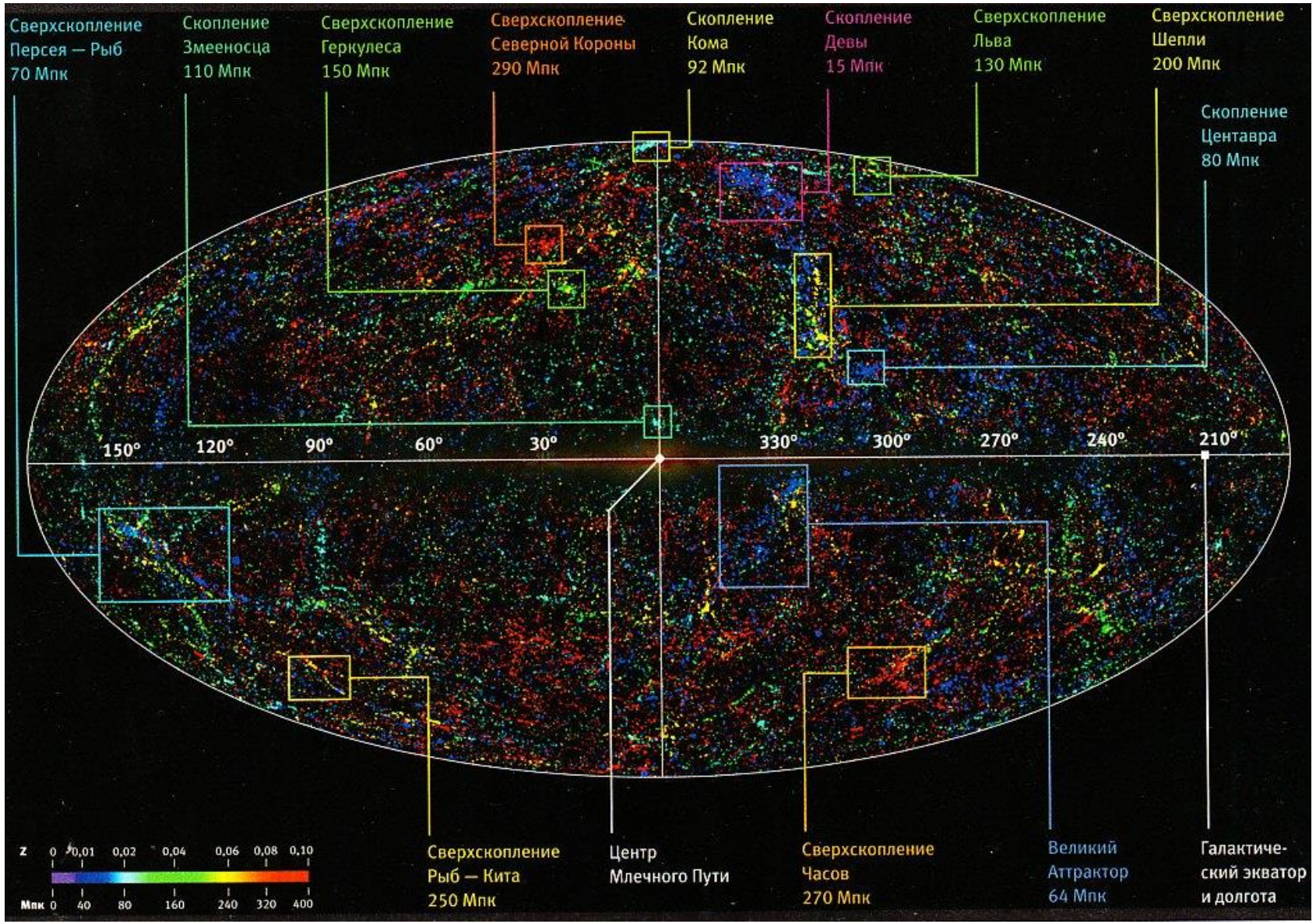


Казаков Д.И. УФН, т.184, №9, 2014 г., стр. 1004



В глобальном масштабе вещество и энергия распределены достаточно равномерно по всей Вселенной, в то время как локальные значения плотностей отличаются от глобальных на многие порядки.

Теория инфляции объясняет причину существующей в настоящее время локальной неоднородности Вселенной двумя факторами. Первый – это то, что в момент своего возникновения такое громадное количество вещества и энергии имело практически нулевую энтропию, то есть было каким-то очень сложным образом чрезвычайно компактно собрано в малом пространстве. Поэтому, несмотря на то, что второй закон термодинамики применим ко всей Вселенной в целом, возраст 13,7 млрд. лет еще слишком мал для столь значительного возрастания энтропии и приведения Вселенной к полному беспорядку, то есть к равномерному пространственному распределению вещества в масштабах галактик или отдельных звездных систем, наподобие нашей Солнечной системы. Таким образом, чрезвычайно малая начальная величина энтропии объясняет почему галактики и их скопления пока еще «не рассосались». Но остается вопрос: откуда они изначально взялись? А взялись они, согласно теории инфляции, из-за наличия квантовых флуктуаций в пространственном распределении вещества в плотноупакованном состоянии в самой начальной стадии инфляционного расширения. В процессе инфляции и последующего расширения пространства квантовые флуктуации растянулись по пространству и области повышенной плотности вещества стали центрами структурообразования за счет гравитационного притяжения.


