

СКАЛА ЧАСТОТ И ВОЛН ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ;

КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕРМИНЫ *

- § 1. Электромагнитный спектр.
- § 2. Скала электромагнитных волн.
- § 3. Обоснование необходимости стандарта.
- § 4. Проект стандарта.
- § 5. Пояснения к проекту.

§. Полный электромагнитный спектр

Полный электромагнитный спектр включает в себя все получаемые и наблюдаемые на земле электромагнитные волны, начиная от самых длинных, неопределенно большой длины волны, до самых коротких, с длиной волны порядка 10^{-11} см. Все электромагнитные волны тождественны по своей природе: они подчиняются одним и тем же законам отражения, преломления, интерференции, дифракции и поляризации и имеют одинаковую скорость распространения в эфире, равную $3 \cdot 10^{10}$ см/сек; они разнятся друг от друга только длиной волны.

Электромагнитным спектром называют непрерывный ряд волн, расположенных в последовательном порядке по их длине, по аналогии со световым спектром в классическом опыте Ньютона. Таким образом полный электромагнитный спектр представляет собой совокупность всех получаемых и наблюдаемых на земле электромагнитных волн, расположенных в последовательном порядке по длинам волн. Полный электромагнитный спектр в настоящее время является сплошным; последний пробел в нем был заполнен в 1923 г. Заполнение этого пробела имеет важное принципиальное значение как экспериментальное подтверждение единства природы волн герцевых и световых. Полный электромагнитный спектр вследствие отсутствия единого для всех длин метода возбуждения колебаний имеет как бы „мозаичную“ структуру—его структурными элементами являются отдельные области, характеризующиеся различными методами возбуждения волн; эти области не только сплошь заполняют весь спектр, но почти всегда накладываются друг на друга своими концами. В последнем случае имеют дело с волнами одной и той же длины, получающимися различными методами; такие перекрытия смежных областей спектра имеются, например, между рентгеновскими и ультрафиолетовыми лучами, инфракрасными и переходными (ультрагерцевыми) волнами и на других участках спектра.

§ 2. Скала частот и волн электромагнитных колебаний

Полный электромагнитный спектр изображают графически на логарифмической скале длин (скала—по латыни лестница), чтобы иметь возможность поместить длины волн всего электромагнитного спектра на листе

* Представляя проект обязательного ОСТ с объяснительной запиской на широкую дискуссию, просим всех интересующихся присылать свои соображения по этому проекту Всесоюзному комитету стандартизации при СТО по адресу: Москва 12, ул. Разица 12, ВКС при СТО, Сектор НТО.

бумаги. Для этого откладывают на прямой равные отрезки, соответствующие логарифму определенного числа, например $\lg 2$ или $\lg 10$; в первом случае скала будет представлена в октавах; термин „октава“ заимствован из акустики и имеет то же самое значение.

Применение логарифмической скалы представляет большие удобства, как на это было указано еще Рубенсом:

а) она абсолютно симметрична по отношению к длинам волн и частотам; она позволяет избежать чрезмерного расширения скалы в сторону того или другого конца спектра;

б) она точно соответствует делению на октавы, принятому в акустике; одна и та же разность абсцисс всегда соответствует одному и тому же отношению длин волн и частот.

Впервые графическое изображение спектра на логарифмической скале было предложено Релеем в 1883 г. (Англия); этим способом воспользовались Гюильом в 1889 г. (Франция), Рубенс в 1900 г. (Германия), Лебедев в 1901 г. (Россия). В связи с заполнением последнего пробела на скале электромагнитных волн была составлена подробная скала электромагнитных волн Глаголевой-Аркадьевой в 1926 г. (СССР). В настоящее время в учебниках, книгах, журналах, пособиях, советских и иностранных часто приводится диаграмма электромагнитного спектра.

Для обзора всей картины полного электромагнитного спектра на рис. 1 представлена скала длин волн и частот колебаний электромагнитного спектра.

На линиях *A, B, C* указаны: на *A*—длины волн λ в различных единицах; на *B*—длины волн λ в см; на *C*—соответствующие частоты f колебаний. На полосах *D, E, F, G, H, I, K* нанесены: на *D*—логарифмическая скала в октавах; на *E*—род излучения—полоса, состоящая из отдельных двух полос, налагающихся друг на друга смежными концами; на *F*—методы получения волн; на *G*—излучатели; на *H*—фамилии авторов, получивших волны и колебания в различных областях скалы; на полосе *I*—названия областей скалы волн согласно данному проекту стандарта; на *K*—термины участков каждой области волн, практические и метрические. Скала волн охватывает более 80 октав; число октав n в каком-нибудь интервале длин волн, например от λ_1 до λ_2 , вычисляется по формуле:

$$n = \frac{\lg \frac{\lambda_2}{\lambda_1}}{\lg 2}; \quad (1)$$

число октав в интервале всего электромагнитного спектра будет более чем

$$N = \frac{\lg \frac{420 \cdot 3 \cdot 10^{10}}{10^{-11}}}{\lg 2} = 80 \text{ октав}, \quad (2)$$

