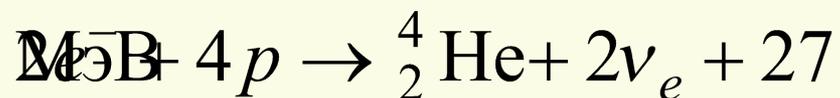
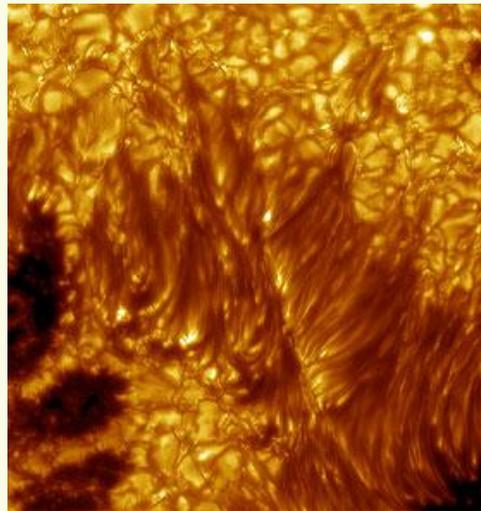
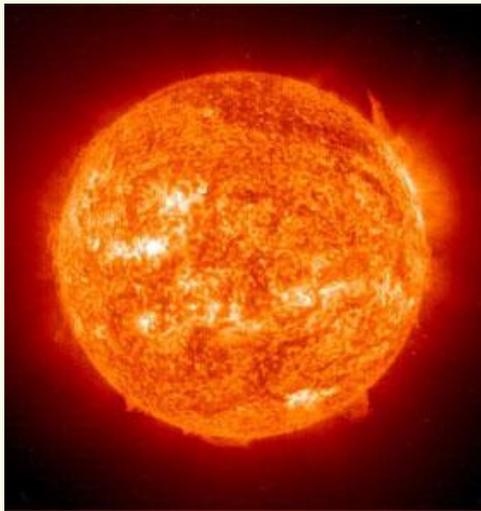


Современная физика *Лекция 10*

***обзор достижений
и актуальных проблем***

§§ Управляемый ядерный синтез

Ядерные реакции между легкими ядрами, протекающие при очень высоких температурах ($\geq 10^7 - 10^8$ К), называются **термоядерными**.



Энергия частиц должна быть высокой (0,13–2 МэВ), чтобы ядра смогли преодолеть кулоновское отталкивание.

Пример: p+p: $E_k \sim 200 \text{ МэВ}$ ($T \sim 10^{12} \text{ К}$)

Термоядерные реакции являются основным источником энергии Солнца и звёзд. Т.к. температура ядра Солнца $10^7\text{--}10^8 \text{ К}$ ($E_k \sim 1\text{--}10 \text{ кэВ}$), то это – глубоко **подбарьерное** прохождение.

Т.к. 1 м^3 воды содержит 110 кг водорода и 33 г трития, то с ТР связывают надежду **решения энергетических проблем**

Примеры ТЯ реакций

1.	$p + p \rightarrow d + e^+ + \nu$	$\Delta E = 2,2 \text{ eV}$	$E_k = 0,2 \text{ eV}$
2.	$p + d \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$	5,5	–
3.	$p + t \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$	19,7	–
4.	$d + d \rightarrow t + p$	4,0	2,0
5.	$d + d \rightarrow {}^3\text{He} + n$	3,3	1,0
6.	$d + d \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$	24,0	–
7.	$d + t \rightarrow {}^4\text{He} + n$	17,6	0,13
8.	$t + d \rightarrow {}^4\text{He} + n$	17,6	0,195
9.	$t + t \rightarrow {}^4\text{He} + 2n$	11,3	1,0
10.	$d + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + p$	18,4	0,47
11.	${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$	12,8	–
12.	$n + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{H} + t$	4,8	0,26
13.	$p + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{He}$	4,0	0,3
14.	$p + {}^7\text{Li} \rightarrow 2{}^4\text{He} + \gamma$	17,3	0,44
15.	$d + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Li} + p$	5,0	1,0
16.	$d + {}^6\text{Li} \rightarrow 2{}^4\text{He}$	22,4	0,60
17.	$d + {}^7\text{Li} \rightarrow 2{}^4\text{He} + n$	15,0	0,2
18.	$p + {}^9\text{Be} \rightarrow 2{}^4\text{He} + d$	0,56	0,33
19.	$p + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^6\text{Li} + {}^4\text{He}$	2,1	0,33
20.	$p + {}^{11}\text{B} \rightarrow 3{}^4\text{He}$	8,7	0,675
21.	$p + {}^{15}\text{N} \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^4\text{He}$	5,0	1,2

p – протон, d – дейтрон (ядро дейтерия ${}^2\text{H}$), t – тритон (ядро трития ${}^3\text{H}$),
 n – нейтрон, e^+ – позитрон, ν – нейтрино