Сверхскопление Персея — Рыб 70 Мпк
Скопление Змееносца 110 Мпк
Сверхскопление Геркулеса 150 Мпк
Сверхскопление Северной Короны 290 Мпк
Скопление Кома 92 Мпк
Скопление Девы 15 Мпк
Сверхскопление Льва 130 Мпк
Сверхскопление Шепли 200 Мпк
Скопление Центавра 80 Мпк
150°
120°
90°
60°
30°
330°
300°
270°
240°
210°
z 0 0,01 0,02 0,04 0,06 0,08 0,10
Мпк 0 40 80 160 240 320 400
Сверхскопление Рыб — Кита 250 Мпк
Центр Млечного Пути
Сверхскопление Часов 270 Мпк
Великий Аттрактор 64 Мпк
Галактический экватор и долгота

Happy Life

o

IT IS NECESSARILY 15 TW IN 2050 AND 35 TW IN 2100!!!
WHERE CAN WE GET THESE AMOUNT OF CARBON FREE ENERGY?

ГИГАНСКАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МАШИНА: ЗЕМЛЯ – ЛУНА-СОЛНЦЕ

Луна

Солнце – основной источник энергии для Земной цивилизации

10^5 ТВт

Земля

10^{14} ТВт

Мощность всех электростанций на Земле в 2015 году составляет 2,8 ТВт, за год они произведут 24 тыс. ТВт часов электроэнергии, т. е. столько же энергии, сколько Солнце нам поставляет за 3 мин

Ресурсы энергии на Земле

Солнце – главный источник энергии на Земле
Излучает 10^{12} ТВт

На Землю попадает $1{,}7\ 10^5$ ТВт

Превращается в тепло 70% $1{,}2\ 10^5$ ТВт

Фотосинтез растений 40 ТВт

Отражается 30% $5\ 10^4$ ТВт

Мировые невозобнавляемые энергоресурсы на Земле:

нефть+уголь+газ	10^{16} кг (10^{19}кДж)
биомасса	10^{15} кг (10^{17}кДж)
уран	10^{9} кг (10^{16}кДж)
Масса кислорода в атмосфере	10^{18} кг

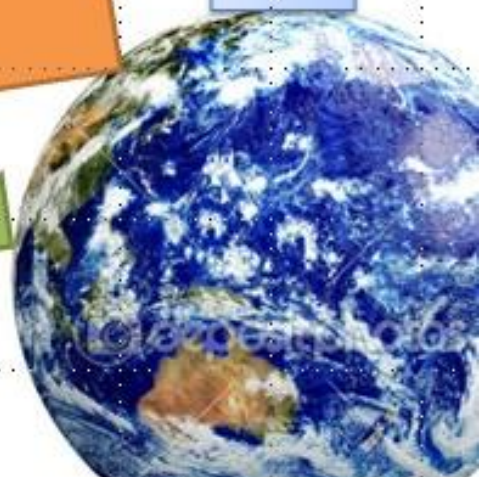
Потенциальные возобновляемые энергоресурсы на Земле:

Солнечная 10-50 ТВт ???

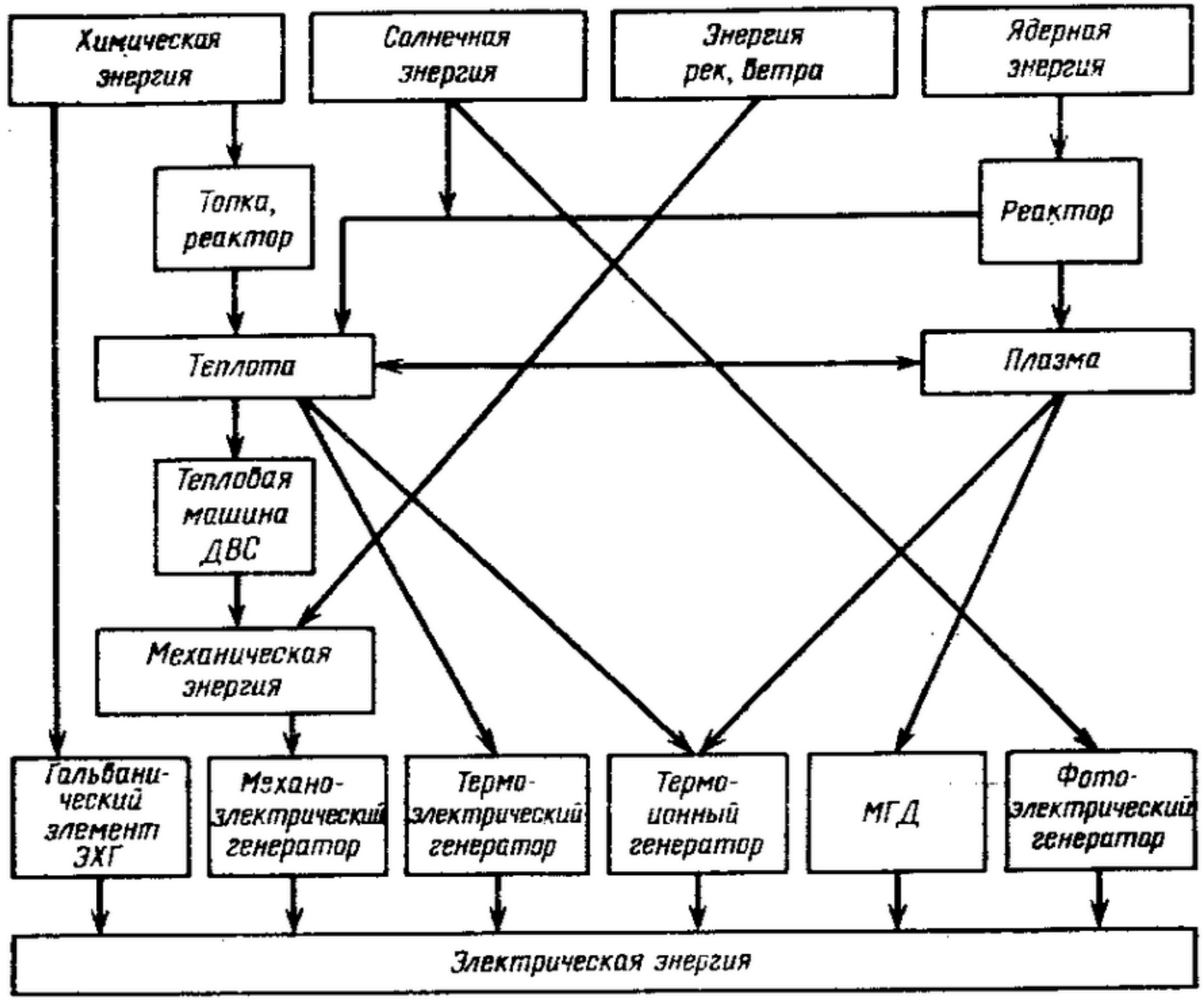
Ветры, волны, морские течения 100 ТВт???

