Курс лекций: Физико-технические основы современной энергетики

Владимир Юрьевич Сергеев

проф., д.ф.м.н., кафедра физики плазмы

физико-технический факультет СПбГПУ

Зачем нам энергия?

Один день без электричество

- Часы перестали ходить – проспал
- Не побрился и пришлось принимать холодный душ
- Холодильник не работает – колбаса и сыр были странного вкуса
- Трамвай, троллейбус, автобус не ходят! АЗС не могут заправлять топливом транспорт.
- Сигналов светофора нет – пробки и ДТП
- На работе - нет света, нет компьютера, нет кондиционера
- Подступил голод – где обедать, а как ужинать?
- Вечером возвращаюсь домой пешком
- В доме пришлось подниматься на 13 этаж
- Нет света, нет телевизора, нет музыки, нет книг- скучно

Задачи курса

- Целью настоящего курса является систематизация уже полученных ранее и приобретение новых знаний в области современных методов получения, преобразования, накопления и использования энергии:

- Знание физических законов, лежащих в основе современной и будущей энергетики
- Понимание физических основ и технических реализаций способов и методов, используемых в энергетике
- Знание экономической, технологической и экологической привлекательности различных методов современной и будущей энергетики

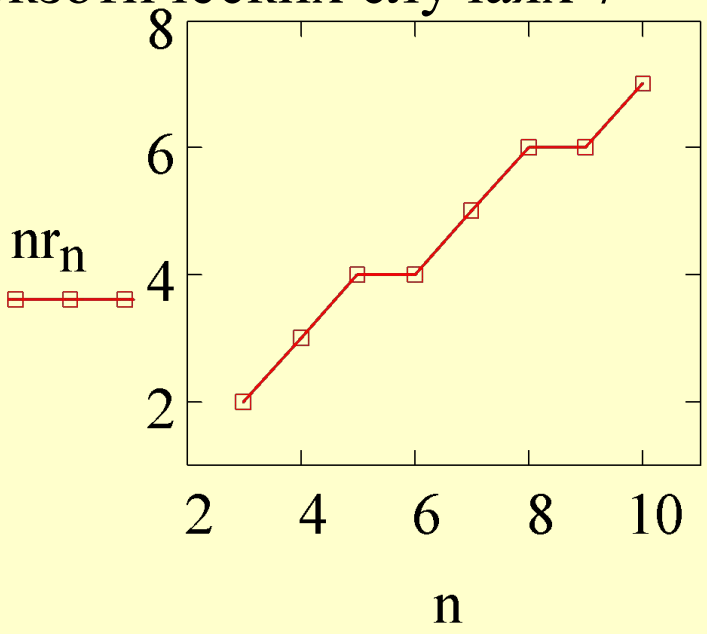
- Ожидается, что слушатели должны ориентироваться в стратегии и тенденциях развития мировой энергетики

Структура курса

- Введение. Классификация видов энергии. Современное состояние использования энергии в мире и перспективы
- Теплоэлектростанции традиционной энергетики и гидроэнергетика
- Физика ядерного реактора деления
- Энергетические ресурсы океана, энергия ветра и геотермальная энергия. Использование биотоплива в энергетических целях
- Фотоэлектрическое и фотокаталитическое преобразование солнечной энергии, МГД, термоэлектрические и термоэмиссионные преобразователи энергии
- Ядерный синтез – энергетика будущего (2 лекции)
- Водородная энергетика. Стратегия развития мировой энергетики

Как будет проходить зачет

- Будут розданы вопросы, дополнительные вопросы и пример задач
- В билетах будет 2 вопроса и 1 задача.
- В случае успешного ответа на вопросы и правильного решения задачи – будут заданы “n” = (3-7) простых дополнительных вопросов, зачет ставиться при доле правильных ответов, равной или превышающей 2/3.
- В особенно экзотических случаях 7→∞



Виды взаимодействия

На данный момент известны 4 вида взаимодействий (сил) между материальными объектами:

- Гравитационное
- Электромагнитное
- Слабое
- Сильное

Это фундаментальные взаимодействия – различные, не сводящиеся друг к другу типы взаимодействия элементарных частиц и составленных из них тел.

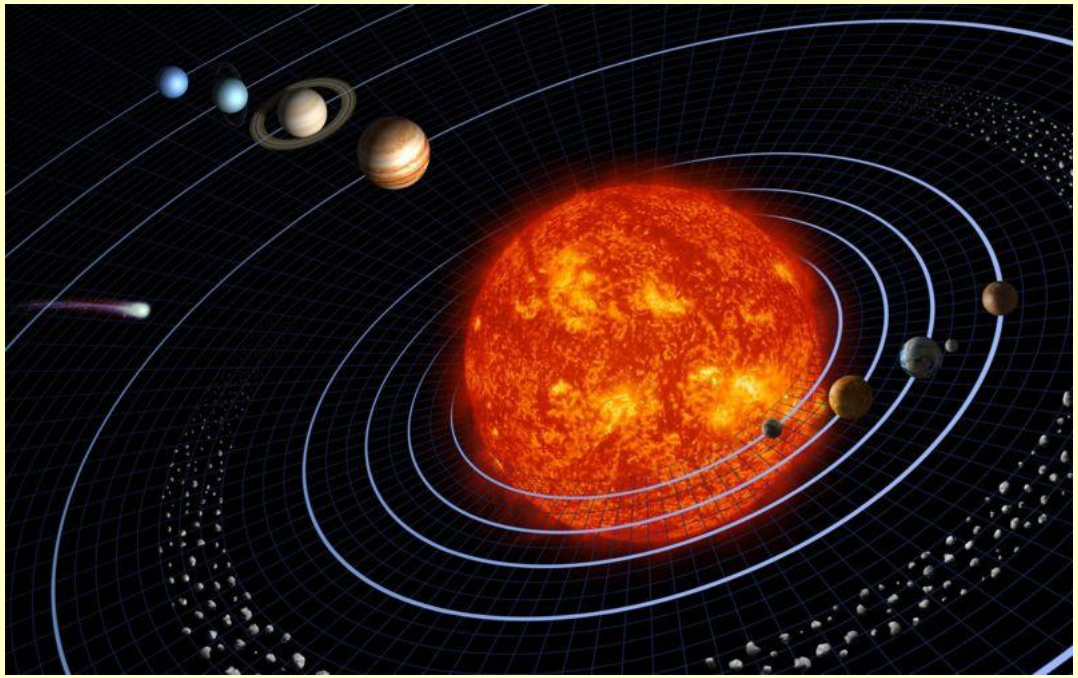
В настоящее время создается единая теория фундаментальных взаимодействий. Пока фундаментальные взаимодействия описываются двумя общепринятыми теориями: общей теорией относительности и «Стандартной Моделью», описывающей электромагнитное, слабые и сильное взаимодействия. Полного объединения теорий пока достичь не удалось из-за трудностей создания квантовой теории гравитации.

Кратко вспомним основные фундаментальные взаимодействия.

Гравитационное взаимодействие

Гравитация – явление, из-за которого все объекты, имеющие массу, притягиваются. Гравитация наделяет предметы весом.

Гравитация ответственна за существование орбит небесных тел, за приливы, за конвекцию, за нагрев центральных областей звезд и планет до высоких температур, и т.д.



Гравитация удерживает планеты на солнечной орбите

Гравитация – причина самого существования Земли, Солнца и большинства макроскопических объектов во Вселенной. Без нее вещество не собралось бы в такие большие массивы, и жизни бы не было.

В рамках классической механики гравитационное взаимодействие описывается законом всемирного тяготения Ньютона:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

Гравитационное взаимодействие приводит всегда к притяжению двух тел. Оно дальнодействующее!

Электромагнитное взаимодействие

Электромагнитное взаимодействие существует между частицами, обладающими электрическим зарядом, а также между электрически нейтральными составными частицами, части которых обладают зарядом. Например, нейтрон содержит в своём составе заряженные кварки и потому участвует в электромагнитном взаимодействии (в частности, обладает ненулевым магнитным моментом).

С точки зрения квантовой теории поля электромагнитное взаимодействие переносится фотонами.

Основной закон электромагнитного взаимодействия – закон Кулона:

$$\vec{F}_{12} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$$

Электромагнитное взаимодействие отличается от слабого и сильного взаимодействия своим дальнодействующим характером (как и гравитационное взаимодействие).

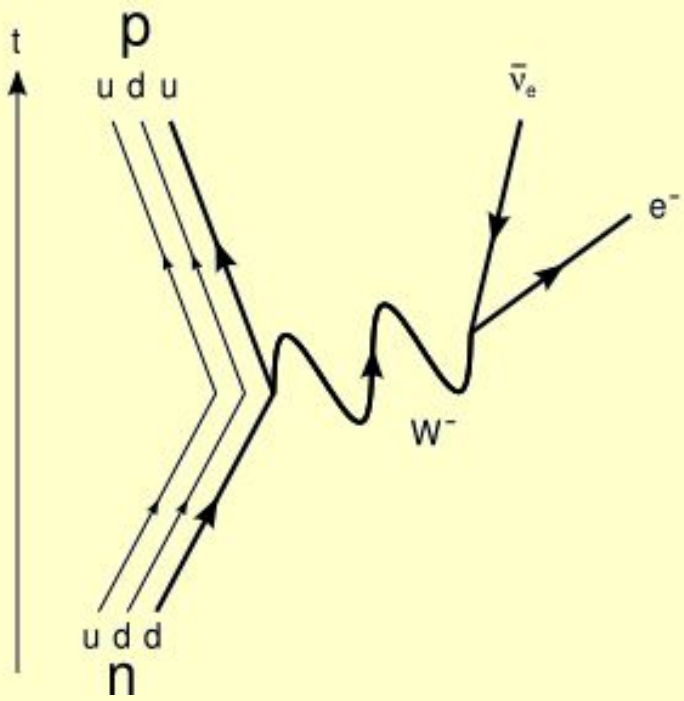
Электромагнитное взаимодействие заряженных частиц намного сильнее ($10^{36\text{-}37}$) гравитационного, и единственная причина, по которой электромагнитное взаимодействие не проявляется с большой силой на космических масштабах — электрическая нейтральность материи, то есть наличие в каждой области Вселенной с высокой степенью точности равных количеств положительных и отрицательных зарядов.

Слабое взаимодействие

Слабое взаимодействие – одно из ядерных взаимодействий. В «Стандартной Модели» оно ассоциируется с обменом тяжелыми W и Z-бозонами. Один из основных примеров взаимодействия – бета-распад нейтрона и соответствующая ему радиоактивность. Слово «слабое» соотносится с фактом, что напряженность его поля в 10^{13} раз меньше, чем у сильного взаимодействия.

Оно короткодействующее.

Поскольку масса тяжелых бозонов составляет около 90 ГэВ/c^2, радиус действия слабых сил, согласно принципу неопределенности, ограничен величиной 10^{-18} м, что примерно в 1000 раз меньше диаметра атомного ядра.



Фейнмановская диаграмма бета-распада нейтрона на протон, электрон и электронное антинейтрино посредством тяжелого W-бозона

Слабое взаимодействие (1)

Ква́рки — фундаментальные частицы — фундаментальные частицы, из которых состоят адроны — фундаментальные частицы, из которых состоят адроны, в частности, протон — фундаментальные частицы, из которых состоят адроны, в частности, протон и нейтрон — фундаментальные частицы, из которых состоят адроны, в частности, протон и нейтрон. В настоящее время известно 6 разных сортов (чаще говорят — ароматов — фундаментальные частицы, из которых состоят адроны, в частности, протон и нейтрон. В настоящее время известно 6 разных сортов (чаще говорят — ароматов) кварков, свойства которых приведены в таблице. Кроме того, для калибровочного описания — фундаментальные частицы, из которых состоят адроны, в частности, протон и нейтрон. В настоящее время известно 6 разных сортов (чаще говорят — ароматов) кварков, свойства которых приведены в таблице. Кроме того, для калибровочного описания сильного взаимодействия — фундаментальные частицы, из которых состоят адроны, в частности, протон и нейтрон. В настоящее время известно 6 разных сортов (чаще говорят — ароматов) кварков, свойства которых приведены в таблице. Кроме того, для калибровочного описания сильного взаимодействия постулируется, что кварки обладают и дополнительной внутренней характеристикой, называемой цвет.