Преимущества:

- 1) неисчерпаемые запасы топлива (H)
- 2) отсутствие продуктов сгорания и невозможность неуправляемой реакции.
- 3) возможность установки реактора «где угодно».
- 4) можно использовать в космосе (т.к. водород есть везде)

§§ Сверхпроводимость

Заключается в переходе вещества в состояние, при котором сопротивление постоянному току полностью отсутствует при охлаждении ниже определенной для данного вещества температуры.

Открыто в 1911 г. Г.Камерлинг-Оннесом
Hg ($T_c = 4,15 \text{ K}$)

Свинец	7,2 К	Алюминий	1,2 К
Тантал	4,5 К	Цинк	0,88 К
Олово	3,7 К	Вольфрам	0,012 К

до 1986, Nb_3Ge , $T_c \approx 23 \text{ K}$

1986-87, вещества с $T_c < 35\text{--}125 \text{ K}$

Сверхпроводники делят на

1) классические ($T_c < 30 \text{ K}$)

2) высокотемпературные ($T_c \sim 100 \text{ K}$)

У металлооксидных (металлокерамика)

ВТСП T_c достигает $120\text{--}125 \text{ K}$

У купратов $T_c \approx 135 \text{ K}$ ($\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$)

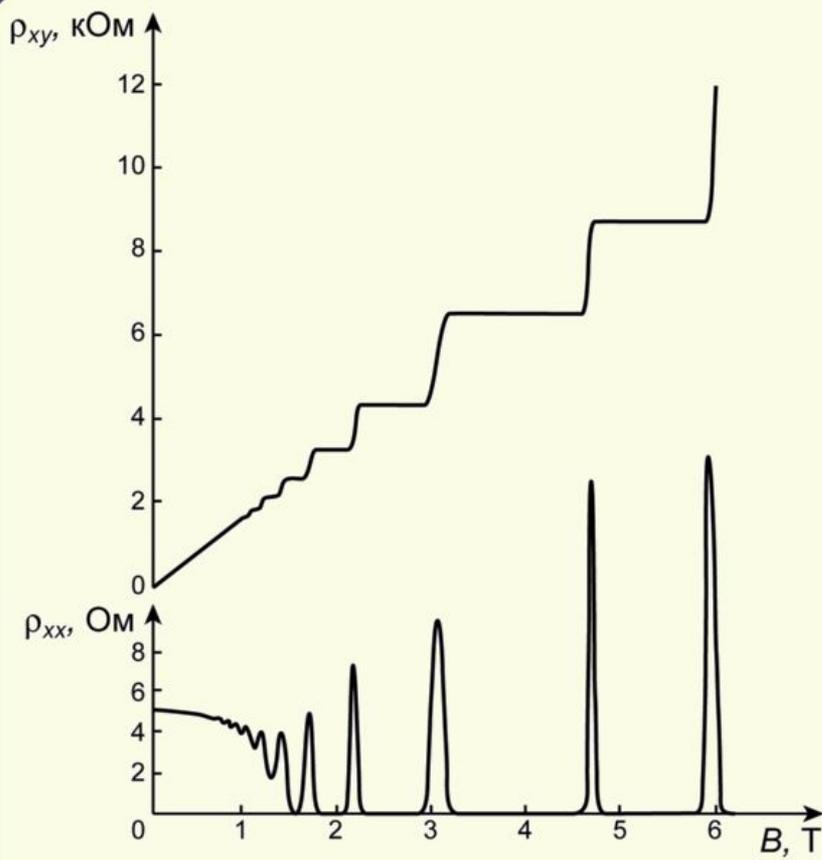
Цель исследований:

Нахождение **комнатотемпературных**
сверхпроводников (КТСП) с $T_c \sim 323 \text{ K}$

§§ Другие проблемы ФТТ

1) Квантовый эффект Холла (1980 г.)
квантование холловского
сопротивления или проводимости
вырожденного двумерного
электронного газа в сильных
магнитных полях и при низких
температурах.