Приливная 1-5 ТВт ???

Геотермальная ???

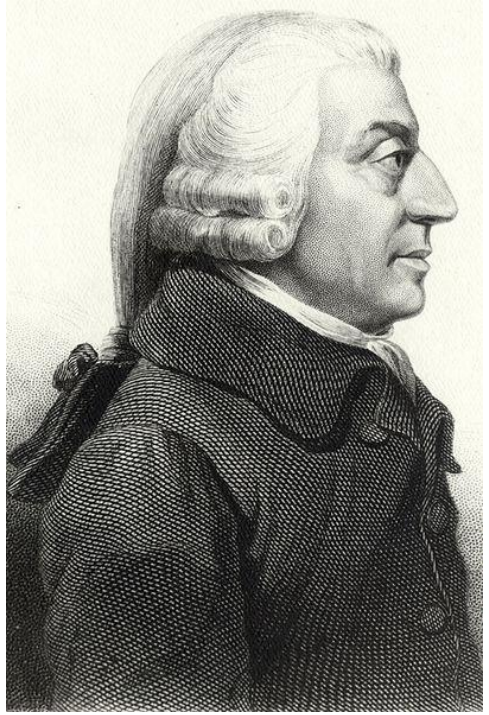


ПЕРВИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ , ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ МОЩНОСТИ ГЕНЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ И СФЕРЫ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

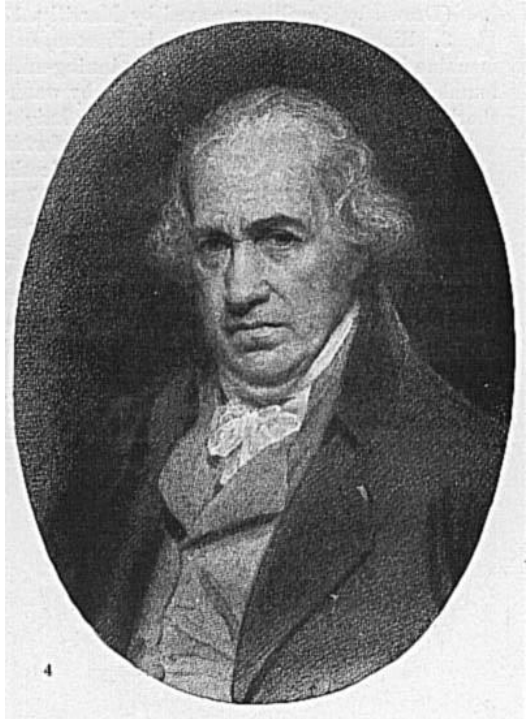

Химическая энергия
Солнечная энергия
Энергия рек, ветра
Ядерная энергия
Топка, реактор
Реактор
Теплота
Плазма
Тепловая машина ДВС
Механическая энергия
Гальванический элемент ЭХГ
Механоэлектрический генератор
Термоэлектрический генератор
Термоионный генератор
МГД
Фотоэлектрический генератор
Электрическая энергия

Бранил Гомера, Феокрита,
Зато, читал Адама Смита
И был глубокий эконом,
То есть умел судить о том
Как государство богатеет,
И чем живёт, и почему
Не нужно золото ему,
Когда простой продукт имеет.