	название		заряд	масса
Первое поколение				
d	нижний	down	−1/3	~ 4 МэВ/c^2 ~ 4 МэВ/c^2
u	верхний	up	+2/3	~ 6 МэВ/c^2 ~ 6 МэВ/c^2
Второе поколение				
s	странный	strange	−1/3	150 МэВ/c^2 150 МэВ/c^2
c	очарованный	charm	+2/3	1.5 ГэВ/c^2 1.5 ГэВ/c^2
Третье поколение				

Сильное взаимодействие

Сильные взаимодействия, одно из основных фундаментальных (элементарных) взаимодействий природы (наряду с электромагнитным, гравитационным и слабым взаимодействиями). Частицы, участвующие в сильном взаимодействие называются адронами, в отличие от *фотона* и *лептонов* (электрона и позитрона, *мюонов* и *нейтрино*), не обладающих сильным взаимодействием. К адронам относятся все *барионы* (в частности, нуклоны — нейтрон n и протон p, *гипероны*) и *мезоны* (p-мезоны, K-мезоны)

Одно из проявлений сильного взаимодействия — *ядерные силы*, связывающие нуклоны в атомных ядрах. Они имеют малый радиус действия (~10^{-13} *см*) и на этих расстояниях значительно превосходят все другие типы взаимодействий. Характерное время, за которое происходят элементарные процессы, вызываемые С. в., составляет 10^{-23}—10^{-24} *сек*.

Теория сильного взаимодействия – квантовая хромодинамика (так как для описания его было введено новое квантовое число для кварков – «цвет»).

По аналогии с электромагнитным взаимодействием, где оно переносится фотонами, сильное взаимодействие переносится между кварками глюонами.

Разновидности энергии

Выделяют следующие разновидности энергии:

- кинетическая энергия
- энергия взаимодействия тел (потенциальная)
- внутренняя энергия
- энергия связиэнергия связи и связанные с ней энергия химической реакцииэнергия связи и связанные с ней энергия химической реакции, энергия ядерной реакции
- энергия электромагнитного поля
- энергия вакуума в квантовой теории поля
- тёмная энергия и тёмная материя в космологии

Энергия вакуума в квантовой теории поля

- Под физическим вакуумомПод физическим вакуумом в современной физике понимают пространство, полностью лишённое не только всех частиц, но также и фотонов и всех прочих внешних полей. Даже если бы удалось получить это состояние на практике, он не был бы абсолютной пустотой. Квантовая теория поля (т.е. раздел физики, изучающий поведение релятивистских квантовых систем) утверждает, что, в согласии с принципом неопределённости) утверждает, что, в согласии с принципом неопределённости ($\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$) поскольку во всякой квантовой системе не могут одновременно точно равняться нулю все физические величины, в физическом вакууме постоянно рождаются и исчезают виртуальные частицы) утверждает, что, в согласии с принципом неопределённости ( ) поскольку во всякой квантовой системе не могут одновременно точно равняться нулю все физические величины, в физическом вакууме постоянно рождаются и исчезают виртуальные

Энергия вакуума в квантовой теории поля (1)

- Примеры известных эффектов в физике элементарных частиц с участием виртуальных частиц
- Спонтанная эмиссияСпонтанная эмиссия фотона в процессе распада возбужденного атома или ядра; такой распад невозможен по законам обычной квантовой физики и требует квантификации электромагнитного поля для объяснения
- Эффект КазимираЭффект Казимира, заключающийся во взаимном притяжении проводящих незаряженных тел под действием квантовых флуктуацийЭффект Казимира, заключающийся во взаимном притяжении проводящих незаряженных тел под действием квантовых флуктуаций в вакууме
- Сила Ван Дер Вальса, которая похожа на эффект Казимира, только происходит между двумя атомами
- Вакуумная поляризацияВакуумная поляризация, которая включает генерацию пары частица-античастицаВакуумная поляризация, которая включает генерацию пары частица-античастица или «распад вакуума», как, например, спонтанная генерация электрон-позитронной пары.

Темная энергия и материя в космологии

- Полученные в последнее время космологические данные требуют кардинального дополнения современных представлений о структуре материи и о фундаментальных взаимодействиях элементарных частиц. Космологические же данные свидетельствуют о существовании новых типов частиц, ещё не открытых в земных условиях и составляющих «темную материю» во Вселенной.

Свойства современной Вселенной:

- Видимая Вселенная везде одинаковая

Глубокие обзоры галактик

⇓

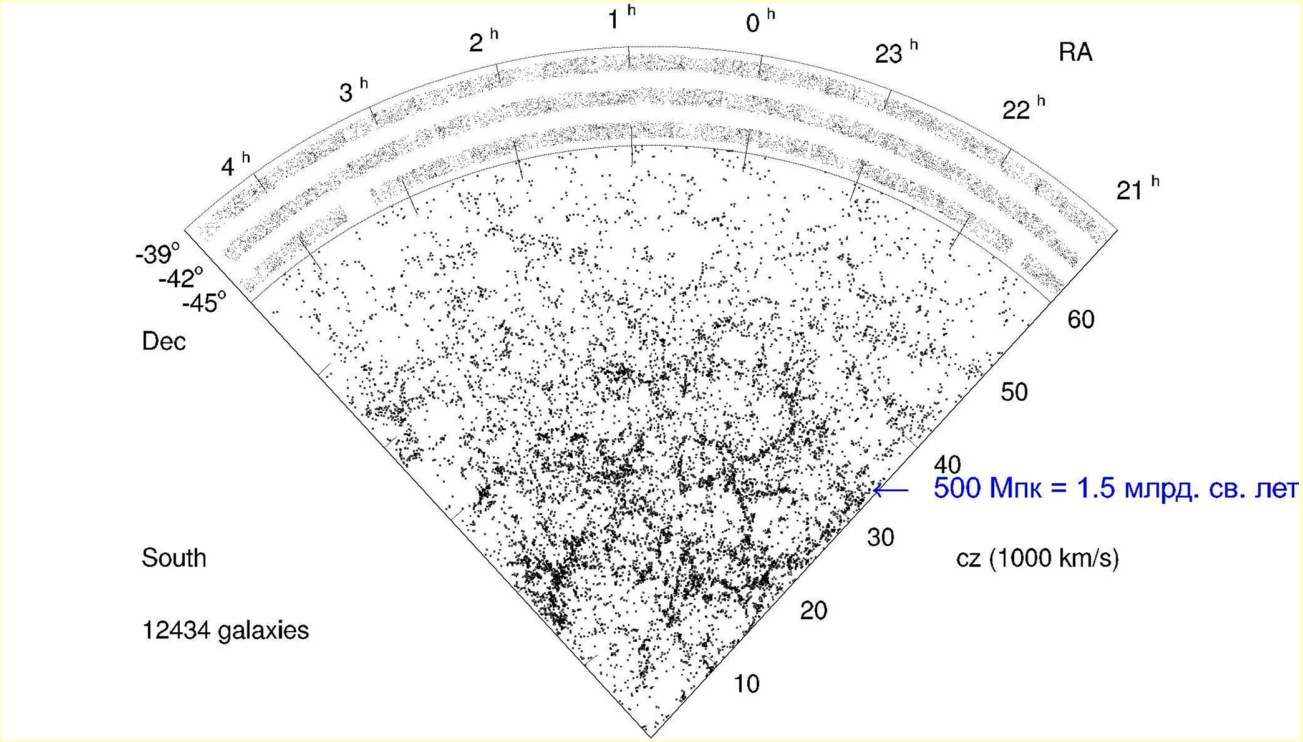
положение во Вселенной более 300 тыс. галактик, расстояния до 10 млрд. световых лет

⇓

карта видимой части Вселенной

Темная энергия и материя в космологии(2)

- Вселенная в целом **однородна**: все области во Вселенной выглядят одинаково. Разумеется, это не относится к небольшим областям: есть области, где много звезд — это галактики; есть области, где много галактик, — это скопления галактик; есть и области, где галактик мало, — это гигантские пустоты. Но области размером 300 миллионов световых лет и больше выглядят все одинаково.



Темная энергия и материя в космологии (3)

Свойства современной Вселенной:

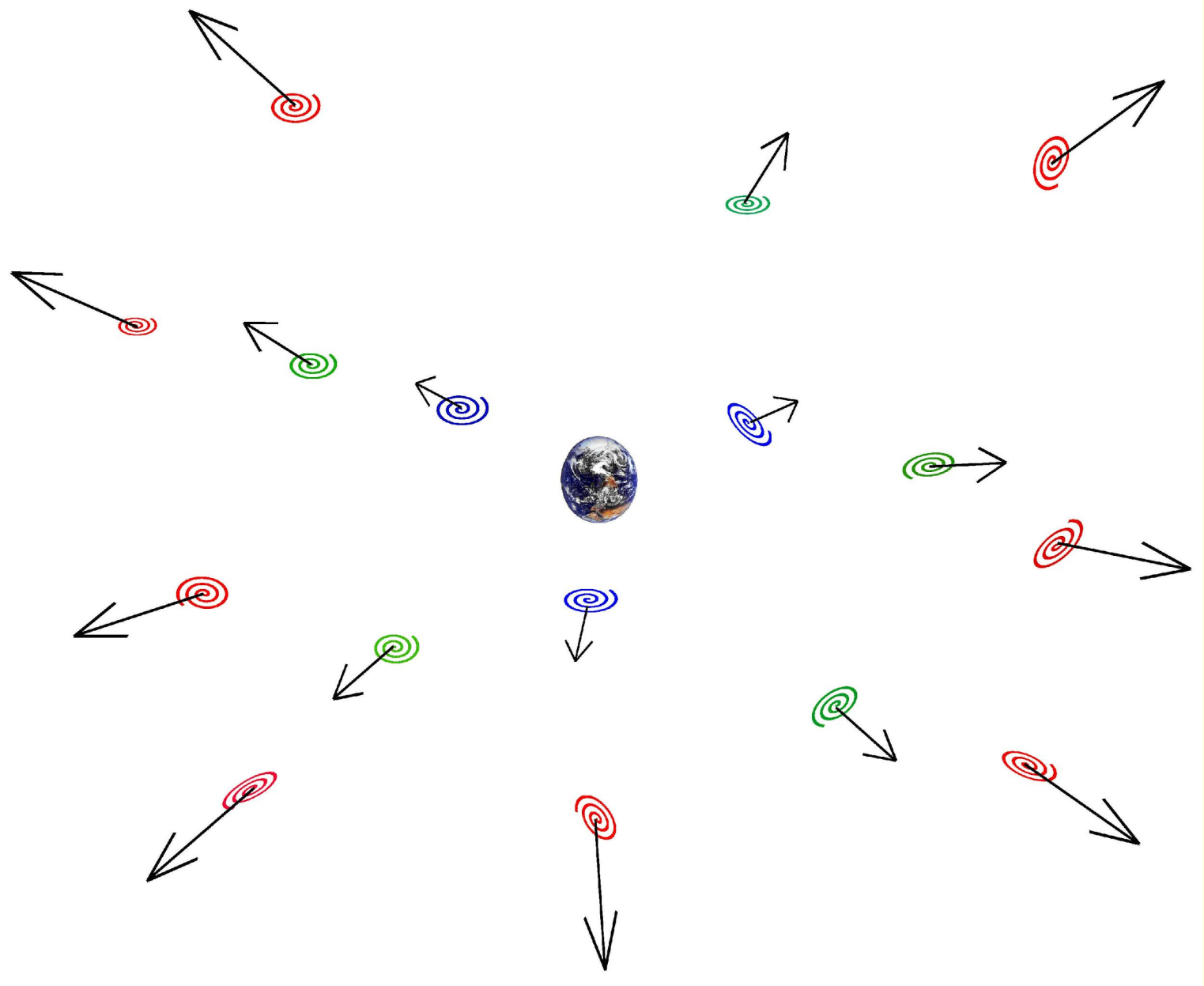
- Видимая Вселенная везде одинаковая
- Вселенная расширяется

Пространство растягивается во все стороны.