В 1982 был открыт **дробный** квантовый эффект Холла, в котором фактор заполнения меньше единицы.



На зависимости $\rho(B)$ наблюдаются участки с неизменным поперечным сопротивлением («плато»).

Значения квантованного сопротивления не зависят от качества образца и его материала. С 1990 года калибровки сопротивлений основаны на КЭХ.

2) Гетероструктуры и квантовые точки

Это слоистые структуры из полупроводников с различной шириной запрещенной зоны.

Можно конструировать нужный потенциальный профиль зоны проводимости и валентной зоны.

Используются для производства:

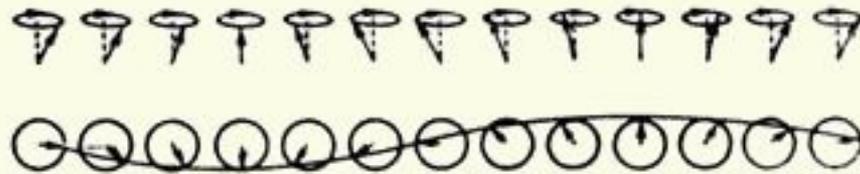
- 1) солнечных батарей;
- 2) источников и приемников света;
- 3) микроэлектроники и т.д.

3) Волны зарядовой и спиновой плотности

Волны спиновой плотности – это термодинамически равновесное состояние вещества, которое характеризуется пространственно неоднородным периодическим распределением плотности магнитного момента

Можно рассматривать как одно из проявлений антиферромагнетизма.

Спиновые волны – волны нарушений магнитной упорядоченности в ферро-, антиферро- и ферримагнетиках.



Это элементарное возбуждение магнитной системы в магнитоупорядоченной среде.

Спинтроника – раздел квантовой электроники, занимающийся изучением спинового токопереноса.

Применение

- 1) твердотельные аккумуляторы без химических реакций, переводящие электрическую энергию в постоянное магнитное поле и обратно.
- 2) электронные компоненты (трековая память, спиновые транзисторы, логические схемы)

4) Фазовые переходы II-го рода

Фазовый переход (превращение) –

Переход между различными макроскопическими состояниями (фазами) многочастичной системы при определённых значениях внешних параметров (T, P, E, H и т.п.)

Ф.п. II-го рода происходят непрерывным образом, но сопровождаются аномальным возрастанием флуктуационных явлений.

Примеры:

- 1) т. Кюри ферромагнетика или сегнетоэлектрика
- 2) переход ^3He и ^4He в сверхтекучее состояние
- 3) переходы в сверхпроводящее состояние металлов при нулевом магнитном поле
- 4) критические точки системы «жидкость-пар» и аналогичные им критические точки растворов

5) Кластеры

Кластер – система из большого числа слабо связанных атомов

Занимают промежуточное положение между ван-дер-ваальсовскими молекулами, содержащими несколько атомов, и мелкодисперсными частицами.

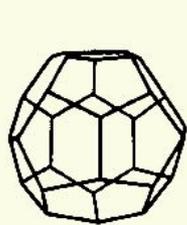
Эффективно образуются

- 1) в пересыщенном паре;
- 2) при истечении газа из сопла.

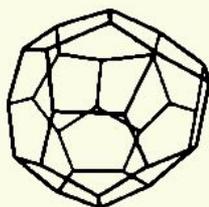
Они существуют в жидкости, образуются при конденсации и кристаллизации.

6) Фуллерены и нанотрубки

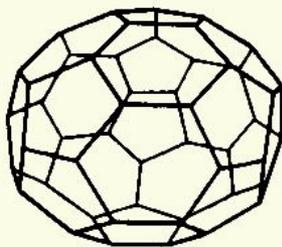
Фуллерены – аллотропные молекулярные формы углерода, в которых атомы расположены в вершинах правильных 5-ти и 6-ти угольников, покрывающих поверхность сферы или сфероида.