Пушкин
Александр Сергеевич
(26 мая 1799 г. - 29 января 1837 г.)



Адам Смит не видел в угле скрытый источник богатства народов. Единственная польза от угля – писал Смит, - то, что уголь служит источником тепла для рабочих.



Ада́м Смит (Adam Smith)
(16.06.1723-17.07.1790)

Шотландский экономист, философ-этик; один из основоположников современной экономической теории.
В 1776 г. опубликовал "Исследование о природе и причинах богатства народов"

Джеймс Уатт (James Watt)
(19.01.1736-19.08.1819)

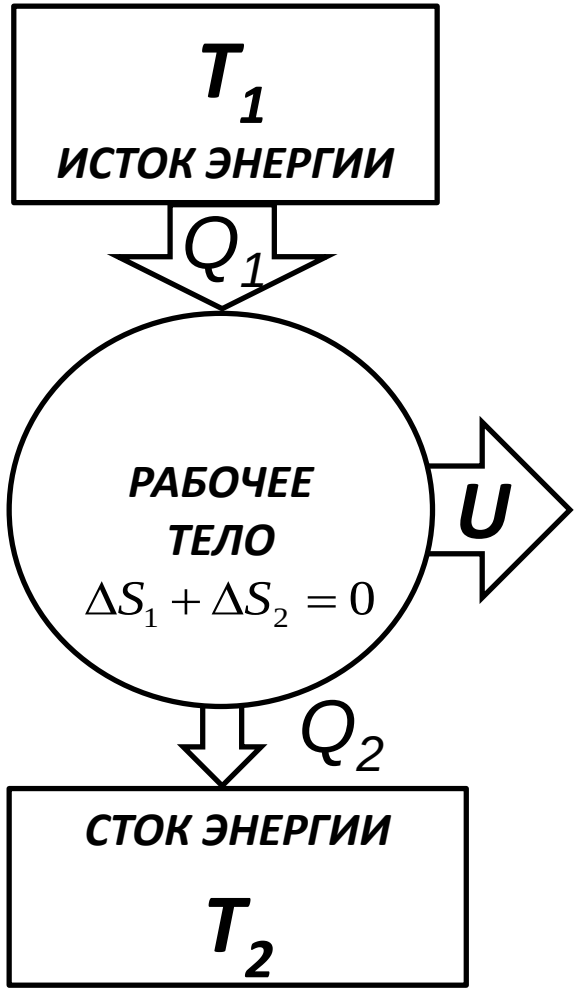
Шотландский изобретатель -механик.
В 1769 г. получил патент на паровой двигатель

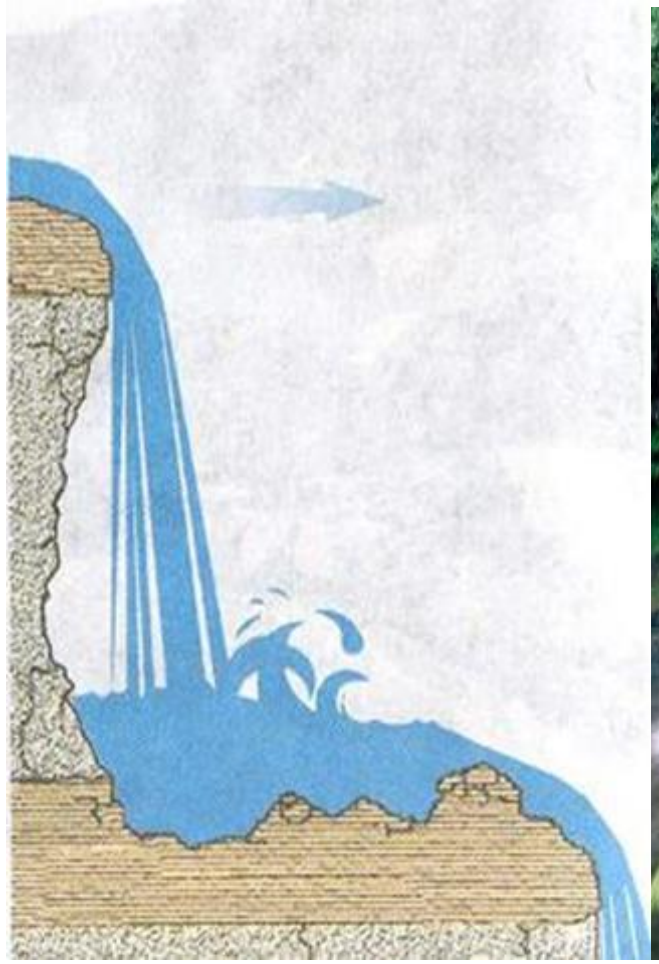
Эти оба англичанина в одно и тоже время работали в университете Глазго.

Никола Леонар Сади Карно
1.6.1796 - 24.8.1832

«Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» , 1824 г.