Галактики удаляются от нас; чем дальше галактика, тем быстрее она убегает (закон Хаббла – конец 1920-х).

Эффект Допплера: свет от далеких галактик приходит к нам покрасневшим

Темная энергия и материя в космологии (4)



Темная энергия и материя в космологии (5)

Свойства современной Вселенной:

- Видимая Вселенная везде одинаковая
- Вселенная расширяется
- Вселенная “теплая”

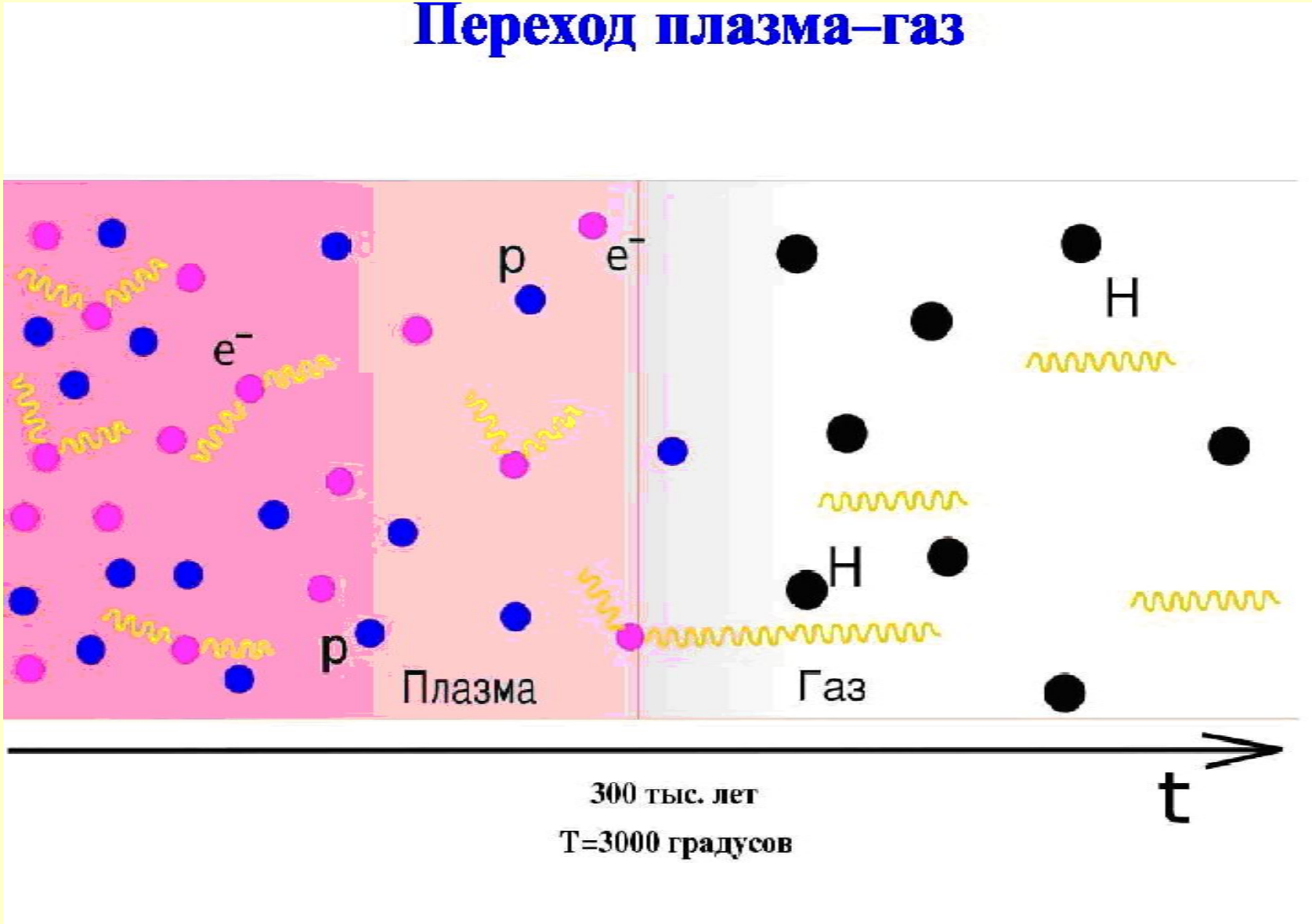
Заполнена тепловым электромагнитным излучением (Пензиас–Вильсон, 1950-е),

$T = 2.725$ градусов Кельвина

(ниже температуры жидкого гелия)

В прошлом была гораздо более горячей.
Остыла из-за расширения.

Темная энергия и материя в космологии (6)



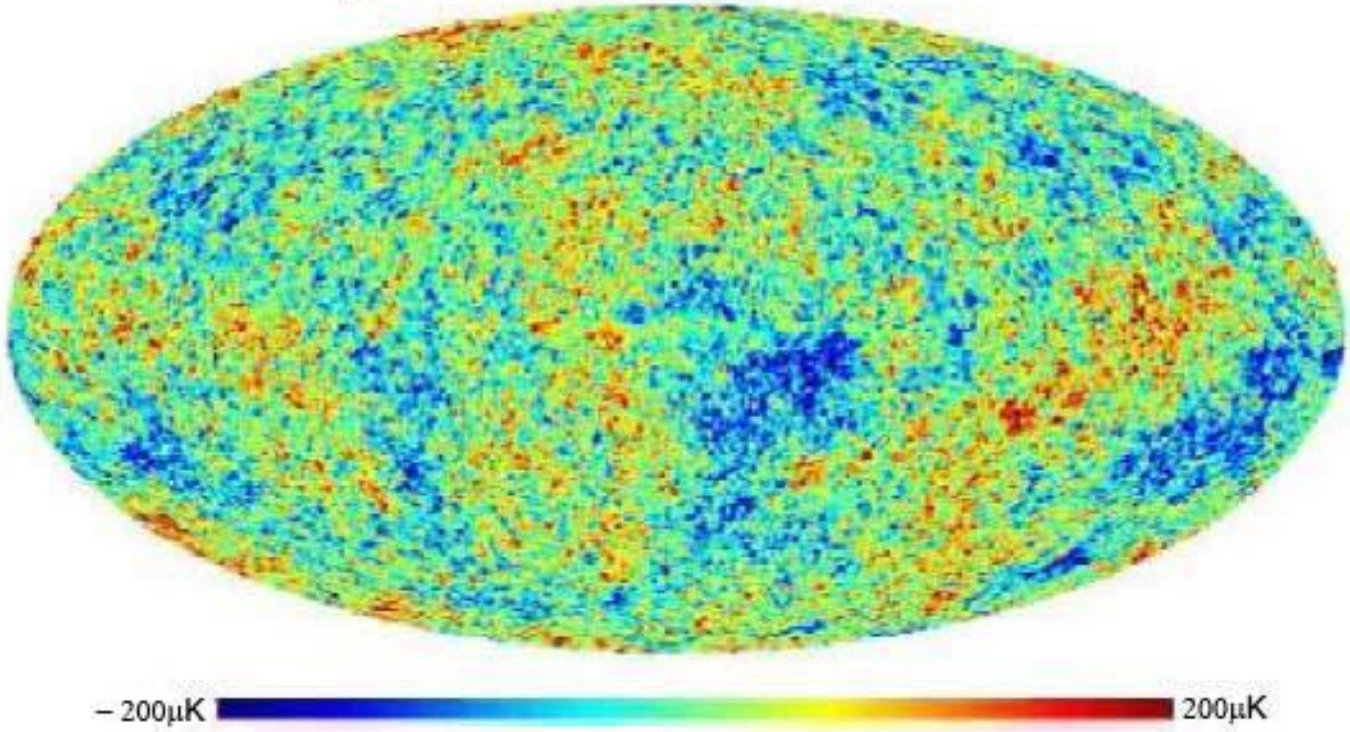
Темная энергия и материя в космологии (7)

- Измерения температуры реликтового излучения в зависимости от направлния на небе

$\Downarrow$

фотоснимок Вселенной в возрасте 300 тыс. лет (сегодня — 14 млрд. лет)

$$T = 2.725\ K, \quad \frac{\delta T}{T} \sim 10^{-5}$$



Свойства современной Вселенной:

- Видимая Вселенная везде одинаковая
- Вселенная расширяется
- Вселенная “теплая”
- Наше пространство евклидово

Сумма углов треугольника $= 180$ градусам.

Речь идет о треугольниках со сторонами
10 млрд. световых лет !

Видимая часть Вселенной – не более $1/100$ ее полного объема.

Темная энергия и материя в космологии (9)

- В случае евклидовой геометрии трехмерного пространства общая теория относительности однозначно связывает темп расширения Вселенной с суммарной **плотностью всех форм энергии**, так же как в ньютоновской теории тяготения скорость обращения Земли вокруг Солнца определяется массой Солнца. Измеренный темп расширения соответствует полной плотности энергии в современной Вселенной

Скорость расширения

+

евклидовость пространства

+

теория гравитации (общая теория относительности)

$\Downarrow$

полная плотность энергии всех форм материи

$$\varepsilon_{\text{полн}} = 5 \cdot \frac{(\text{масс протона}) \cdot c^2}{\text{м}^3}$$

Темная энергия и материя в космологии (10)

Ранняя Вселенная:

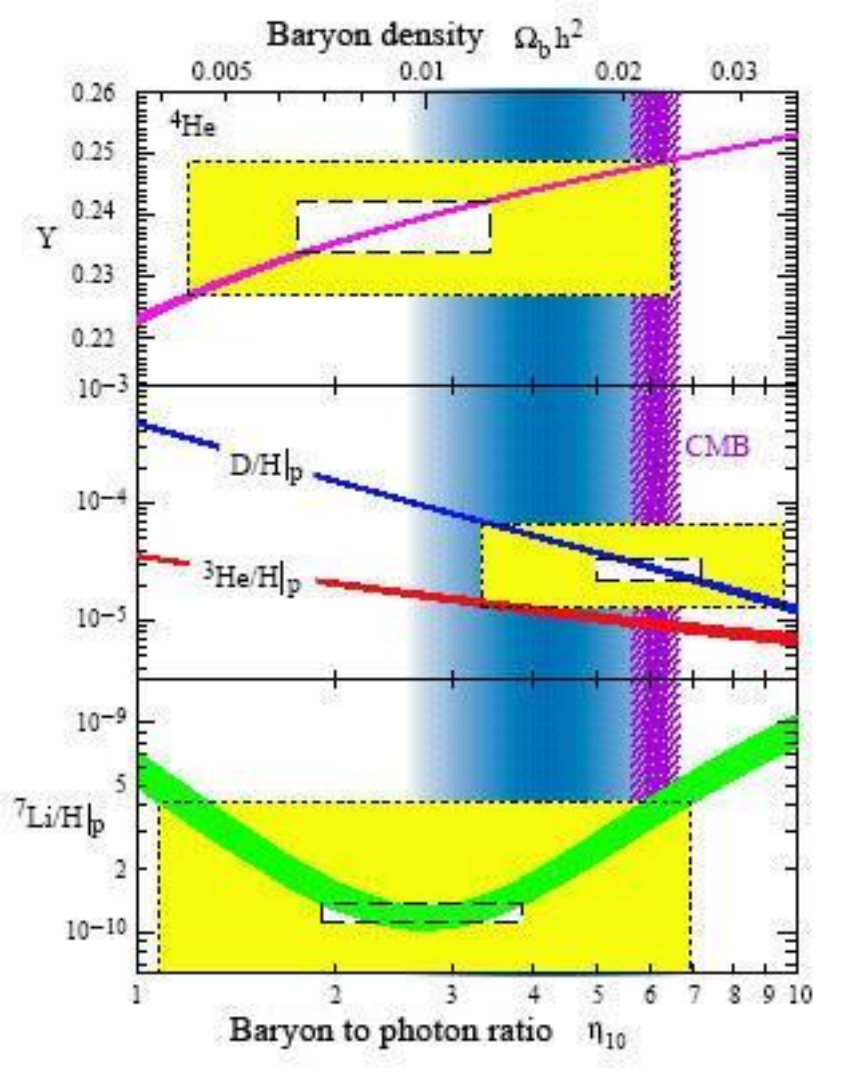
- Переход плазма–газ
  $T = 3000$ градусов,
  возраст Вселенной = 300 тыс. лет.
- Эпоха термоядерных реакций