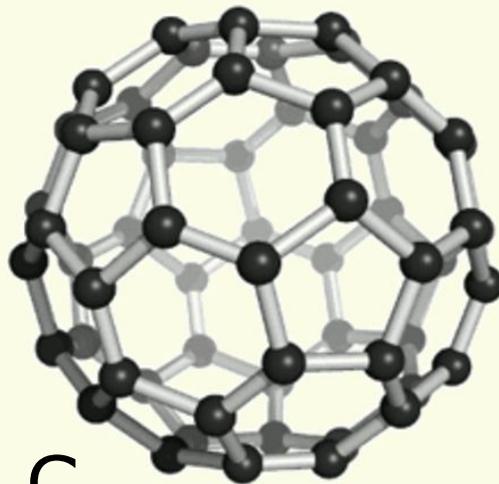
C₂₈



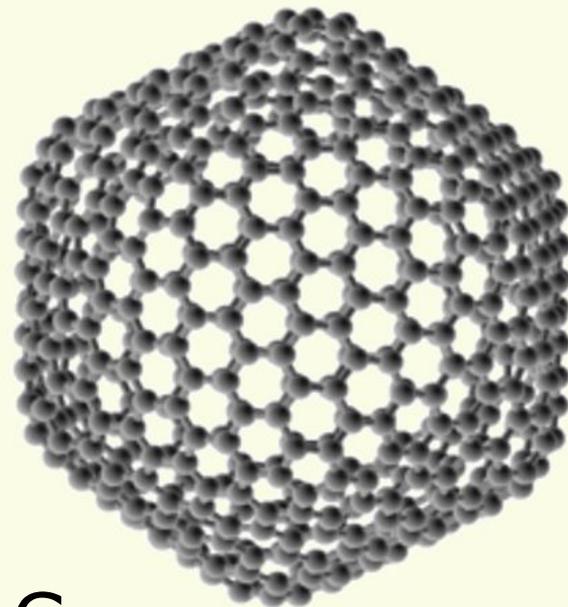
C₃₂



C₅₀

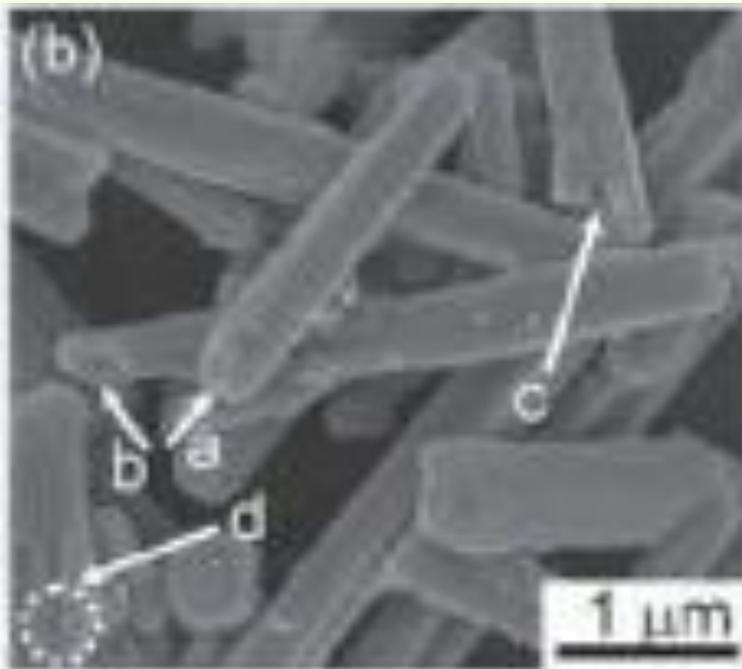
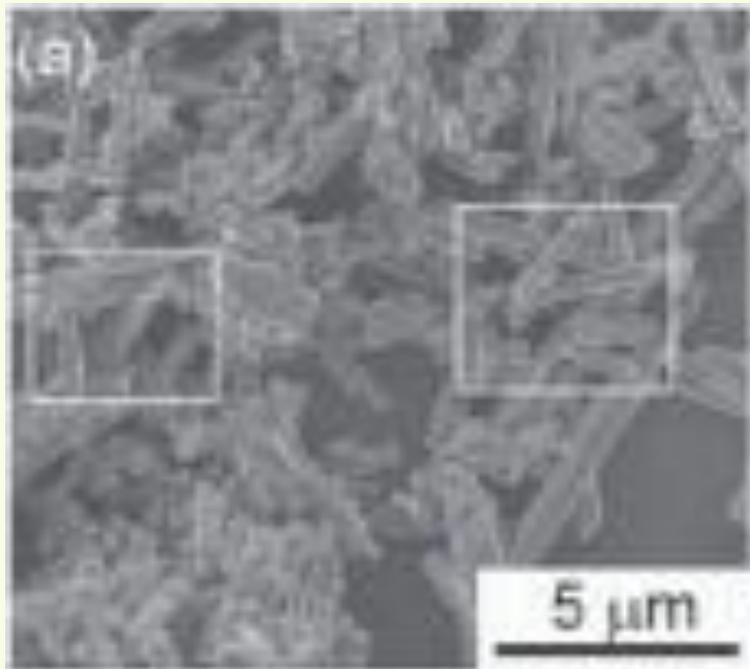
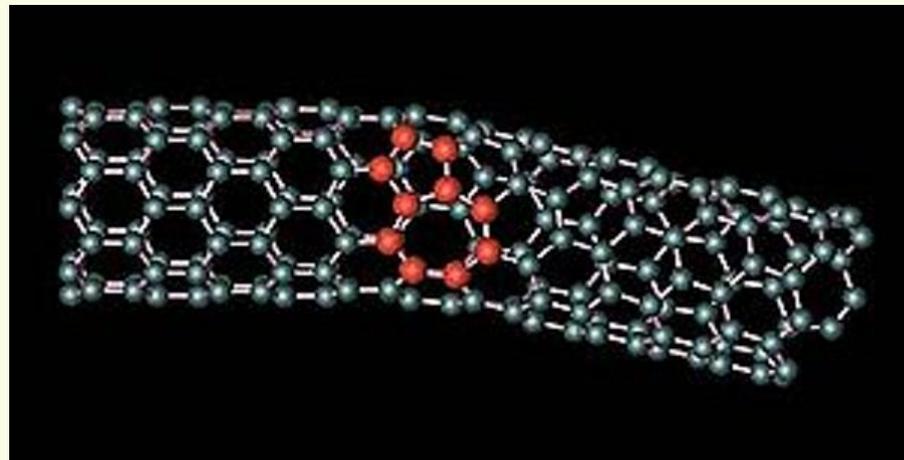