$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$$





$$U = Q_1 - Q_2 = (T_1 - T_2)\,\Delta S$$

$$\eta = R/Q_1 = (T_1 - T_2)\,/\,T_1$$

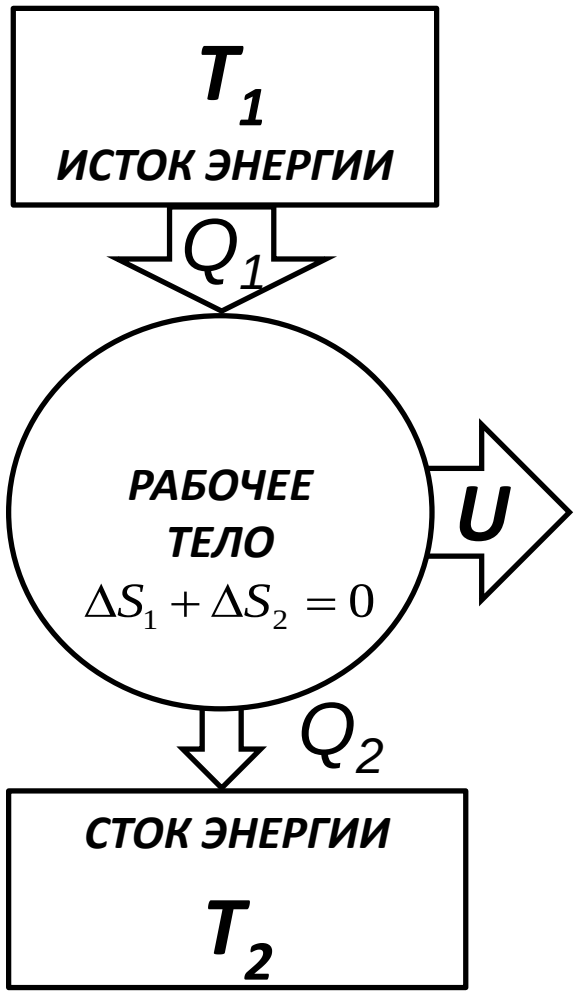
Клаузиус Рудольф Юлиус Эммануэль
02.01.1822 – 24.08.1888

Энтропия и второе начало термодинамики

Для любого процесса функция состояния системы, называемая энтропией *S* и определяемая формулой

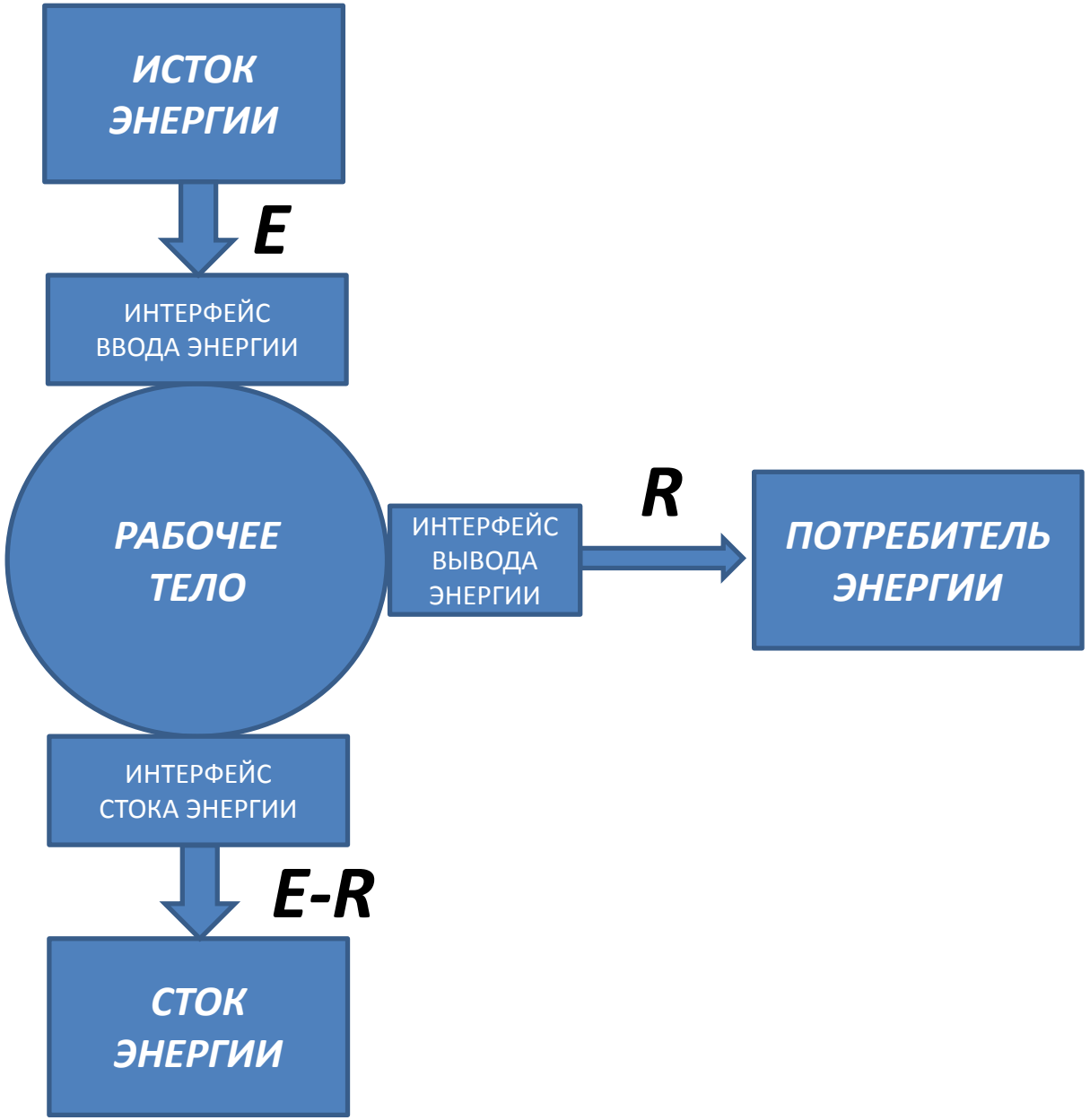
$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

