

Лекция №2

**Масштабы и единицы измерения
физических величин**

**Особенности физических явлений в
микром мире**

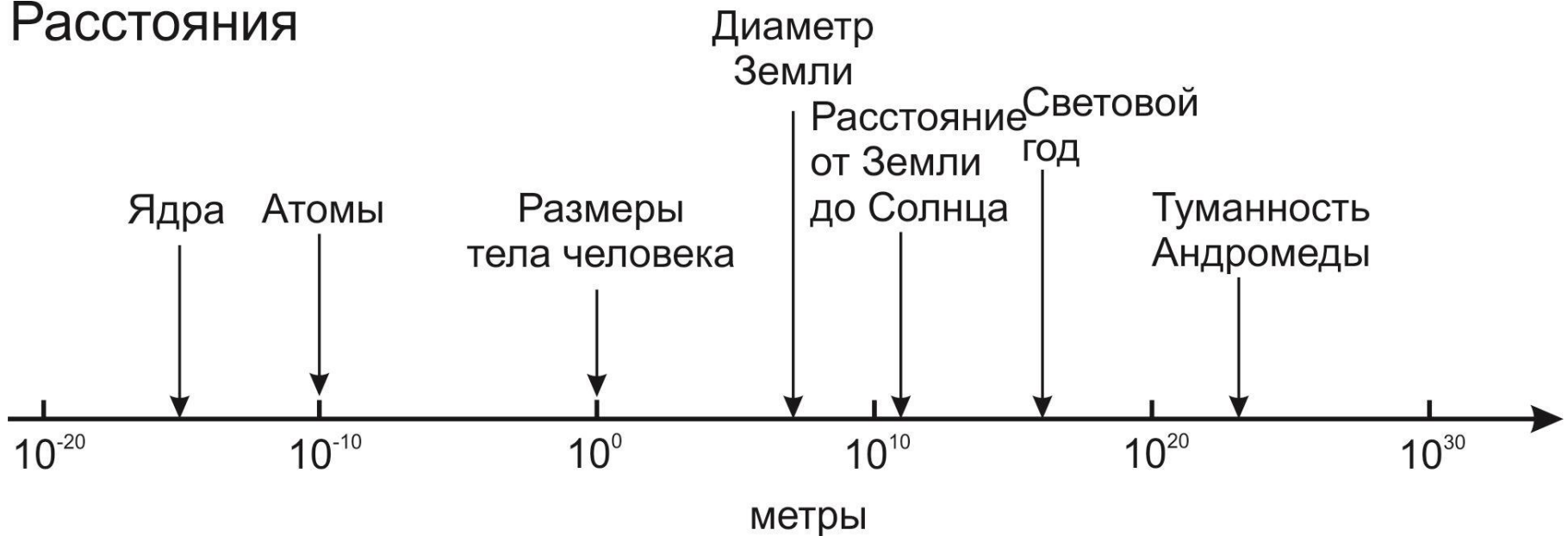
Масштабы и единицы измерения

Объекты микромира – атомы, ядра и элементарные частицы подчиняются законам, в значительной мере отличающимся от законов макромира. Все законы, действующие в микромире, распространяются и на макромир. Однако благодаря другому масштабу физических объектов, форма и особенности этих законов изменяются и принимают вид хорошо известных законов макромира. Таким образом, квантово-механические законы микромира являются наиболее общими. Для объектов макромира они дают уточняющие поправки к классической механике, которые являются очень малыми и несущественными.