C₆₀



C₅₄₀

Также образуются **тубулены**, построенные на основе шестиугольных углеродных колец, характерных для графита.



Применение

- а) фторированные фуллерены могут стать основой для идеального твёрдого смазочного материала
- б) фуллереновые покрытия могут применяться как катализаторы при напылении искусственных алмазов
- в) нелинейные оптические свойства позволяют использовать их как основу оптических затворов и элементов оптических цифровых процессоров

г) свойство фотопроводимости
позволяет изготавливать датчики
оптического излучения слабой
интенсивности

д) сверхпроводники

$\text{Na}_2\text{CsC}_{60}$	$T_c \approx 12 \text{ K}$
$\text{RbCs}_2\text{C}_{60}$	$T_c \approx 30 \text{ K}$
$\text{Rb}_2\text{CsC}_{60}$	$T_c \approx 96 \text{ K}$

е) внедрение атомов позволяет
создавать соединения нового класса

ж) создание сверхпрочных нитей и
КОМПОЗИТОВ

6) Экзотические вещества

а) Металлический водород

При обычных условиях H_2 – бесцветный газ.

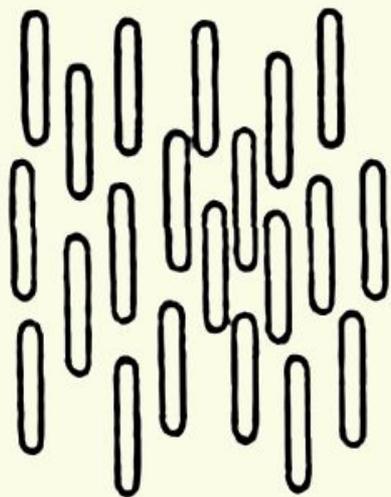
$$t_{\text{кип}} = -252,77 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (20 K)},$$

$$t_{\text{пл}} = -259,19 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (14 K)}.$$