либо возрастает (необратимый процесс), либо остается постоянной (обратимый процесс



$$\eta_{холод\,маш} = \frac{Q_2}{W} = \frac{T_2\,\Delta S}{(T_1 - T_2)\Delta S} = \frac{T_2}{(T_1 - T_2)}$$

$$\eta_{теплового\,насоса} = \frac{Q_1}{W} = \frac{T_1\,\Delta S}{(T_1 - T_2)\Delta S} = \frac{T_1}{(T_1 - T_2)}$$


ИСТОК ЭНЕРГИИ
E
ИНТЕРФЕЙС ВВОДА ЭНЕРГИИ
РАБОЧЕЕ ТЕЛО
ИНТЕРФЕЙС ВЫВОДА ЭНЕРГИИ
R
ПОТРЕБИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ
ИНТЕРФЕЙС СТОКА ЭНЕРГИИ
E-R
СТОК ЭНЕРГИИ

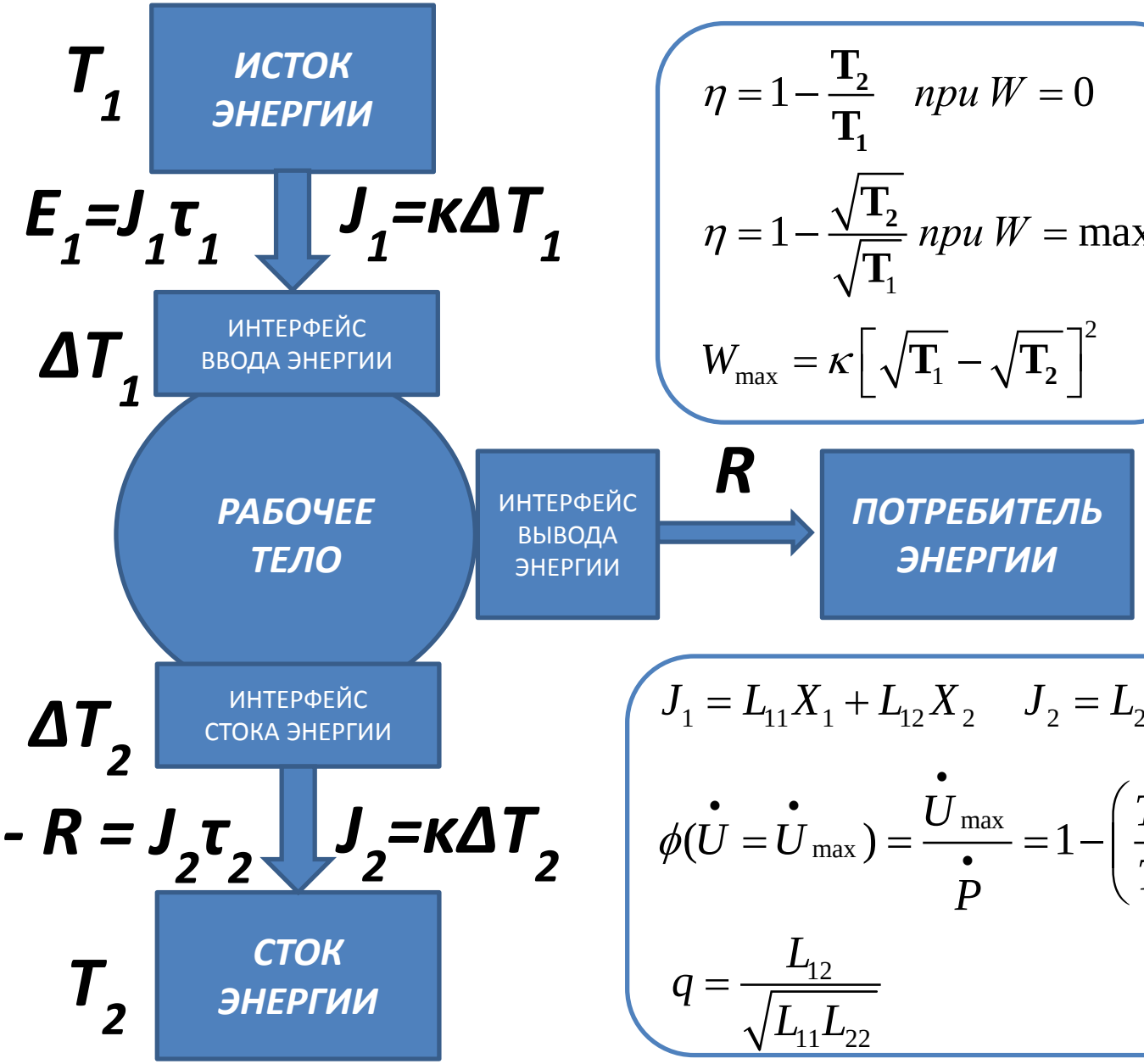
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