  $T =$ миллиарды градусов
  возраст Вселенной = 1 секунда $\rightarrow$ 3 минуты (!)

$$
\begin{aligned}
p + n &\rightarrow {}^2H \\
{}^2H + p &\rightarrow {}^3He \\
{}^3He + n &\rightarrow {}^4He \\
&\ldots
\end{aligned}
\tag{1}
$$

Примеси легких элементов измерены

Темная энергия и материя в космологии (11)



- Сравнение этого расчета с наблюдаемым количеством легких элементов во Вселенной приведено на рисунке: линии представляют собой результаты теоретического расчета в зависимости от единственного параметра — плотности обычного вещества (барионов), а прямоугольники — наблюдательные данные. Замечательно, что имеется согласие для всех трех легких ядер (гелия-4, дейтерия и лития-7); Важно, что все эти данные также приводят к выводу о том, что плотность массы обычного вещества в современной Вселенной составляет

$$\varepsilon / c^2 = 0.25 \text{ масс протона} / м^3$$

Темная энергия и материя в космологии (12)

Сравнение наблюдений примеси легких элементов с теорией:

- Проверка теоретического описания ранней Вселенной через 1 секунду после Большого Взрыва
- Измерение плотности обычного вещества тогда $\Rightarrow$ сейчас

  В современной Вселенной

$$n_{\text{В}} = 0.25 \cdot \frac{\text{протонов}}{\text{м}^3}$$

$$\varepsilon_{\text{В}} = 0.25 \cdot \frac{(\text{масс протона}) \cdot c^2}{\text{м}^3}$$

$$\frac{\varepsilon_{\text{В}}}{\varepsilon_{\text{полн}}} = 0.05$$

Независимая проверка: наблюдения реликтового излучения

Темная энергия и материя в космологии (13)

- Из снимка реликтового излучения можно установить, какова была **величина** (амплитуда) **неоднородностей** температуры и плотности в ранней Вселенной — она составляла 10^{-4}–10^{-5} от средних значений. Именно из этих неоднородностей плотности возникли галактики и скопления галактик: области с более высокой плотностью притягивали к себе окружающее вещество за счет гравитационных сил, становились еще более плотными и в конечном итоге образовывали галактики.
- Поскольку начальные неоднородности плотности известны, процесс образования галактик можно рассчитать и результат сравнить с наблюдаемым распределением галактик во Вселенной.
- Эти данные приводят к выводу о том, что плотность массы обычного вещества в современной Вселенной составляет

$$\varepsilon / c^2 = 0.25 \; масс \; протона / м^3$$

- т. е. обычное вещество вкладывает всего 5% в полную плотность энергии во Вселенной.

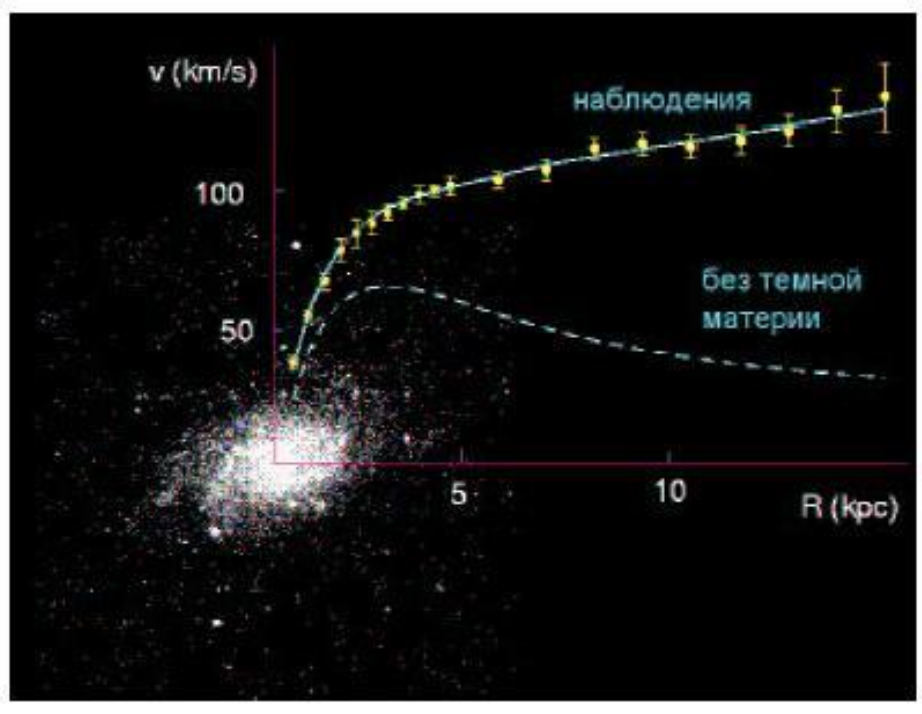
Темная энергия и материя в космологии (14)

- Темная материя сродни обычному веществу в том смысле, что она способна собираться в сгустки (размером, скажем, с галактику или скопление галактик) и участвует в гравитационных взаимодействиях так же, как обычное вещество. Скорее всего, она состоит из новых, не открытых еще в земных условиях частиц.
- Помимо космологических данных, в пользу существования темной материи служат измерения гравитационного поля в скоплениях галактик и в галактиках. Имеется несколько способов измерения гравитационного поля в скоплениях галактик, один из которых — гравитационное линзирование, проиллюстрированное на следующем рисунке.

Темная энергия и материя в космологии (15)

- Гравитационное поле скопления искривляет лучи света, испущенные галактикой, находящейся за скоплением, т. е. гравитационное поле действует как линза. При этом иногда появляются несколько образов этой удаленной галактики; на левой половине рис. они имеют голубой цвет. Искривление света зависит от распределения массы в скоплении, независимо от того, какие частицы эту массу создают. Восстановленное таким образом распределение массы показано на правой половине рис. голубым цветом; видно, что оно сильно отличается от распределения светящегося вещества. Измеренные подобным образом массы скоплений галактик согласуются с тем, что темная материя вкладывает около 25% в полную плотность энергии во Вселенной.

Темная энергия и материя в космологии (16)



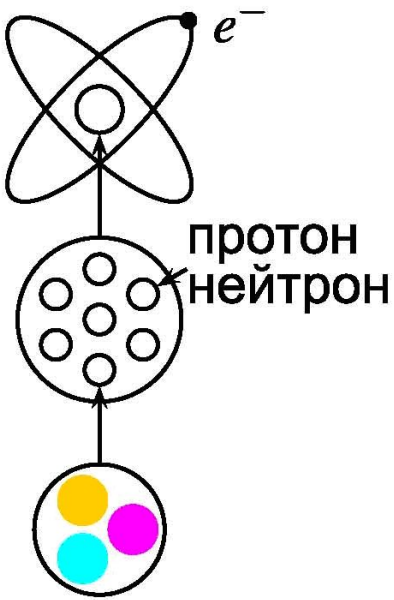
•Темная материя имеется и в галактиках. Это опять-таки следует из измерений гравитационного поля, теперь уже в галактиках и их окрестностях. Чем сильнее гравитационное поле, тем быстрее вращаются вокруг галактики звезды и облака газа, так что измерения скоростей вращения в зависимости от расстояния до центра галактики позволяют восстановить распределение массы в ней.

- Это проиллюстрировано на рисунке: по мере удаления от центра галактики скорости обращения не уменьшаются, что говорит о том, что в галактике, в том числе вдалеке от её светящейся части, имеется несветящаяся, темная материя. Измеренные подобным образом массы скоплений галактик также согласуются с тем, что темная материя вкладывает около 25% в полную плотность энергии во Вселенной.
- По таким измерениям в нашей Галактике в окрестности Солнца масса темной материи примерно равна массе обычного вещества

Темная энергия и материя в космологии(17)

Известные элементарные частицы

лептоны $\begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \tau \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$



три семейства частиц

кварки $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$

+ АНТИЧАСТИЦЫ

e^+ : позитрон, . . .

$\bar{\nu}_e$: антинейтрино, . . .

$\bar{u}$: антикварки, . . .

+ частицы, ответственные за взаимодействия

Темная энергия и материя в космологии(18)

Природа темной материи — область гипотез

Скорее всего

- темная материя = неизвестные тяжелые частицы, электрически нейтральные.
- $(1000–10^4)\ \frac{1}{м^3}$ здесь и сейчас
- Нет среди известных частиц
- Стабильные. Слабо взаимодействуют с веществом.
- Новые симметрии фундаментальных взаимодействий

Темная энергия и материя в космологии(19)

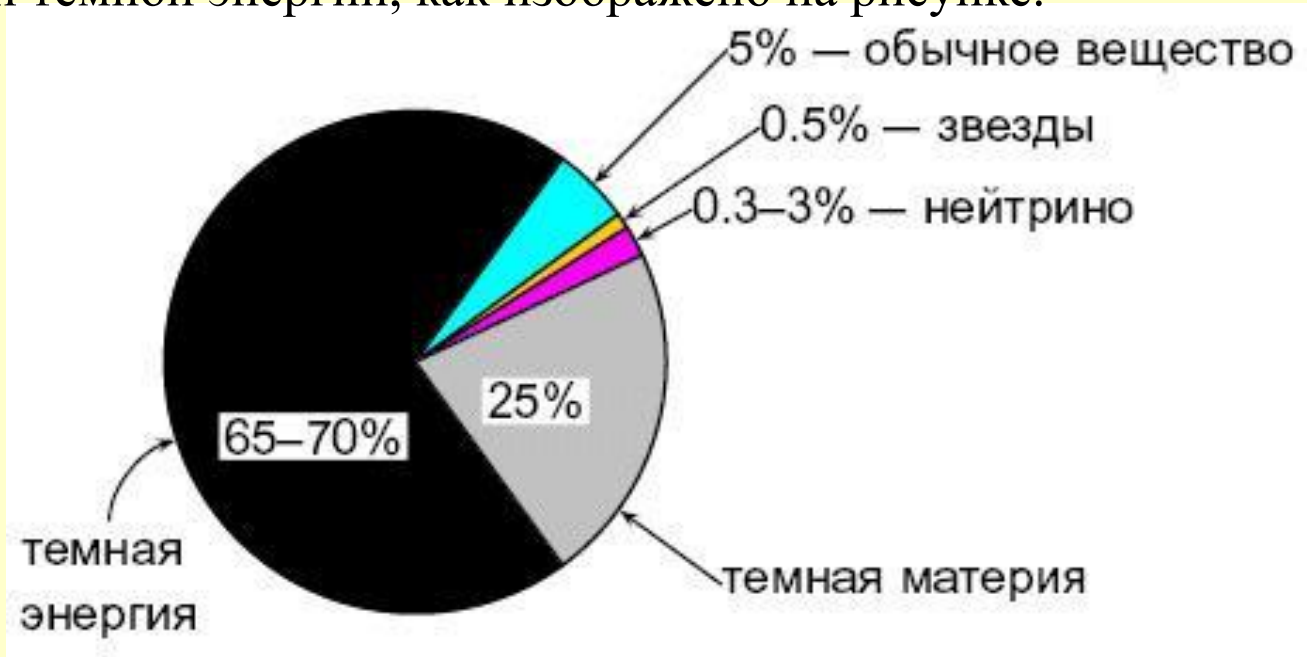
- Наиболее правдоподобная гипотеза:
  новые, пока не открытые элементарные частицы массы $m =$ 100–1000 масс протона, взаимодействующие, хотя и слабо, с обычным веществом

  Новая физика при энергиях, доступных для изучения сейчас и в недалеком будущем

- Скорее всего, частица темной материи – лишь один из членов нового семейства элементарных частиц.