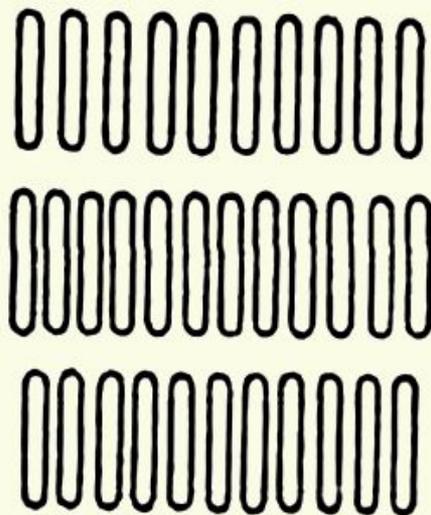
При комнатной температуре и давлении 5,7 ГПа водород образует молекулярный кристалл. При сверхвысоких давлениях становится одноатомным кристаллом, обладающим металлическими свойствами

Сверхпроводник: $P \sim 450$ ГПа, $T_c \sim 242$ К

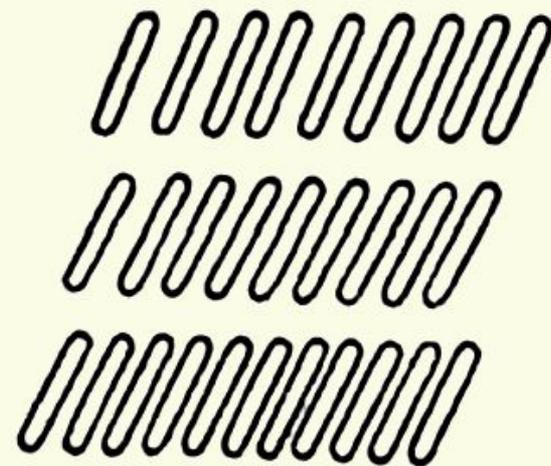
§§ Жидкие кристаллы



нематик



смектики



Применение

- 1) термография
- 2) датчики звука и излучения
- 3) индикаторы в элементах изображения

§§ Источники излучения

а) Лазер : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – усиление света вынужденным излучением, **оптический квантовый генератор** – устройство, преобразующее различные виды энергии в энергию когерентного электромагнитного излучения оптического диапазона.

В настоящее время получены импульсы
 $\tau \sim 100 \text{ ас}$ ($1 \text{ ас} = 10^{-18} \text{ с}$), $I \sim 10^{20} - 10^{21} \text{ Вт/см}^2$

б) Рентгеновский лазер (разер)

источник когерентного ЭМ излучения рентгеновского диапазона.

Длина волны – нескольких сотен до нескольких десятков Å (Se^{24+} , C^{5+} , F^{8+} , Al^{11+}) и $\tau \sim 0,1-10$ нс.

Активная среда – высокоионизированная плазма с температурой от сотен до тысяч эВ, получаемая с помощью другого импульсного лазера.

В) Гамма-лазер (гразер, газер)

Gamma Ray Amplification by Stimulated
Emission of Radiation – усиление

γ -излучения вынужденным излучением

Активная среда – система возбужденных ядер.

Применение:

открывают новые перспективы в рентгеноструктурном анализе, атомной физике (воздействие на ход ЯР) и физике ускорителей