КПД

$$\eta = \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{E}}$$

Мощность

$$W = \frac{\mathbf{R}}{\tau_1 + \tau_2}$$



$$\eta = 1 - \frac{\mathbf{T_2}}{\mathbf{T_1}} \quad при\ W = 0$$

$$\eta = 1 - \frac{\sqrt{\mathbf{T_2}}}{\sqrt{\mathbf{T_1}}} \quad при\ W = \max$$

$$W_{\max} = \kappa\left[\sqrt{\mathbf{T_1}} - \sqrt{\mathbf{T_2}}\right]^2$$

$$J_1 = L_{11}X_1 + L_{12}X_2 \qquad J_2 = L_{21}X_1 + L_{22}X_2$$

$$\phi(\dot{U} = \dot{U}_{\max}) = \frac{\dot{U}_{\max}}{\dot{P}} = 1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{q^2}{2(2-q^2)}},$$

$$q = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{11}L_{22}}}$$

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

КПД

$$\eta = \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{E}}$$

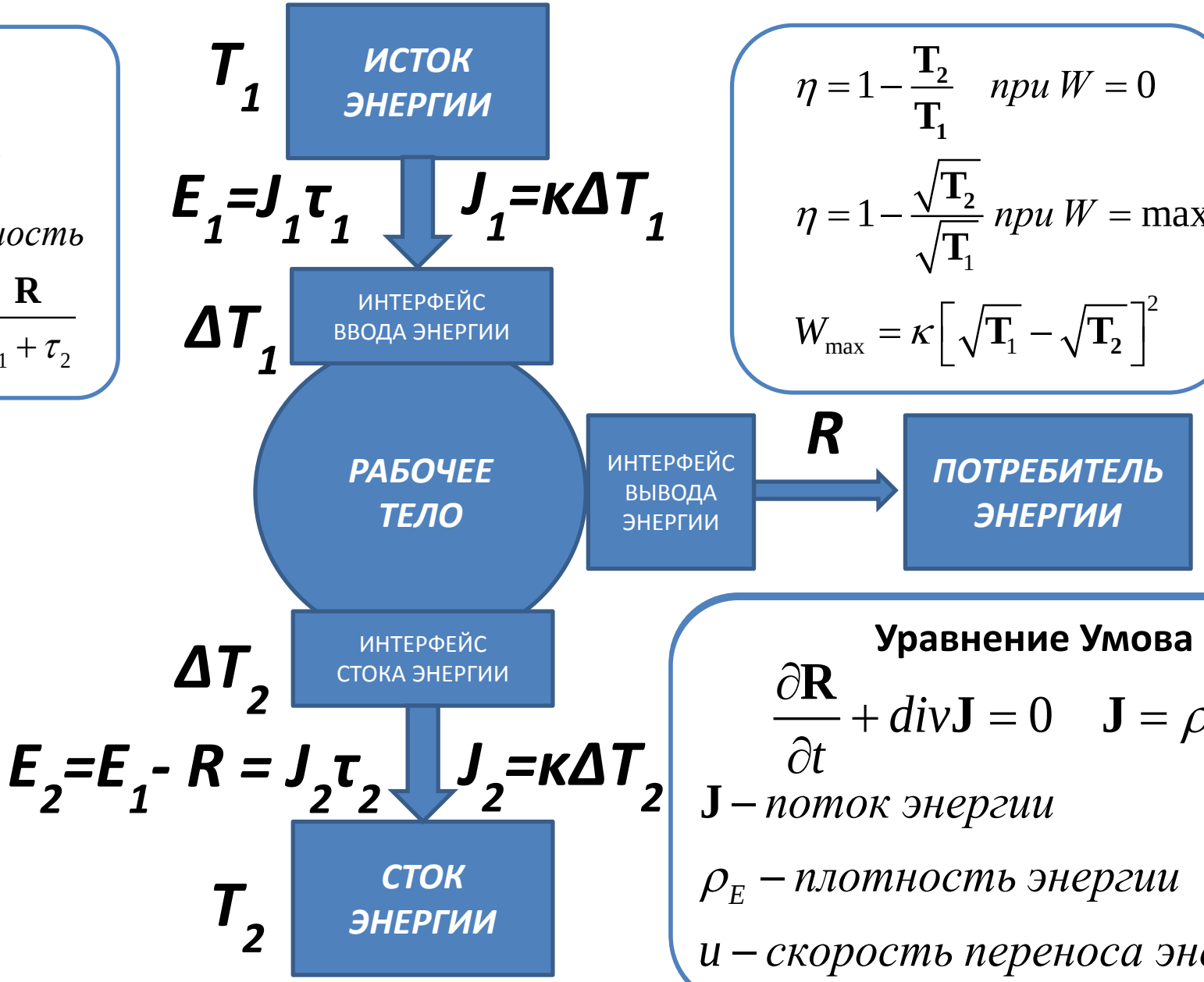
Мощность

$$W = \frac{\mathbf{R}}{\tau_1 + \tau_2}$$

$$\eta = 1 - \frac{\mathbf{T_2}}{\mathbf{T_1}} \quad при\ W = 0$$

$$\eta = 1 - \frac{\sqrt{\mathbf{T_2}}}{\sqrt{\mathbf{T_1}}} \quad при\ W = \max$$