Масштабы и единицы измерения

Характерные расстояния

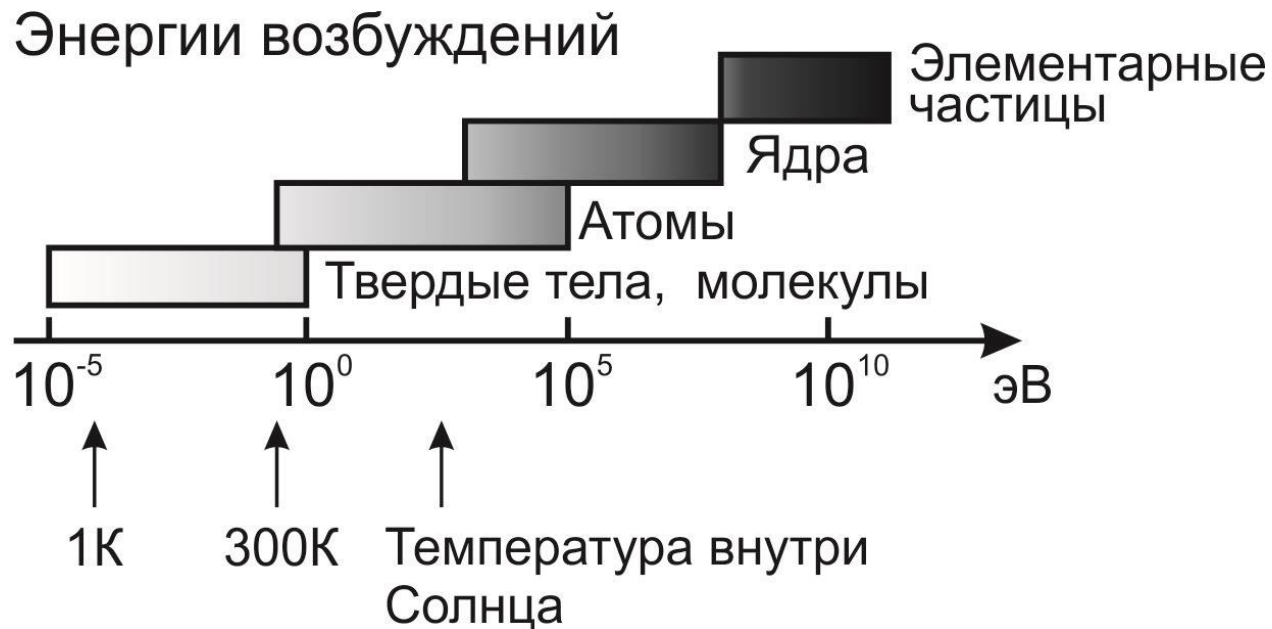
Расстояния



Область расстояний, меньших примерно 10^{-17} м, не исследована. В настоящее время неизвестно, будут ли открыты новые типы сил и новые явления в этой области.