§§ Ядерная физика

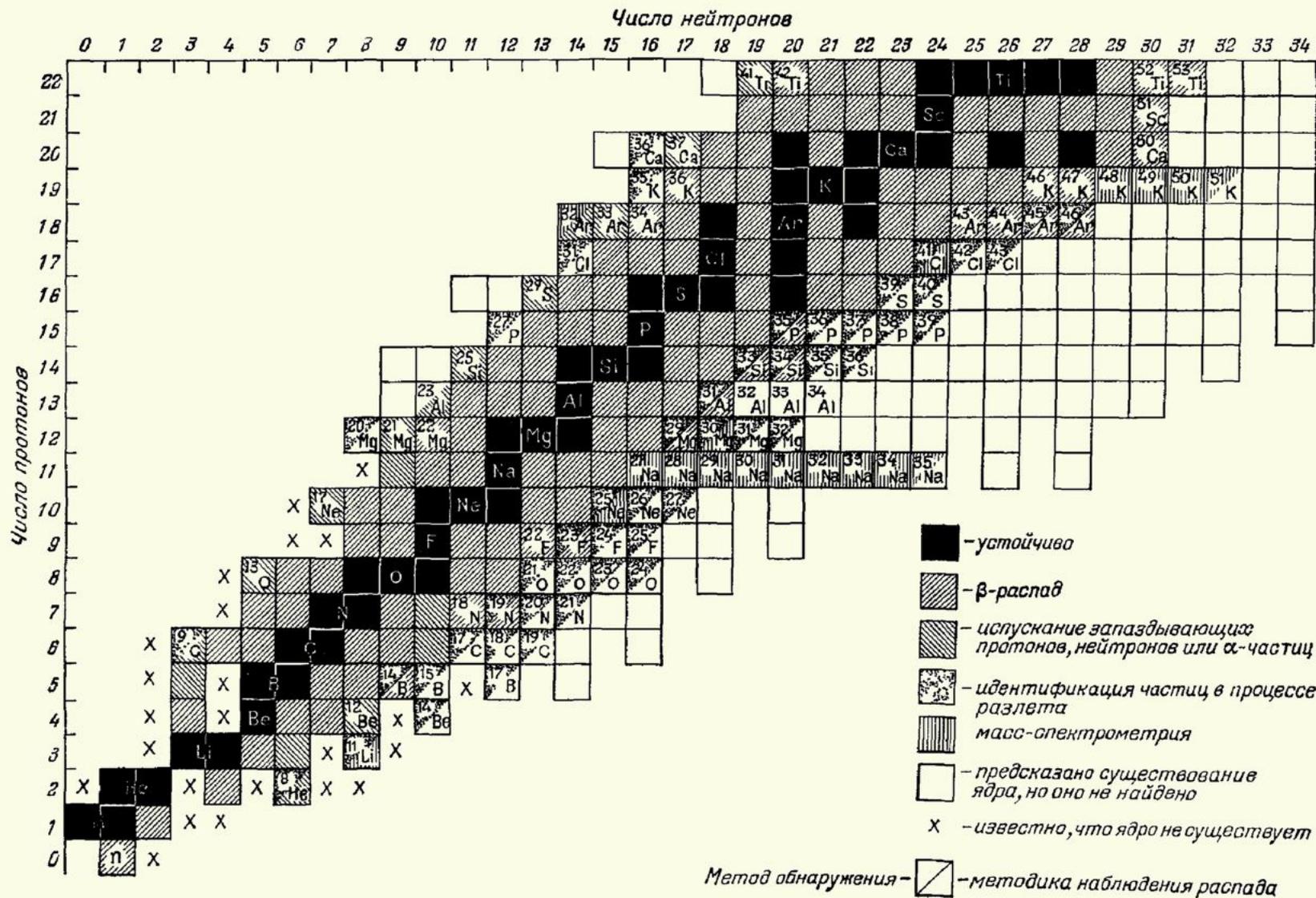
Фундаментальная проблема – получение и изучение свойств ядер, находящихся в **экстремальном состоянии**, что даёт знания о свойствах микромира и позволяет моделировать процессы, происходящие во Вселенной.

а) поиск новых сверхтяжёлых ядер с $Z > 110$ – далёких трансурановых элементов.

Пример: $^{289}_{114}$, $\tau \sim 30$ с (обычно $\tau \sim 0,1-1$ с)

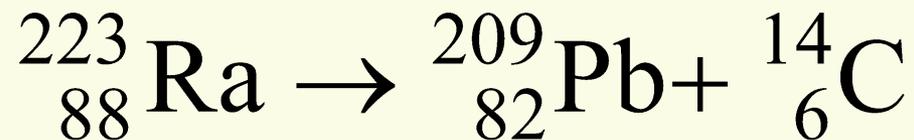
б) исследование **протоно-** и **нейтронодефицитных** ядер

(
Г
С



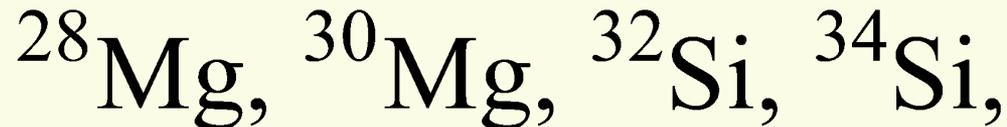
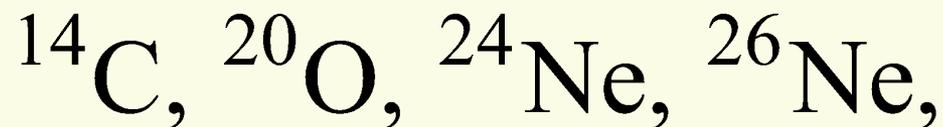
2) кластерный распад

Явление самопроизвольного испускания ядрами ядерных фрагментов (кластеров) тяжелее, чем α -частица



(1 на 10^9 α -распадов)

Примеры кластеров:



г) исследование формы и свойств ядер в супердеформированном состоянии и состоянии с экстремально большими спинами.