Темная энергия и материя в космологии (17)

- Итак, доля обычного вещества (протонов, атомных ядер, электронов) в суммарной энергии в современной Вселенной составляет всего 5%. При этом вещества в звездах ещё в 10 раз меньше; обычное вещество находится в основном в облаках газа. Помимо обычного вещества во Вселенной имеются и реликтовые нейтрино — около 300 нейтрино всех типов в кубическом сантиметре. Их вклад в полную энергию (массу) во Вселенной невелик, поскольку массы нейтрино малы, и составляет заведомо не более 3%. Оставшиеся 90–95% полной энергии во Вселенной — «неизвестно что». Более того, это «неизвестно что» состоит из двух фракций — темной материи и темной энергии, как изображено на рисунке.



Темная энергия и материя в космологии (18)

- Темная энергия — гораздо более странная субстанция, чем темная материя. Она не собирается в сгустки, а равномерно «разлита» во Вселенной. В галактиках и скоплениях галактик её столько же, сколько вне их. Самое необычное то, что темная энергия в определенном смысле испытывает **антигравитацию**.
- Современными астрономическими методами можно не только измерить нынешний темп расширения Вселенной, но и определить, как он изменялся со временем. Астрономические наблюдения свидетельствуют о том, что сегодня (и в недалеком прошлом) Вселенная расширяется с ускорением: темп расширения растет со временем. В этом смысле и можно говорить об антигравитации: обычное гравитационное притяжение замедляло бы разбегание галактик, а в нашей Вселенной, получается, всё наоборот.
- Один из кандидатов на роль темной энергии — вакуум. Плотность энергии вакуума не изменяется при расширении Вселенной, а это и означает отрицательное давление вакуума. Изменение энергии при изменении объема определяется давлением, $\Delta E = -p\Delta V$. При расширении Вселенной энергия вакуума растет вместе с объемом (плотность энергии постоянна), что возможно, только если давление вакуума отрицательно.

Темная энергия и материя в космологии (19)

- Другой кандидат — новое сверхслабое поле, пронизывающее всю Вселенную; для него употребляют термин «квинтэссенция». Есть и другие кандидаты, но в любом случае темная энергия представляет собой что-то совершенно необычное.
- Другой путь объяснения ускоренного расширения Вселенной состоит в том, чтобы предположить, что сами законы гравитации видоизменяются на космологических расстояниях и космологических временах. Такая гипотеза далеко не безобидна: попытки обобщения общей теории относительности в этом направлении сталкиваются с серьезными трудностями.
- Как часто бывает в науке, впечатляющие успехи физики частиц и космологии поставили неожиданные и фундаментальные вопросы. Мы сегодня не знаем, что представляет собой основная часть материи во Вселенной. Мы можем только догадываться, какие явления происходят на сверхмалых расстояниях, и какие процессы происходили во Вселенной на самых ранних этапах её эволюции. **Можно надеется, что на многие из этих вопросов ответы будут найдены в обозримом будущем — в течение 10–15 лет, а может быть, и раньше. Наше время — это время кардинального изменения взгляда на природу, и главные открытия здесь еще впереди.**

Единицы измерения энергии

- Джоуль это один [Ньютон метр] = [килограмм метр^2 /секунда^2]

- Калория это 4.184 Джоулей нагреть 1 грамм воды на 1 градус Цельсия

- Btu (British thermal unit) это 1055 Джоулей (примерно 1 кДж) нагреть 1 фунт воды на 1 градус Фаренгейта

- 1 барель нефти - 42 галлона (158.988 л) = 5800000 Btu

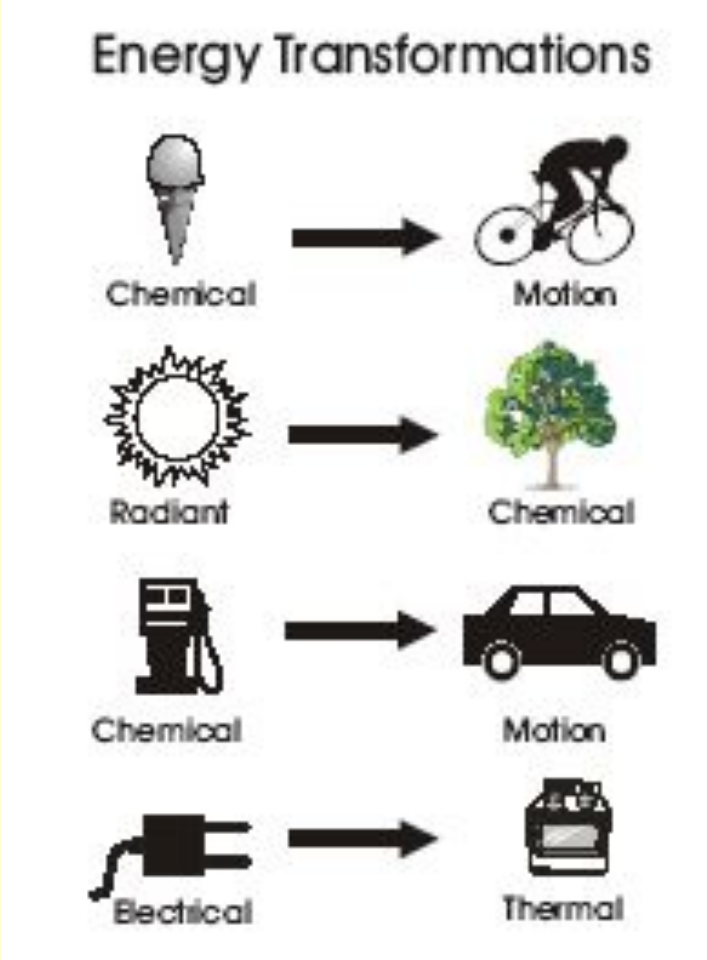
(Пересчёт прост: в среднем баррель в сутки равен 50 тоннам в год)

Трансформация форм энергии

- **Закон сохранения энергия** – энергия не исчезает, а трансформируется. Примеры на рисунке.
- **Эффективность энергии** - процент полезной энергии, которую можно взять от системы. При трансформациях потери неизбежны всегда. Пример - человек. Еда – источник энергии человеческого тела – эффективность примерно 5 процентов!
- **Вся история человечества** – это история овладения человеком источниками энергии!

Homo Sapiens ⇔ Homo Usus

Человек Разумный ⇔ Человек Потребляющий

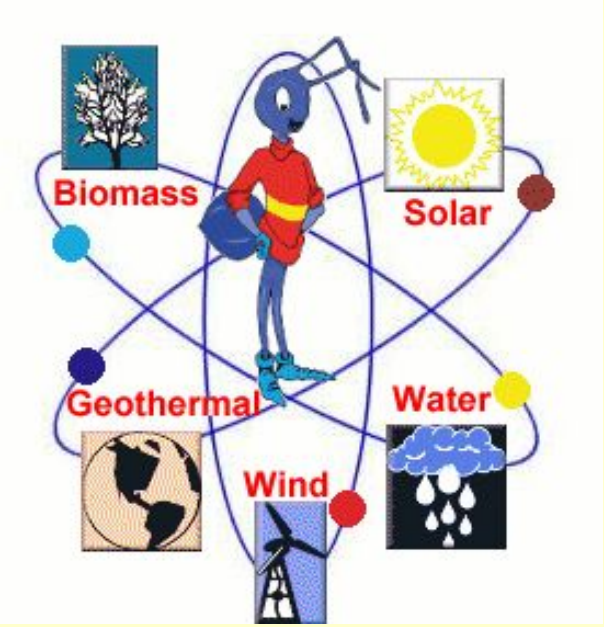


Первичные и вторичные источники энергии

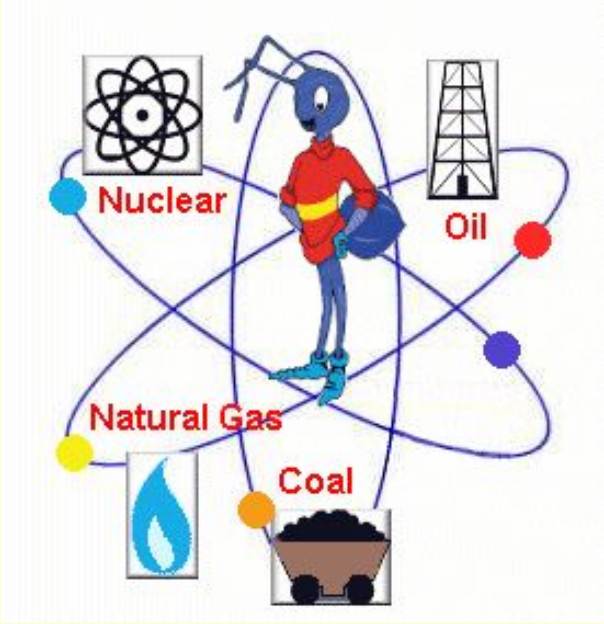
- Электричество, пар, горячая вода и др. – вторичный вид энергии, после ее преобразования из первичных источников

Первичные источники энергии

Возобновляемые



Невозобновляемые



Простейшие соотношения

1 кал = 4.18 Дж => в день человеком потребляется 9.2 МДж из химических источников.

Сравним это с некоторыми другими пунктами потребления энергии.

Приготовление чая: чайник 1 кВт, 5 мин => 300 кДж

Поездка на лифте: высота 5 этажей по 3 метра, 100 кг => 15 кДж

Работа на компьютере: 400 Вт, 8 часов => 11.5 МДж

Работа на токарном станке: 5 кВт 8 часов => 144 МДж

Поездка на троллейбусе (150 кВт) в течении получаса => 270 МДж

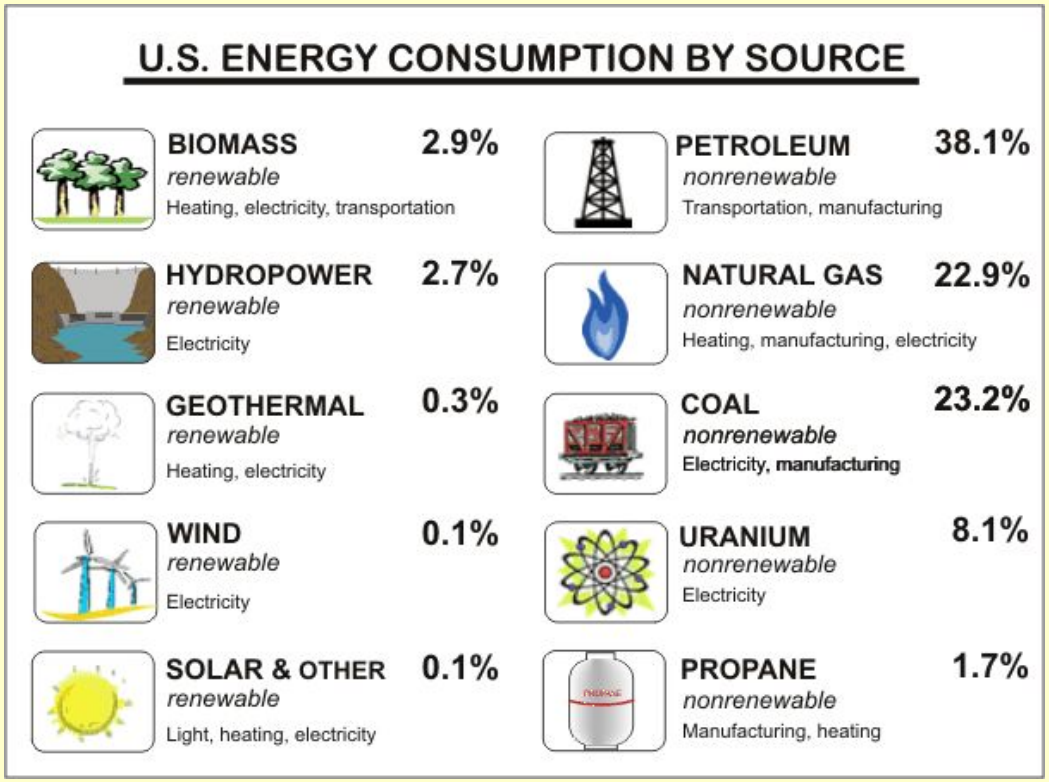
Поездка на автомобиле 20 кВт 1 час => 72 МДж

Сгорание 3 литров бензина => 99 МДж

Вывод:

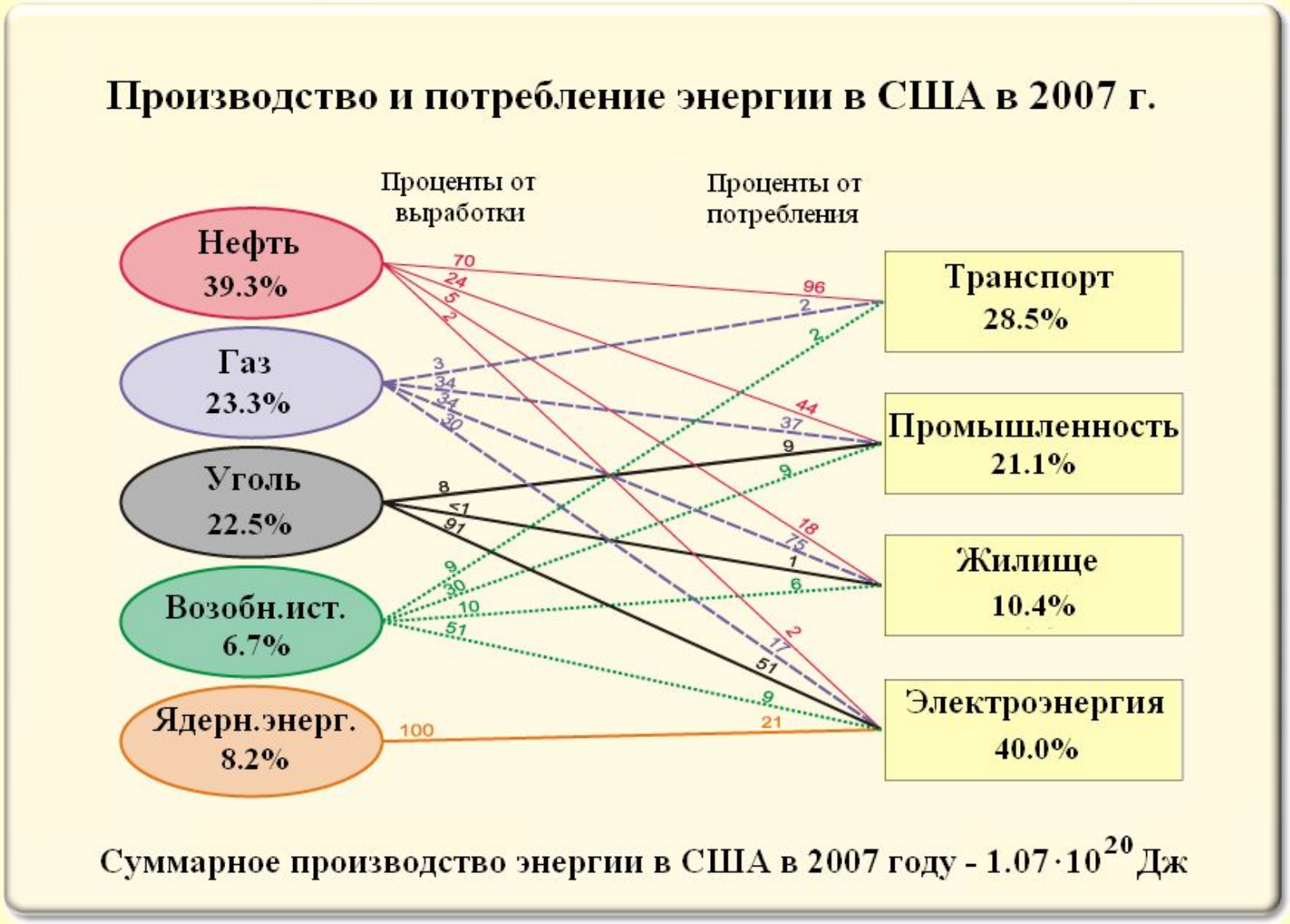
Основное потребление энергии – промышленность и транспорт.

Источники и потребители энергии (на примере США)



США (2004)

Потребление энергии в США в зависимости от источника



Кем и в каких объемах используется энергия? (1)

Мировое потребление энергии до экономического кризиса 2008 г., млн. тонн эквивалента нефти (1 т.э.н. ≈ 42 ГДж)

Страны	2003	2004	Изменение в 2004 относительно 2003	Доля в мировом потреблении
США	2298.7	2331.6	1.4%	22.8%
Западная Европа	1889.1	1917.0	1.5%	18.6%
Китай	1204.2	1386.2	15.1%	13.6%
Россия	656.9	668.6	1.8%	6.5%
Япония	504.9	514.6	1.9%	5.0%
Индия	350.4	375.8	7.20%	3.70%
Остальные	2896.6	3030.6	3.6	30.0%
Мир в целом	9800.8	10224.4	4.3%	100.0%

- Китай и Индия имеют высокие темпы развития! И почти половину населения планеты!!!
- США потребляли четверть энергии при населении 5% от населения планеты!!!

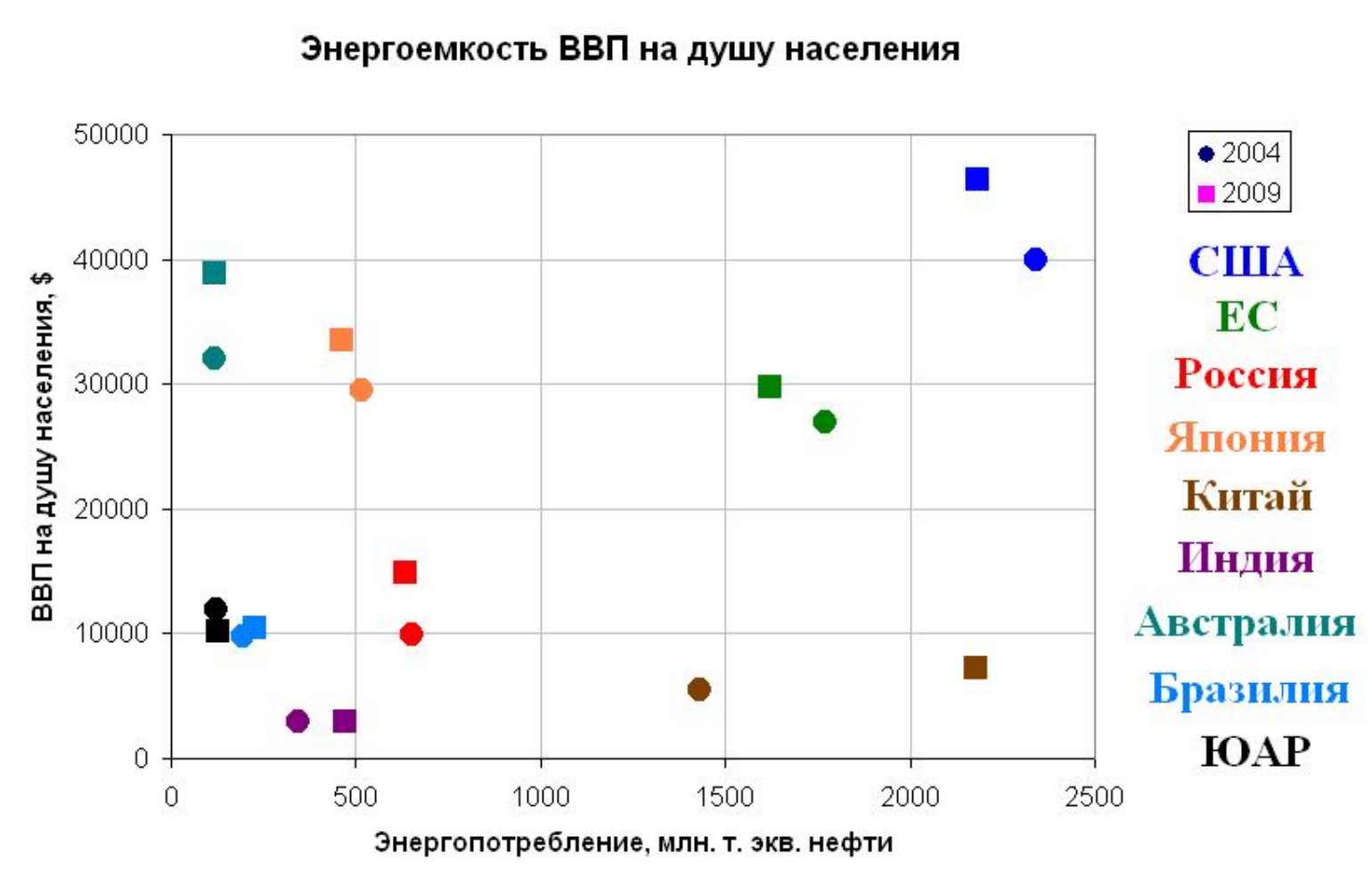
Кем и в каких объемах используется энергия? (2)

Мировое потребление энергии в условиях кризиса, млн. тонн эквивалента нефти

Страны	2007	2008	2009	Изменение в 2009 относительно 2008	Доля в мировом потреблении
США	2361.5	2302.4	2182.0	-5.0%	19.6%
Западная Европа	1739.8	1724.0	1622.6	-5.6%	14.5%
Китай	1864.4	2007.4	2177.0	8.2%	19.5%
Россия	676.3	680.9	635.3	-6.4%	5.7%
Япония	515.9	508.7	463.9	-8.6%	4.1%
Индия	411.0	441.1	468.9	6.6%	4.2%
Остальные	3555.3	3650.7	3614.6	-1.0%	32.4%
Мир в целом	11124.2	11315.2	11164.3	-1.1%	100.0%

- Китаю и Индии экономический кризис 2008 года оказался не страшен! Китай уже догнал США по абсолютному потреблению энергии!
- Кризис «помогает» развитым странам реализовать планы по экономии энергии (план ЕС – снижение энергопотребления на 20% к 2020 по сравнению с 2006 годом)

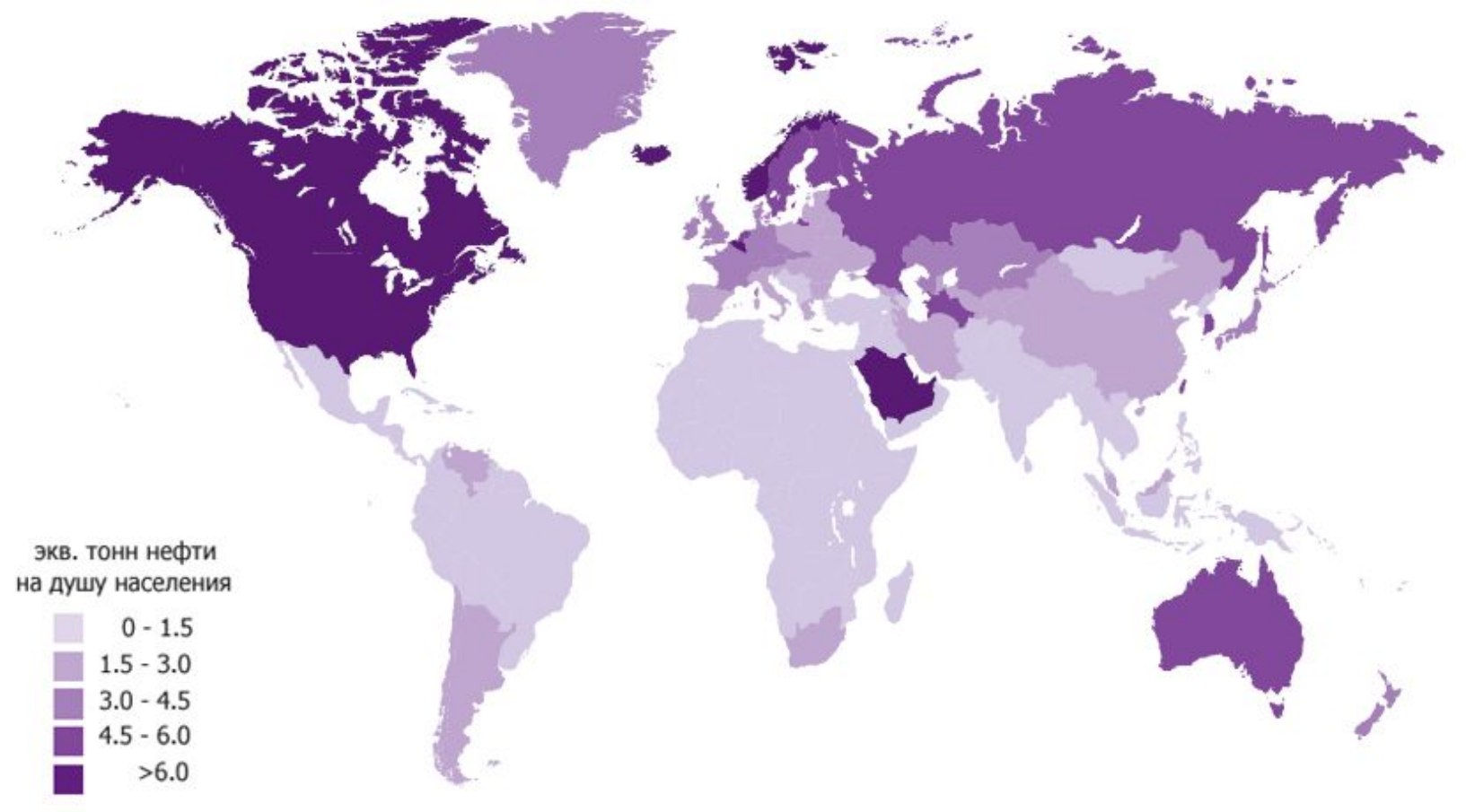
Насколько эффективно используется энергия?