Масштабы и единицы измерения

Характерные величины энергии возбуждения

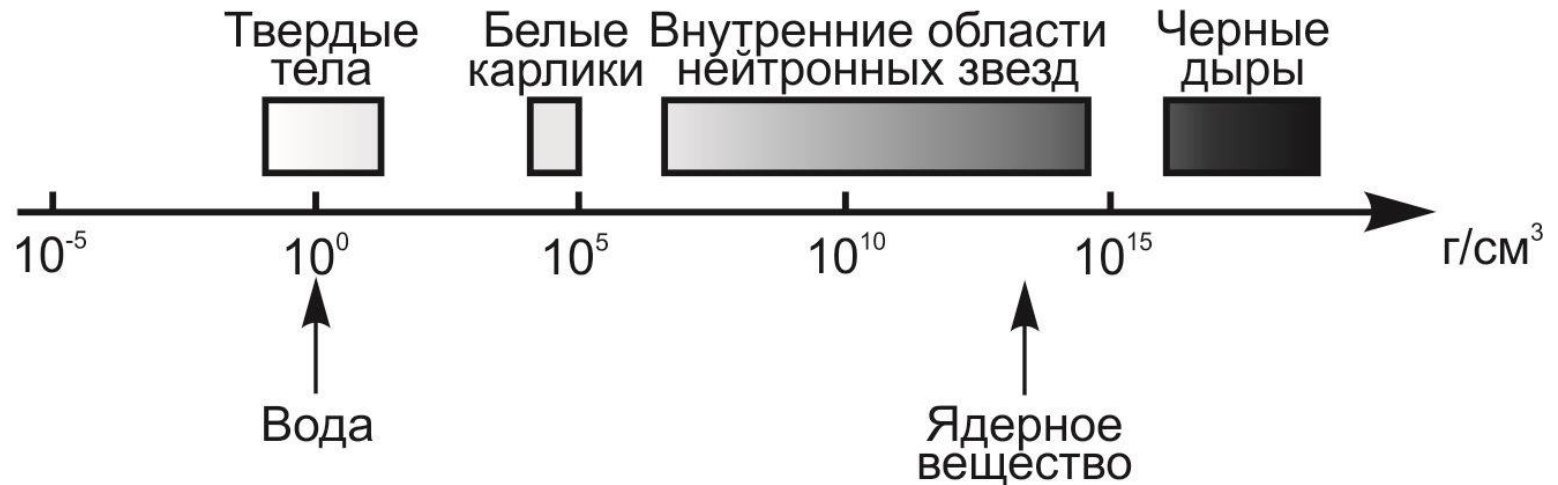


$$1 \text{ эВ} = 1,16 \cdot 10^4 \text{ K}$$

Масштабы и единицы измерения

Характерные значения плотности

Плотности



Масштабы и единицы измерения

Рассмотрим масштабы и единицы величин, характерных для ядерной физики.

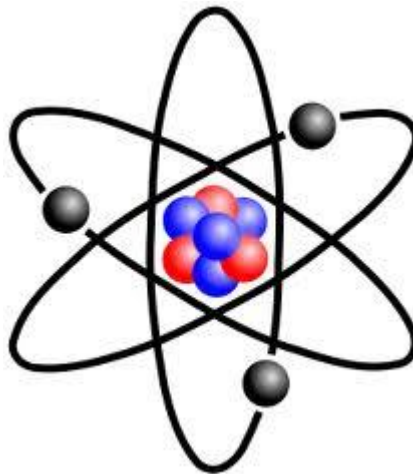
Длина

Радиус атома имеет величину порядка 10^{-8} см.

Эта величина характеризует радиус орбиты наружных электронов.

Радиус ядра имеет величину порядка $10^{-12} \div 10^{-13}$ см.

Расстояние 10^{-13} см получило название 1 ферми (фм).



Масштабы и единицы измерения

Рассмотрим масштабы и единицы величин, характерных для ядерной физики.

Энергия

В качестве единицы энергии широко используется электронвольт (*эВ*).

1 эВ представляет собой энергию, приобретаемую электроном, ускоренным разностью потенциалов в *1 вольт*.

Энергия связи протонов и нейтронов в ядре равна в среднем $8 \cdot 10^6$ эВ.

Характерная для атомов энергия связи имеет порядок 10^2 - 10^3 эВ

Масштабы и единицы измерения

Рассмотрим масштабы и единицы величин, характерных для ядерной физики.

Масса

Масса отражает инерционные и гравитационные свойства частиц. Массой определяется также имеющийся в частице запас энергии.

Согласно специальной теории относительности, энергия E , масса покоя m_0 и импульс свободной частицы p связаны соотношением:

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

полная энергия частицы состоит из двух частей: независимой от движения (энергии покоя $m_0 c^2$) и зависящей от импульса.

Масштабы и единицы измерения

Рассмотрим масштабы и единицы величин, характерных для ядерной физики.

Масса

Если частица не имеет массы покоя:

$$E = pc$$

Если частица с массой покоя неравной нулю покоится:

$$E = m_0 c^2$$

Поэтому в ядерной физике удобно использовать единицы эВ/ c^2 для массы и эВ/ c для импульса.

Масштабы и единицы измерения

Рассмотрим масштабы и единицы величин,
характерных для ядерной физики.

Масса

Масса ядра и атома в ядерной физике часто измеряется в атомных единицах массы.

За одну атомную единицу массы (а.е.м.) принимается 1/12 часть массы атома углерода:

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

$$1 \text{ а.е.м.} = 931,4 \text{ МэВ.}$$

Масштабы и единицы измерения

Рассмотрим масштабы и единицы величин, характерных для ядерной физики.

