

[т. 3] — Электростатика, М., 1983; 3) Новожилков Ю. В., Яппа Ю. А., Электродинамика, М., 1978; 4) Нейман Л. Р., Демирчян К. С., Теоретические основы электротехники, 3 изд., т. 2, Л., 1981. Ф. Н. Шахматов.

ЕСТЕСТВЕННАЯ ШИРИНА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ — ширина спектральной линии, обусловленная спонтанными квантовыми переходами изолированной квантовой системы (атома, молекулы, ядра и т. д.). Е. ш. с. л. наз. также радиац. шириной.

В соответствии с принципом неопределённости возбуждённые уровни i энергии квантовой системы, обладающие конечным временем жизни τ_i , являющиеся квазидискретными и имеют конечную (малую) ширину $\hbar\Gamma_i$ (см. *Ширина уровня*). Энергия возбуждённого уровня равна $\varepsilon_i - i\hbar\Gamma_i/2$, где $\Gamma_i = \tau_i^{-1} = \sum_k A_{ik}$ — суммарная

вероятность всех возможных спонтанных квантовых переходов с уровня i (A_{ik} — вероятность перехода на уровень k ; см. *Эйнштейна коэффициенты*). Если уровень энергии j , на к-рый переходит квантовая система, также является возбуждённым, то Е. ш. с. л. равна $(\Gamma_i + \Gamma_j)$. Вероятность dw_{ij} излучения фотонов в интервале частот $d\omega$ при переходе $i \rightarrow j$ определяется ф-лой:

$$dw_{ij} = \frac{A_{ij}}{\Gamma_i} \cdot \frac{\Gamma_i + \Gamma_j}{2\pi} \cdot \frac{d\omega}{(\omega - \omega_{ij})^2 + 1/4(\Gamma_i + \Gamma_j)^2}$$

Для резонансных линий атомов и ионов Е. ш. с. л. равна:

$$\Gamma = A_{ij} = \frac{2e^2\omega_{ij}^2}{mc^3} |f_{ij}|,$$

где f_{ij} — сила осциллятора перехода $i \rightarrow j$, она очень мала по сравнению с частотой перехода ω_{ij} : $\Gamma/\omega_{ij} \sim \alpha^2(z+1)^2$ (здесь $\alpha = 1/137$ — постоянная тонкой структуры, z — кратность заряда иона). Особенно малой шириной обладают *запрещённые линии*.

Естественная ширина линии классич. осциллятора с зарядом e , массой m и собств. частотой ω_0 равна: $\Gamma = 2e\omega_0^2/3mc^3$. Радиац. затухание приводит также к очень небольшому смещению максимума линии в сторону меньших частот $\sim \Gamma^2/4\omega_0$.

Спонтанные квантовые переходы, определяющие конечную ширину уровней энергии и Е. ш. с. л., не всегда происходят с испусканием фотонов. Напр., при определ. условиях могут происходить процессы, сопровождающиеся испусканием одного или неск. электронов (см. *Оже-эффект*, *Ионизация полем*). В ряде случаев, напр. в возбуждённых ядрах, автоионизац. состояниях атомов, значения ширины уровней могут оказаться сравними с расстояниями между уровнями энергии; при этом спектр системы можно считать непрерывным (см. *Сплошной спектр*).

Лит.: Гайтлер В., Квантовая теория излучения, [пер. с англ.], М., 1956; Берестецкий В. В., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П., Релятивистская квантовая теория, ч. 1, М., 1968; см. также лит. при ст. *Атом*, *Молекула*. Е. А. Югов.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ — системы единиц измерений, в к-рых за осн. единицы приняты фундам. постоянные — скорость света в вакууме c , гравитац. постоянная G , постоянная Планка \hbar , постоянная Больцмана k , число Авогадро N_A и др. В обычных системах единиц размер осн. единиц выбирают произвольно; этот выбор определяет значение коэф. в разл. физ. соотношениях. В Е. с. е. приняты за единицы сами эти коэф., являющиеся мировыми постоянными, и при этом условии из физ. соотношений вычисляются единицы разл. физ. величин. Т. о., вид соответствующих ур-ний физики значительно упрощается. В разл. областях применяются разл. Е. с. е., в к-рых ур-ния освобождаются от коэф., содержащих размерные постоянные. Е. с. е. можно в принципе воспроизвести в лаборатории без сравнения с эталонами.