где $420 \cdot 3 \cdot 10^{10}$ см—длина волны, соответствующая применявшимся в лаборатории самым низкочастотным токам (инфранизкие частоты), мерой частоты которых условно принят период в 7 мин., а 10^{-11} см представляет собой длину очень короткой волны электромагнитного спектра—гамма-лучей в $1 \text{ X} = 10^{-11}$ см.

Нетрудно видеть, что изображенная здесь скала электромагнитных волн и колебаний (рис. 1) дает возможность определять интервалы длин волн и частот колебаний не только в октавах, но и в степенях 10. Последовательность повторяющегося ряда величин 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 125, 250, 500, 1000 заимствована у П. Н. Лебедева (1901 г.). Этот ряд охватывает интервал приблизительно в 10 октав ($2^{10} = 1024$).

§ 3. Обоснование необходимости стандартизации терминов и классификация частот и длин волн полного электромагнитного спектра

Электромагнитные волны используются в радиотехнике и рентгентехнике, почвоведении и геологии, биологии и медицине, металлургии, авиационной и во многих других научно-технических дисциплинах и отраслях промышленности. Представителям различных специальностей, пользующимся в своих работах одними и теми же участками электромагнитного спектра, необходим общий язык для быстрого и ясного взаимного понимания. Поэтому стандартизация, проводимая в настоящее время Всесоюзным комитетом стандартизации при СТО во всесоюзном масштабе во всех областях науки и техники, должна охватить и этот участок знаний.

§ 4. Проект стандарта

Проект составлен по следующему плану:

А. Наименование стандарта:

Скала частот и волн электромагнитных колебаний; классификация и термины.

В. Разделы:

- I. Названия частот колебаний.
- II. Частоты в производных единицах и в герцах.
- III. Названия областей скалы волн.
- IV. Названия волн (лучей) на участках областей.
- V. Длины волн в производных единицах и в см.
- VI. Число октав.

Составленный по данному плану проект стандарта представлен в таблице 1.

§ 5. Пояснения к проекту

Основными принципами при составлении данного проекта были: а) использование классификации и терминов, уже имеющих на практике в Союзе и за границей, с учетом их производственного значения, б) уточнение или замена, а также дополнение их новыми для логической увязки стандарта в масштабе всей скалы электромагнитных волн. Эти положения должны создать возможность легкого освоения стандарта, простоту практического обращения с ним и наибольшую приемлемость стандарта при возможной стандартизации терминов длин волн и частот колебаний в международном масштабе.

Принцип классификации частот и волн, основанный на отношении последних к какому-либо веществу (например деление радиоволн на короткие, ультракороткие и т. д. по их отношению к земной атмосфере, к морской воде и т. п.) или по методике измерений (например измерения в области мягких рентгеновских лучей вакуум-спектрографом с кристаллом или вакуум-спектрографом со штриховой решеткой и т. п.), был признан неправильным ввиду спорности вопроса о выборе „стандартных“ веществ и методики измерений.

Проект стандарта содержит 6 разделов (вертикальных столбцов, табл. 1), в которых находятся характеристики областей скалы. Вся скала частот и волн состоит из 8 областей, характеризующихся, главным образом, основными методами возбуждения электромагнитных колебаний; для тех из них, для которых выступают на первый план их характеристики по частотам (инфранизкие и низкие частоты, промышленные частоты, звуковые ча-

стоты), отсутствуют их названия в разделе IV; для очень высоких частот (инфракрасные лучи, световые лучи, ультрафиолетовые лучи, рентгеновские лучи, гамма-лучи), наоборот выступают более употребительные характеристики их как лучей или волн.

Раздел I

В разделе I даны названия частот колебаний; эта характеристика выступает на передний план для первых четырех участков первой области скалы волн, так как длительные колебательные процессы характеризуются обычно частотой колебания, а не длиной волны, соответствующей этим колебаниям. Это — инфранизкие частоты, низкие частоты, промышленные частоты и звуковые частоты.

Раздел II

Раздел II включает в себе частоты колебаний, выраженные в герцах и более крупных единицах, предложенных в проекте Швейцарской комиссии по стандартизации:

kHz = килогерц = 10^3 герцев.