Время

В ядерной физике, где действуют законы микромира, масштабы времени, также отличаются от привычных нам.

Характерным или **ядерным** временем принято считать время, за которое частица, движущаяся со скоростью света, пересечет ядро по диаметру:

$$\tau = \frac{R_{\text{яд}}}{c} \approx \frac{10^{-13}}{10^{10}} \approx 10^{-23} \text{ сек.}$$

Особенности физических явлений в микромире

Дискретность;

Корпускулярно-волновой дуализм;

Соотношение неопределенностей.

Особенности физических явлений в микромире

Дискретность

Основные параметры элементарных частиц, такие как масса и заряд, для каждого рода частиц являются неизменными и строго определенными. **Принцип тождественности** частиц является характерной чертой микромира и атомизма.

Атомы и ядра являются сложными частицами. Однако, поскольку они состоят из вполне определенных элементарных частиц, их параметры также обладают квантовыми (*дискретными*) свойствами.

Изменяться эти параметры могут только скачкообразно (*дискретно*)

Особенности физических явлений в микромире

Дискретность

Это совершенно понятно для таких параметров как масса и заряд.

Однако и внутренне энергетическое состояние ядра изменяется только *дискретно*.

*Состояние с наименьшей возможной энергией называется **основным** или **нормальным**.*

*Остальные состояния с большими энергиями называются **возбужденными**.*

Дискретность состояний сложных частиц является одной из важнейших особенностей микромира. Она доказана прямыми опытами *Франка и Герца* по упругому и неупругому рассеянию электронов, опытами *Штерна и Герлаха* по измерению магнитных моментов атомов и другими.

Особенности физических явлений в микромире

Корпускулярно-волновой дуализм

Новым отличительным свойством, обнаруженным у частиц микромира, является одновременное наличие у одной и той же частицы как **корпускулярных**, так и **волновых** свойств.

Впервые **дуализм** был обнаружен у квантов электромагнитного излучения, а позднее у электронов и других элементарных частиц.

Согласно теории М. Планка энергия кванта электромагнитного излучения определяется соотношением:

$$E = h\nu$$

здесь ν - частота излучения, $h = 6,6252 \cdot 10^{-24}$ Дж·с.

Особенности физических явлений в микромире

Корпускулярно-волновой дуализм

С позиций классической механики свойства частицы и свойства волны несовместимы.

Луи де Бройль выдвигает гипотезу, согласно которой каждой частице с импульсом p можно поставить в соответствие некоторую волну с длиной λ :

$$h = \lambda p$$

Дальнейшее развитие вопроса о дуализме привело к созданию квантовой теории поля, которая обобщает выводы о корпускулярной и волновой природе частиц.

Особенности физических явлений в микромире

Соотношение неопределенностей

Доказанный экспериментально корпускулярно волновой дуализм проявил сложности в описании состояния системы частиц.

По законам классической механики всякая частица в любой момент времени занимает строго определенное место в пространстве и обладает определенным импульсом.

Волновые свойства вносят значительные ограничения в возможность такого описания системы микрочастиц. Эти свойства вносят неопределенность в описание параметров частиц.

Особенности физических явлений в микромире

Соотношение неопределенностей

Квантовая механика показала, что неопределенности в координате (Δx) и в импульсе (Δp) связаны соотношением неопределенности Гейзенберга:

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

$$\hbar = h/2\pi$$

Это соотношение показывает, что в микромире утрачивается привычное представление о траектории.

Особенности физических явлений в микромире

Соотношение неопределенностей

Кроме соотношения неопределенности для координаты и импульса, в квантовой физике существует связанное с ним соотношение неопределенности для энергии E и времени t :

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar$$

Энергия системы, находящейся в возбужденном состоянии в течение времени Δt , не может иметь точного значения. Неопределенность величины энергии ΔE называется шириной возбужденного уровня. Время Δt , в течение которого ядро (атом) находится в возбужденном состоянии, называется средним временем жизни. Чем меньше Δt , в данном состоянии, тем больше неопределенность в энергии этого состояния.