д) Проблема кварковой материи и кварк-глюонной плазмы

Кварк-глюонная плазма – «новое состояние материи» с плотностью, которая в 20 раз выше плотности ядерной материи.

Для образования необходима энергия сталкивающихся частиц $\sim 3,5$ ТэВ.

Предполагается, что в естественных условиях кварк-глюонная плазма существовала первые 10^{-5} с после «большого взрыва».

Условия для образования плазмы могут существовать и в центре нейтронных звезд.

Оценки показывают, что переход в состояние кварк-глюонной плазмы происходит как фазовый переход 1-го рода при температуре ~ 200 МэВ

§§ Физика элементарных частиц

ФЭЧ изучает законы природы
на расстояниях менее 10^{-15} м

Основу ФЭЧ составляет так называемая
стандартная модель.

Поколения		1-е	2-е	3-е	Q
кварки	верхние	u	c	t	+2/3
	нижние	d	s	b	-1/3
ЛЕПТОНЫ	нейтрино	ν_e	ν_μ	ν_τ	0
	заряженные	e	μ	τ	-1

Считается, что кварки и лептоны являются элементарными частицами. Из этих 12 частиц устроен весь мир. Также экспериментально открыты 4 бозона ($s = 1$). У каждой частицы есть своя античастица. С помощью ускорителей-коллайдеров находят и изучают новые частицы, необходимые теоретикам для самосогласованного описания природы. Поиск бозона Хиггса – задача №1 ФЭЧ.

§§ Астрофизика

наука на стыке астрономии и физики, изучающая физические процессы в астрономических объектах, таких, как звёзды, галактики и т.д.

Основные методы исследования – спектральный анализ, фотография и фотометрия.

Более высокое качество изображения получают в **радиоастрономии**.

Рентгеновская астрономия – раздел астрономии, исследующий источники космического рентгеновского излучения

Гамма-астрономия – раздел астрономии, изучающий различные космические объекты по их электромагнитному излучению в гамма-диапазоне ($\lambda < 1$ пм)

γ -излучение возникает:

- 1) при взаимодействии частиц высоких энергий с веществом и ЭМ полями
- 2) в процессе аннигиляции.

Измерения интенсивности дают сведения о космических лучах, полях излучения, плотности и составе космических мишеней (компактные объекты, межзвёздная и межгалактическая среда)

Нейтринная астрофизика – изучает физические процессы в космических объектах, происходящих с участием нейтрино.

Источники: ядра галактик и молодые галактики в фазе повышенной светимости.

Современные проблемы:

- 1) не ясна природа наблюдаемого фонового рентгеновского излучения
- 2) природа гамма-всплесков
возможные причины:
 - а) ТЯ взрывы вещества, которое накапливается на поверхности нейтронной звезды в результате длительной слабой аккреции
 - б) мощная нестационарная аккреция
 - в) выбросы вещества из внутренних слоёв нейтронной звезды

- г) процессы аннигиляции магнитного поля
- д) падение астероидов на нейтронную звезду
- е) освобождение энергии при «звёздотрясениях»

В настоящее время источники γ -вспышек размещают в далёких галактиках и связывают со смертью массивных звёзд

Процесс исследования γ -вспышек не закончен и они являются одной из самых больших загадок астрофизики.

3) природа космических лучей

Космические лучи напоминают разряженный газ, частицы которого не сталкиваются друг с другом, но взаимодействуют с веществом и ЭМ полями межзвёздного пространства

Это ядра атомов различных элементов, полностью лишённые электронов, обладающие огромными кинетическими энергиями (вплоть до $E_k \sim 10^{20}$ эВ)

Поток: ~ 1 частица/(сек·см²)