- США имеют самый большой ВВП и самое большое энергопотребление
- Однако по удельной энергоемкости продукции лидируют другие страны
- По этому параметру мы близки к США и Западной Европе
- Бразилия и даже ЮАР эффективнее
- Китай и Индия имеют низкую удельную энергоемкость

География удельного потребления энергии

Потребление энергии на душу населения, 2009 г.:



- Лидируют США, Канада и некоторые страны-поставщики полезных ископаемых – Норвегия, Саудовская Аравия, Россия
- Слаборазвитые страны-поставщики – Нигерия, Ирак, Венесуэла - потребляют мало энергии на душу населения!

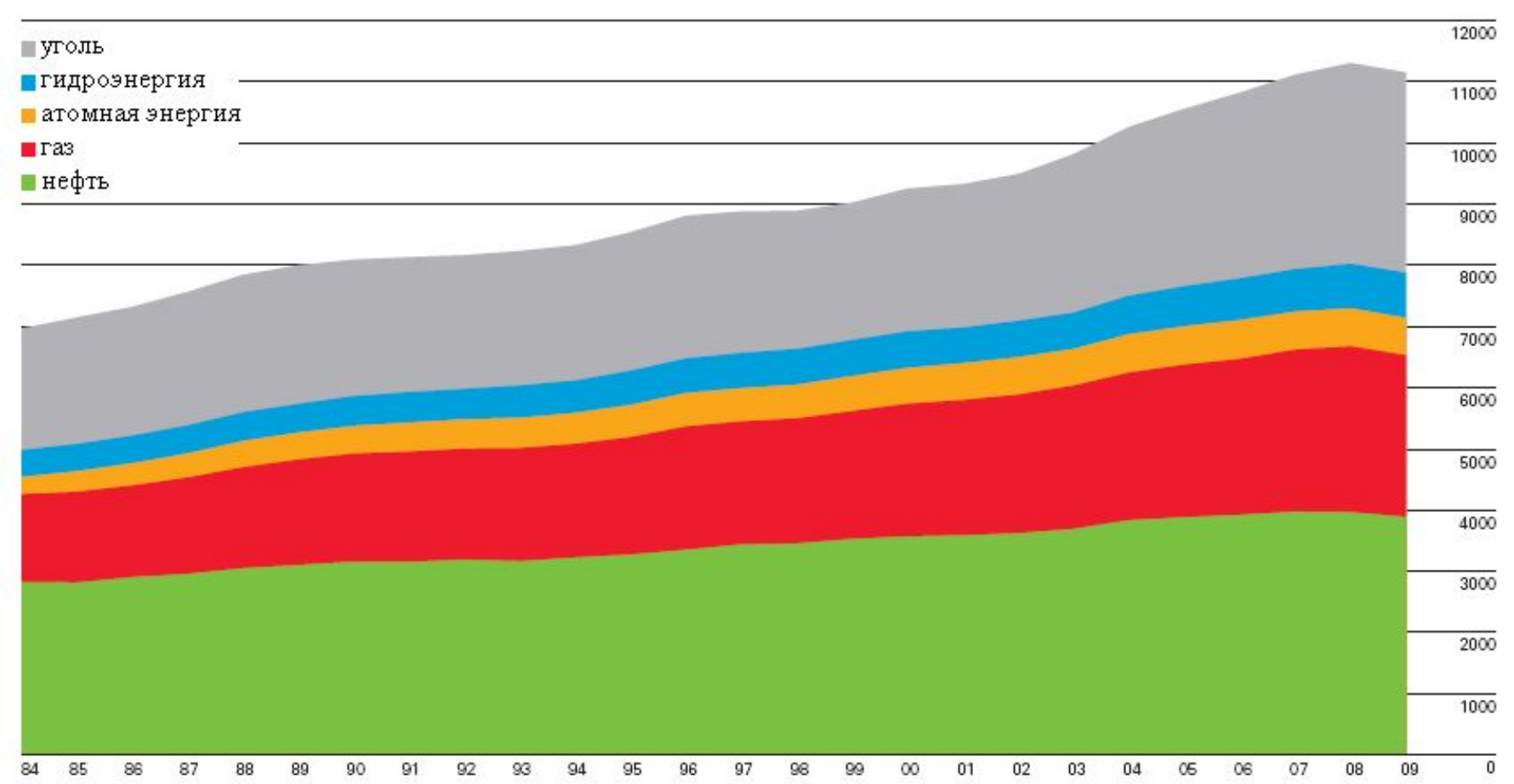
Кто и какую энергию потребляет?

Мировое потребление энергии по видам топлива в %, 2008 год:

Страны	Нефть	Природный газ	Уголь	Атомная энергия	Гидро-энергет.
США	38.5%	26.1%	24.6%	8.4%	2.5%
Западная Европа	40.7%	25.5%	17.4%	12.3%	4.1%
Япония	43.7%	16.6%	25.4%	11.2%	3.1%
Китай	18.8%	3.6%	70.2%	0.8%	6.6%
Индия	31.2%	8.6%	53.4%	0.8%	6.0%
Россия	19.0%	55.2%	14.8%	5.4%	5.5%
Канада	30.9%	27.3%	10.0%	6.4%	25.3%
Бразилия	46.2%	10.0%	6.4%	1.4%	36.1%
Мир в целом	**34.8%**	**24.1%**	**29.2%**	**5.5%**	**6.4%**

- Развитые страны США, Западная Европа и Япония имеют близкое распределение по видам топлива
- Китай, Индия потребляют много угля – проблемы экологии
- В России много запасов и потребления природного газа
- В Бразилии и Канаде хорошо поставлена гидроэнергетика

Динамика основных видов мирового потребления энергии (млн. тонн в нефтяном эквиваленте в год)



- Нефть, газ и уголь – основной источник энергии
- Гидро- и атомная энергетика по 5 %. Авария в Чернобыле сдерживает рост атомной энергетики

Некоторые общие цифры

$Q=10^{21}$ Дж. 1 кВт час=3.6 10^6 Дж

- На Землю ежегодно падает от Солнца C ≅ 3300 Q. (примерно половина отражается)
- На весь фотосинтез затрачивается 1,2 Q/год.
- Ветер, атмосферные течения 11 Q/год.
- Гидроэнергия 0,1 Q/год.
- За всю историю вплоть до XX века человечество израсходовало примерно 1 Q.
- В 1995 году 0,4 Q. Прогноз на 2020 - 0,6 Q.

Пределом годового потребления в настоящее время считается 0,1% от C ,т.е. 3,3 Q

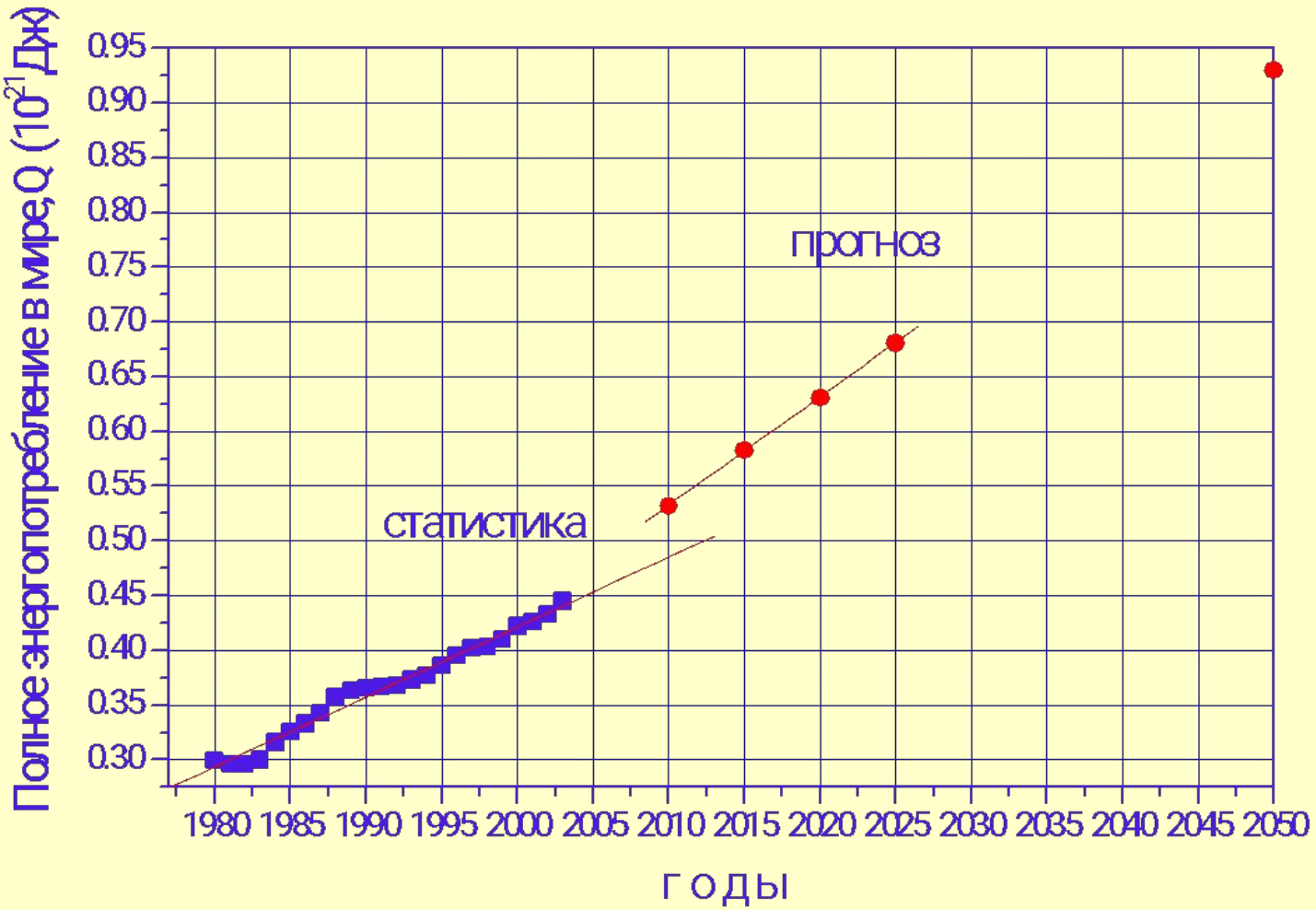
Некоторые общие цифры

- Чтобы подтянуть энерговооруженность отстающих стран до уровня выше 2 –3 кВт/чел, нужно поднять среднюю по Земле до ~6 кВт/чел.(в 2 раза меньше, чем сейчас в США)

- При 10 Млрд. населения это даст годовую потребность в 1,89 Q

Пределом годового потребления в настоящее время считается 0,1% от С ,т.е. 3,3 Q

Рост мирового энергопотребления. Источники: Energy Information Administration (EIA), International Energy Overlook 2005.