$$W_{\max} = \kappa\left[\sqrt{\mathbf{T_1}} - \sqrt{\mathbf{T_2}}\right]^2$$



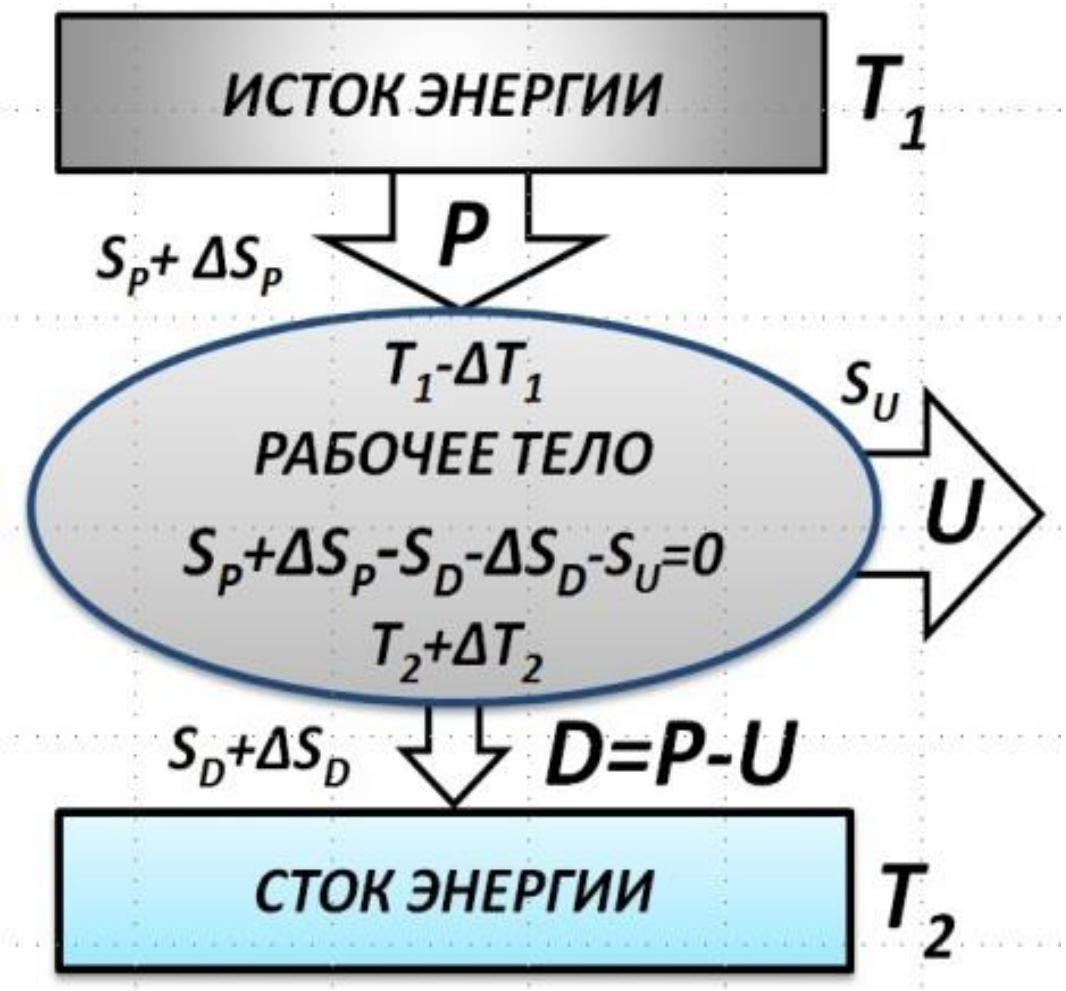
Уравнение Умова

$$\frac{\partial \mathbf{R}}{\partial t} + div\mathbf{J} = 0 \qquad \mathbf{J} = \rho_E u$$

$\mathbf{J}$ – *поток энергии*

ρ_E – *плотность энергии*

u – *скорость переноса энергии*



Уравнение Умова

$$\frac{\partial \mathbf{R}}{\partial t} + div\mathbf{J} = 0 \qquad \mathbf{J} = \rho_E u$$

$\mathbf{J}$ – *поток энергии*

ρ_E – *плотность энергии*

u – *скорость переноса энергии*

$$J_1 = L_{11}X_1 + L_{12}X_2 \qquad J_2 = L_{21}X_1 + L_{22}X_2$$

$$\phi(\dot{U} = \dot{U}_{\max}) = \frac{\dot{U}_{\max}}{\dot{P}} = 1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{q^2}{2(2-q^2)}},$$

$$q = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{11}L_{22}}}$$

Картина Б.М.Кустодиева. «Портрет профессоров П. Л. Капицы и Н. Н. Семёнова» 1921 г.