MHz = мегагерц = 10^6 герцев,

GHz = гигагерц = 10^9 герцев,

THz = терагерц = 10^{12} герцев,

Чтобы охватить огромный диапазон частот электромагнитных колебаний всего электромагнитного спектра, указанные выше единицы дополнены:

kTHz = килотерагерц = 10^{15} герцев,

MTHz = мегатерагерц = 10^{18} герцев,

GTHz = гигатерагерц = 10^{21} герцев.

Раздел III

В этом разделе содержатся названия областей скалы.

I. Низкочастотные волны.

II. Радиоволны.

III. Ультрарадиоволны.

IV. Инфракрасные волны (лучи).

V. Световые волны (лучи).

VI. Ультрафиолетовые волны (лучи).

VII. Рентгеновские волны (лучи).

VIII. Гаммаволны (гамма-лучи).

Названия, находящиеся в данном разделе, присвоены областям скалы, как уже установившиеся в мировой литературе; например см. страницы, содержащие скалы электромагнитных волн в следующих книгах:

An outline of atomic physics, O. Blackwood and oth., New-York 1933.

The development of physical thought, L. B. Loeb and A. S. Adams, N. Y. 1933.

Grimsehl's Lehrbuch der Physik. Berlin 1932.

Physik, W. H. Westphal. Berlin 1933.

L'énergie rayonnante, A. Forestier. Paris 1926.

и других.

Чтобы дать представление о согласии и разногласиях в мировой литературе по этому вопросу, ниже приведены некоторые названия областей, заимствованные из советской и иностранной литературы.

1. Область радиоволн — Radiowaves; Ondes hertziennes;

Radiowellen.

2. Область герцевых волн — Hertzian waves; Ondes hertziennes;

Hertzische Wellen.

СКАЛА ЧАСТОТ И ВОЛН ЭЛЕК

Классификац

№ област	I	II		III
	Название частот колебания	Частоты в		Название областей скалы волн
		производных единицах	герцах	
1	Инфранизкие частоты Низкие частоты Промышленные частоты Звуковые частоты	Ниже 0,1 Hz 0,1—10 Hz 10—200 Hz 20Hz—20 kHz	Ниже 10^{-1} 10^{-1} —10 10— $2 \cdot 10^2$ $2 \cdot 10^{-2}$ — $2 \cdot 10^4$	Низкочастотные волны
2	Радиочастоты	Ниже 0,1 MHz 0,1—1,5 MHz 1,5—6 MHz 6—30 MHz 30—300 MHz 0,3—3 GHz	Ниже 10^5 1— $15 \cdot 10^5$ $1,5$ — $6 \cdot 10^6$ 6— $30 \cdot 10^6$ 3— $30 \cdot 10^7$ 3— $30 \cdot 10^8$	Радиоволны
3	Ультрарадиочастоты	3—30 GHz 30—300 GHz 0,3—3 THz	3— $30 \cdot 10^9$ 3— $30 \cdot 10^{10}$ 3— $30 \cdot 10^{11}$	Ультрарадио-волны
4	Инфракрасные частоты	3—400 THz	3— $400 \cdot 10^{12}$	Инфракрасные волны (лучи)
5	Световые частоты	400—800 THz	4— $8 \cdot 10^{14}$	Световые волны (лучи)
6	Ультрафиолетовые частоты	0,8—60 kTHz	$8 \cdot 10^{14}$ — $6 \cdot 10^{16}$	Ультрафиолетовые волны (лучи)
7	Рентгеновские частоты	0,06—75 MTHz	$6 \cdot 10^{16}$ — $7,5 \cdot 10^{19}$	Рентгеновские волны (лучи)
8	Гаммачастоты	75 MTHz— —3 GTHz	$7,5 \cdot 10^{19}$ — $3 \cdot 10^{21}$	Гаммаволны (гаммалучи)

Hz = герц = 1 колебание в 1 секунду
 kHz = килогерц = 10^3 Hz,
 MHz = мегагерц = 10^6 Hz,
 GHz = гигагерц = 10^9 Hz,
 THz = терагерц = 10^{12} Hz,
 kTHz = килотерагерц = 10^{15} Hz,
 MTHz = мегатерагерц = 10^{18} Hz,
 GTHz = гигатерагерц = 10^{21} Hz.

ПРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

ия и термины

IV Названия групп волн (лучей) внутри областей скалы	V Длины волн в		VI Число октав
	производных единицах	см	
—	Более $3 \cdot 10^6$ км	Более $3 \cdot 10^{11}$	—
—	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^4$ км	$3 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^9$	7
—	$30 - 1,5 \cdot 10^3$ км	$3 \cdot 10^8 - 1,6 \cdot 10^8$	4
—	$15 \cdot 10^3 - 15$ км	$1,5 \cdot 10^9 - 1,5 \cdot 10^6$	10
Длинные радиоволны	Более 3 км	Более $3 \cdot 10^5$	Более 15
Средние "	3 км—200 м	$3 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^4$	
Промежуточные радиоволны	200—50 м	$5 \cdot 10^3 - 10^3$	
Короткие "	50—10 м	$5 \cdot 10^2 - 10^3$	
Метровые "	10—1 м	$10^3 - 10^2$	
Дециметровые "	10—1 дм	$10^2 - 10$	
Сантиметровые ультрарадиоволны	10—1 см	10—1	10
Миллиметровые "	10—1 мм	$1 - 10^{-1}$	
Переходные "	1 0,1 мм	$10^{-1} - 10^{-2}$	
Декамикронные инфракрасн. луча	100—10 м	$10^{-2} - 10^{-3}$	7
Микронные "	10—0,76 м	$10^{-3} - 0,76 \cdot 10^{-4}$	
Красные световые лучи	7600—6200 Å	$0,76 - 0,62 \cdot 10^{-4}$	1
Оранжевые "	6200—5900 Å	$0,62 - 0,59 \cdot 10^{-4}$	
Желтые "	5900—5600 Å	$0,59 - 0,5 \cdot 10^{-4}$	
Зеленые "	5600—5000 Å	$0,56 - 0,50 \cdot 10^{-4}$	
Голубые "	5000—4800 Å	$0,50 - 0,48 \cdot 10^{-4}$	
Синие "	4800—4500 Å	$0,48 - 0,45 \cdot 10^{-4}$	
Фиолетовые "	4500—3800 Å	$0,45 - 0,38 \cdot 10^{-4}$	
Ближайшие ультрафиолетов. лучи	3800—500 Å	$0,38 - 0,05 \cdot 10^{-4}$	6
Крайние "	500—50 Å	$50 - 5 \cdot 10^{-7}$	
Граничные рентгеновские лучи	50—1 Å	$50 - 1 \cdot 10^{-8}$	10
Мягкие "	1—0,4 Å	$10^{-8} - 4 \cdot 10^{-9}$	
Жесткие "	0,4—0,04 Å	$4 \cdot 10^{-9} - 4 \cdot 10^{-10}$	
Декаиксовые гаммалучи	40—10 X	$4 - 1 \cdot 10^{-10}$	5
Иксовые "	10—1 X	$10 - 1 \cdot 10^{-11}$	
<p>км = километр = 10^3 м, м = метр = 10^2 см, мм = миллиметр = 10^{-1} см, μ = микрон = 10^{-3} мм = 10^{-4} см, Å = ангстрем = 10^{-8} см, х = икс = 10^{-11} см.</p>			

3. Инфракрасные волны — Infrared or heat rays; Ondes infrarouges; Ultra-
rot; Infrarot;
4. Ультрафиолетовые лучи — Ultraviolet; ultraviolettes;
Ultraviolette.
5. Рентгеновские лучи — X-rays; Rayons X; Röntgenstrahlen.
6. Гаммалучи — γ -rays; Rayons γ ; γ -Strahlen.

Разделы IV и V

В этих разделах содержатся подразделения указанных выше областей на группы, названия (IV) и классификация (V) последних. В первой области низкочастотных волн — не дается названий групп как волн, так как их более употребительные характеристики даны в разделе I. В разделе V находятся длины волн, выраженные в производных единицах и в см.

Во 2-й области — области радиоволн — названия и классификация волн взяты по стандарту, рекомендованному постановлением Международного комитета в Гааге в 1929 г.

В 3-й области — области ультрадлинных волн — приняты названия и классификация волн, встречающиеся в литературе; новым является одно название — „переходные ультрадлинных волн“, название, которое оправдывается его внутренним смыслом: на этом участке спектра осуществляется переход от излучения единичного герцева вибратора к излучению молекул и атомов вещества.

В области 4-й — области инфракрасных волн — имеются группы: декамикронные и микронные волны. Такое подразделение и названия удобны своей определенностью и простотой.

Область 5-я содержит световые волны. Названия и классификация этих лучей взяты по данным, предложенным фотометрической лабораторией ВИМС (отзыв лаборатории о настоящем проекте).

Область 6-я — ультрафиолетовые волны (лучи) — разделена на 2 части: первая — ближайшие ультрафиолетовые лучи, включающие области Шумана, Лаймена, до 500 Å, и вторая область — крайние ультрафиолетовые лучи, от 500 до 50 Å, охваченная новыми работами Зигбана и его школы: об этой области дополнительно будет сказано ниже.