Приблизительная оценка энергоресурсов Земли. Источники: Energy Options for the Future, Meeting at US Naval Research Laboratory

Энергоноситель		Запас энергии
Нефть	$2{,}85 \times 10^{11}$ т.	~ 13.3 Q
Газ	$2\text{-}3 \times 10^{11}$ т	~ 8 Q
Уголь	9.74×10^{12} т.	297 Q
Уран и торий	$\sim 10^{8}$ т	~5000 Q
Дейтерий	2.5×10^{13} т	$\sim 1.5 \times 10^{10}$ Q

Основные экологические последствия энергетики

- Использование энергии химической связи – при сжигании топлива выделяются напрямую опасные для человека газы (например, оксиды азота); газы, создающие парниковый эффект (см. ниже); образуются зола и шлак, содержащие вредные компоненты (в т.ч. радиоактивные), использование шлака затруднено, а складирование занимает большие площади; нарушается тепловой баланс территорий, прилегающих к ТЭС; добыча топлива, особенно открытым методом, наносит вред окружающей среде.
- Использование энергии ядерной связи – добыча и переработка топлива наносит вред окружающей среде; нарушается тепловой баланс прилегающих водоемов; трудности в переработке или захоронении отработанного топлива и радиоактивных материалов; возможны опаснейшие нештатные ситуации.
- Использование потенциальной энергии (ГЭС) – затопление прилегающих территорий; нарушается водный баланс (переувлажнение местности); большое испарение с огромных площадей водохранилищ – меняется климат; теряются нерестилища рыб.

Парниковый эффект

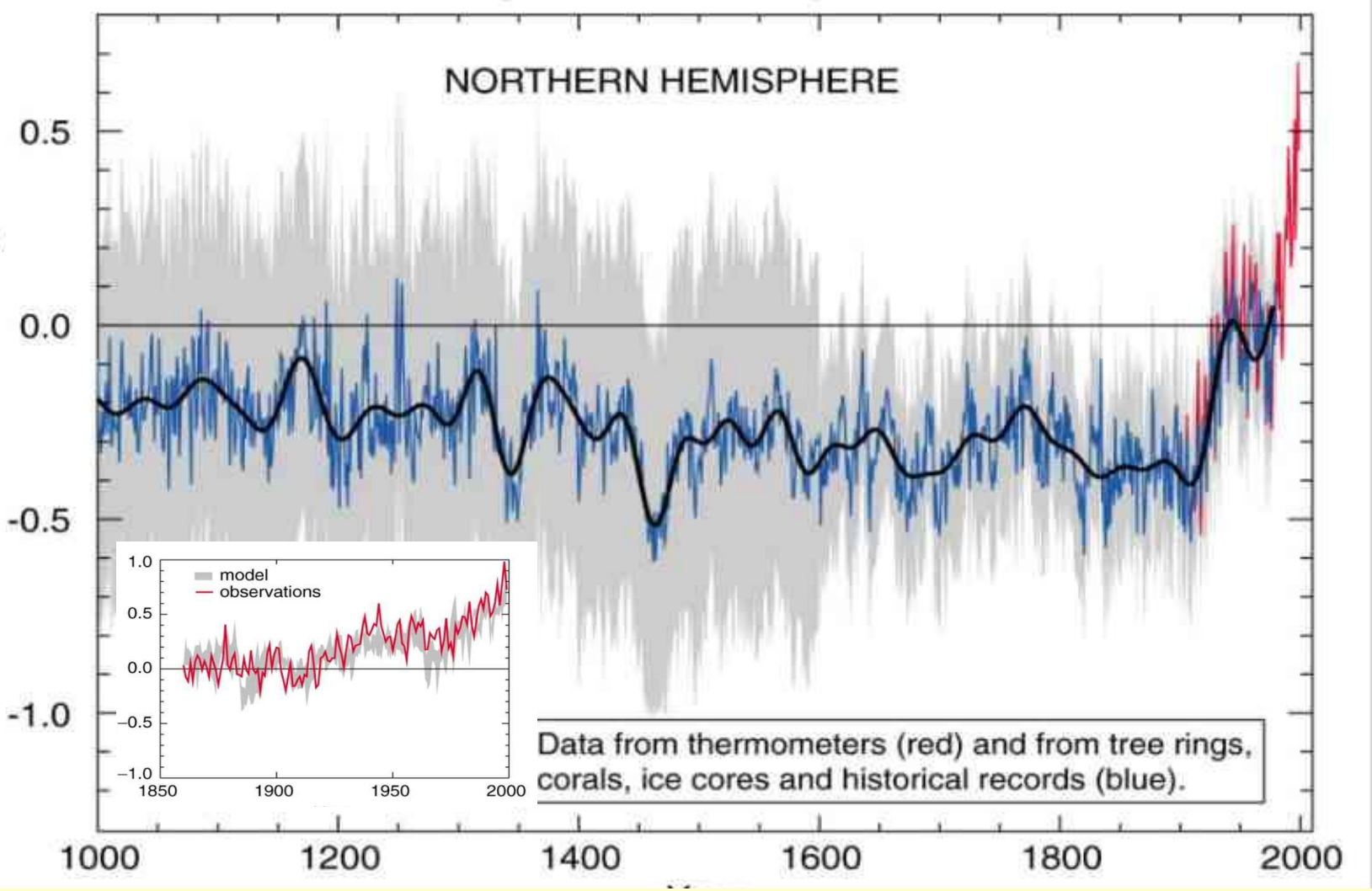
Парниковый эффект – повышение температуры нижних слоёв атмосферы по сравнению с температурой теплового излучения планеты, наблюдаемого из космоса.

Парниковый эффект атмосфер обусловлен их различной прозрачностью в видимом и дальнем инфракрасном диапазонах. На диапазон длин волн 400—1500 нм (видимый свет и ближний инфракрасный диапазон) приходится 75 % энергии солнечного излучения, большинство газов не поглощают в этом диапазоне. Солнечный свет поглощается поверхностью планеты и её атмосферой (особенно излучение в ближней УФ- и ИК-областях) и разогревает их. Нагретая поверхность планеты и атмосфера излучают в дальнем инфракрасном диапазоне.

Атмосфера, содержащая газы, поглощающие в этой области спектра (т. н. парниковые газы — H_2O, CO_2, CH_4 и пр.) существенно непрозрачна для такого излучения, направленного от её поверхности в космическое пространство. Вследствие такой непрозрачности атмосфера становится хорошим теплоизолятором, что, в свою очередь, приводит к тому, что переизлучение поглощённой солнечной энергии в космическое пространство происходит в верхних холодных слоях атмосферы. В результате эффективная температура Земли как излучателя оказывается более низкой, чем температура её поверхности.

Исходя из того, что «естественный» парниковый эффект - это устоявшийся, сбалансированный процесс, увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере должно привести к глобальному потеплению климата.

Парниковый эффект(1)



Изменение температуры земной поверхности за тысячелетие. Данные по Северному полушарию. Красным цветом представлены прямые измерения термометрами, серым – по годичным кольцам деревьев, синим – по ледовым пробам и историческим записям.

Киотский протокол

Киотский протокол — международный документ, принятый в Киото в декабре 1997 года в дополнение к Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

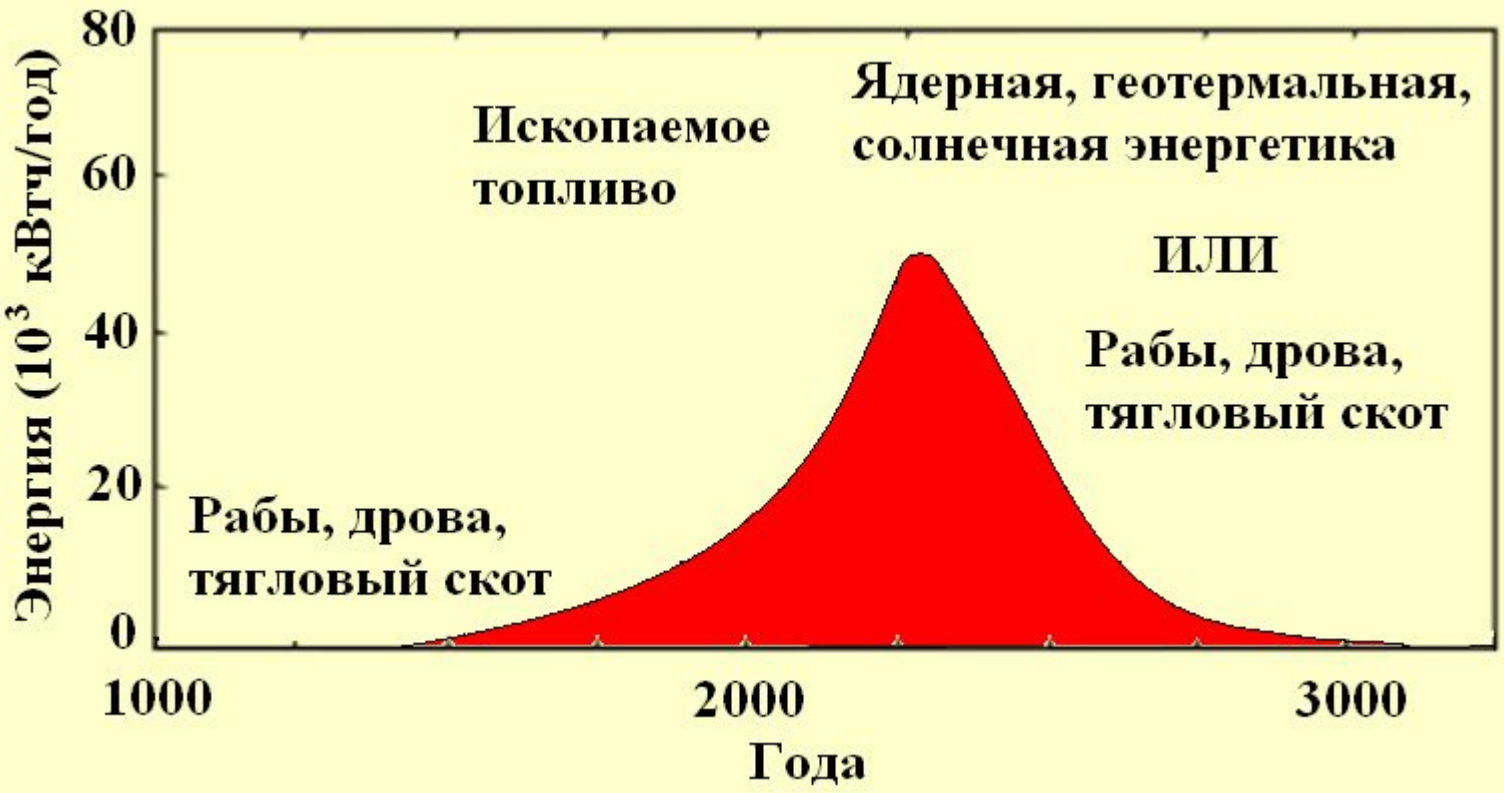
По состоянию на 2006 год Протокол был ратифицирован 161 страной мира (совокупно ответственными за ~61 % общемировых выбросов). Исключения – США, Австралия.

В соответствии с ним, к 2012 году планируется снизить выброс шести типов газов, вызывающих парниковый эффект, на 5,2 процента по сравнению с уровнем 1990 года. Наибольший объем этих промышленных газов приходится как раз на долю США и Австралии.

Киотский протокол стал первым глобальным соглашением об охране окружающей среды, основанным на рыночных механизмах регулирования — механизме международной торговли квотами на выбросы парниковых газов.

Ряд стран взял на себя дополнительные обязательства по снижению выбросов в 2008-2012 годах: ЕС должен сократить выбросы на 8 %, Япония и Канада — на 6 %, Россия и Украина — сохранить среднегодовые выбросы в 2008—2012 годах на уровне 1990 года. Развивающиеся страны, включая Китай и Индию, доп. обязательств на себя не брали.

Механизм Киотского протокола на территории России пока реально не начал действовать.

В целом ужесточение контроля на руку индустриальным странам, так как это будет сдерживать экономическое развитие развивающихся стран.

Энергетические и социальные альтернативы!