В Е. с. е. Планка принято $c = \hbar = G = k = 1$; она названа в честь М. Планка (M. Planck), к-рый впервые

указал на возможность построения такой системы в 1899 (до введения *Планка постоянной*, вместо неё Планк вводил постоянную Вина b , к-рая, как впоследствии было установлено, выражается через \hbar и k : $b = \hbar/k$). Планковской Е. с. е. пользуются в космологии; она особенно удобна для описания процессов, в к-рых одновременно существенны квантовые и гравитац. эффекты, напр. в теории *чёрных дыр* и теории ранней Вселенной.

Е. с. е. решила проблему естеств. единицы длины. Так, напр., *комптоновская длина волны* λ_0 , различная для разных элементарных частиц, задаётся массой M частицы: $\lambda_0 = \hbar/Mc$. В теории тяготения масштаб длины определяется гравитац. радиусом $r_g = 2GM/c^2$, также связанным с массой M . В планковской системе единиц за единицу длины L_P берётся ср. геометрическое λ_0 и r_g :

$$L_P = \sqrt{\frac{1}{2} r_g \lambda_0} = (\hbar G/c^3)^{1/2},$$

к-рое не зависит от масс. Др. способ введения Е. с. е. состоит в определении планковской единицы массы M_P из условия $GM_P^2/\hbar c = 1$, где левая часть представляет собой гравитац. аналог *тонкой структуры постоянной*.

Ниже приведена таблица значений единиц планковской системы в единицах СИ:

Физ. величина	Формула	В единицах СИ
Длина L_P	$(\hbar G/c^3)^{1/2}$	$1,616 \cdot 10^{-35}$ м
Время T_P	L_P/c	$0,533 \cdot 10^{-43}$ с
Частота Ω_P	$1/T_P$	$1,8552 \cdot 10^{43}$ с ⁻¹
Энергия \mathcal{E}_P	$\hbar\Omega_P$	$1,9564 \cdot 10^9$ Дж
Масса M_P	\mathcal{E}_P/c^2	$2,176 \cdot 10^{-8}$ кг

Иногда через фундам. постоянные выражают единицу заряда $Q_P = (\hbar c)^{1/2} = 1,8756 \cdot 10^{-8}$ Кл и сопротивления $R_P = 1/c = 29,98$ Ом. Точность единиц ограничивается точностью, с к-рой определена гравитац. постоянная $G = 6,6745 (\pm 0,0008) \cdot 10^{-11}$ м³кг⁻¹с⁻².

В теории *электрослабого взаимодействия* используется система, в к-рой единица длины L_F определяется, исходя из константы Ферми (константы слабого четырёхфермионного взаимодействия, см. *Слабое взаимодействие*), в обычных для физики высоких энергий единицах:

$$L_F = (G_F/\hbar c)^{1/2} = 0,67392(7) \cdot 10^{-16}$$
 см,

единица энергии в ней равна

$$\mathcal{E}_F = (\hbar^3 c^3/G_F)^{1/2} = 292,807(3)$$
 ГэВ.

В модели *великого объединения* (ВО) вводится система, точные масштабы единиц к-рой пока не определены. Оценка масштаба единиц такой системы:

$$L_{ВО} \sim 10^{-29}$$
 см $\sim 10^{-4}$ L_P
 $\mathcal{E}_{ВО} \sim 10^{15}$ ГэВ $\sim 10^{-4}$ \mathcal{E}_P

отражает иерархию масштабов в совр. эволюц. модели Вселенной.

Последние две Е. с. е. отличаются от планковской тем, что они по существу связаны с определ. массой — массами W - и Z -бозонов, определяющими соответственно электрослабое взаимодействие и великое объединение. Планковская же масса не обязательно связана с бозоном, т. к. гравитация не требует существования промежуточного бозона, передающего взаимодействие.

В атомной физике применяется система атомных единиц Хартри. В качестве осн. единиц в ней приняты заряд электрона, его масса и борковский радиус; как