Область 7-я. Рентгеновские волны (лучи). Эта область на большом протяжении накладывается на две соседние области: с одной стороны, на крайние ультрафиолетовые лучи 500 до 50 Å, с другой — на гамма-лучи от 400 до 40 X. Классификация и наименование лучей в этой области скалы наиболее затруднительны. В проекте акцентировано производственное значение рентгеновских лучей: самые крайние рентгеновские лучи, не применяющиеся в технике и имеющие большое научное значение в развитии общей теории спектров вещества, отнесены к области перекрывающихся с ними крайних ультрафиолетовых лучей (от 500 до 50 Å): там они имеют название „крайние ультрафиолетовые лучи“. Участок от 50 до 1 Å, соответствующий верхним границам сплошного рентгеновского спектра „белого“ излучения (от 0,2 до 12 kV), примыкает непосредственно к границе ультрафиолетовых лучей; этим оправдывается его название „граничные рентгеновские лучи“ (Grenzstrahlung). Следующий участок, от 1 до 0,4 Å, соответствующий верхним границам сплошного рентгеновского спектра от 12 до 31 kV, имеет название „мягкие рентгеновские лучи“: это название на практике часто относится к рентгеновским лучам, обслуживающим просвечивание и рентгено съемку легких материалов, конечностей человеческого тела, отчасти поверхностную терапию и т. д. Рентгеновские лучи, обладающие длиной волны от 0,4 Å и менее, встречаются с самыми длинными гаммалучами и накладываются на них от 0,4 Å (400 X) до 40 X.

40 X соответствует верхней границе „белого“ излучения при напряжении на трубке в 300 kV, которое в большинстве случаев применяется для технических целей, хотя в отдельных случаях также применяются рентгеновские лучи при напряжении на трубках до 600 и 650 kV. Этот участок от 400 до 40 X являющийся общим для лучей рентгеновских и

гамма, широко используется в технике, биологии и медицине в качестве рентгеновских лучей, т. е. лучей, получаемых с помощью рентгеновских трубок: ими пользуются при рентгеноскопии и рентгенографии деталей машин, частей аэропланов, металлических образцов и различных поделок, при рентгенодиагностике и рентгенотерапии в медицине и т. д.; на практике иногда применяется деление указанного участка скалы на „средние“ и „жесткие“ рентгеновские лучи. Ввиду трудности проведения границ между этими участками в данном проекте предложено общее название „жесткие“ рентгеновские лучи.

8-я область — гамма-волны (гамма-лучи); к ней относится интергал от 40 до 1 X, содержащий две группы лучей: декаиксовы гамма-лучи и иксовые гамма-лучи. Разделение на эти две группы и названия последних оправдываются простотой запоминания названий.

Раздел VI

В разделе VI содержатся интервалы частот и волн каждой области скалы, выраженные в октавах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lord Rayleigh, Nature XXVIII, 559, 1883.
2. Guillaume Ch. Ed. Revue Générale des Sciences, p. 5. 1899
3. Rubens H. Le spectre infrarouge, Rapporté, présenté au congrès international de Physique, réuni à Paris en 1900.
4. Лебедев П. Н. Скала электромагнитных волн в эфире, Физич. обзор., 101; собрание сочинений, 1912.
5. Глаголева-Аркадьева А. А., Новая шкала электромагнитных волн. Успехи Физич. Наук. т. VI, 16, 1926.
6. Landolt-Börnstein, Phys.-Chem. Tabellen, B. 11, 807 1923.
7. Moyer and Wostrel, The Radio Handbook. New York and London, 1931.
8. Müller-Pouillet, Lehrbuch d. Phys. 11, 397, 1909.
9. Юрьев М. Ю., Теория телефонной передачи и ее практическое применение, Москва, 1927.
10. Holweck F., De la lumière aux rayons X. Paris, 1927.
11. Loeb L. and Adams A. S. The Development of Physical Thought. New York 1933.
12. Grimseis Lehrbuch der Physik, Berlin 1933.
13. Westphal W. H., Physik, Berlin, 1933.
14. Forestier A., L'énergie rayonnante. Paris 1926.
15. Blackwood L. and others, An Outlines of Atomic Physics. New-York 1933.
16. Техническая энциклопедия.
17. Галанин Д. Д., Электромагнитные волны, 1934.
18. Irving Saxl, Zs. f. Techn. Phys. 15, 1934.
19. Глаголева-Аркадьева А. А. Полный электромагнитный спектр, „Сорена“ № 1, 32, 1935.
20. Периодическая литература по данному вопросу.