

УДК 535.232.1

О РАВНОВЕСНОМ ИЗЛУЧЕНИИ

Ф.Д. Сапожников, Д.С. Карпук

ON THE EQUILIBRIUM RADIATION

F.D. Sapozhnikov, D.S. Karpuk

Проведенные исследования позволяют выдвинуть гипотезу о наличии в равновесном излучении квантов, частота которых прямо пропорциональна энергии взаимодействующих частиц, подчиняющихся максвелловскому распределению.

The carried out researches allow to put forward a hypothesis about presence in equilibrium radiation of the quanta which frequency is directly proportional to energy of the co-operating particles submitting Maxwellian distribution.

Размышления о равновесном излучении, вызванные неудовлетворенностью наличием в знаменателе функции Планка минус единицы, привели к альтернативной точке зрения на эту проблему.

Формула Планка для равновесного излучения является частным случаем распределения Бозе–Эйнштейна. С полюсом функции этого распределения связано явление Бозе-конденсации, которое обеспечивает конечность наблюдаемых значений физических величин [Ландау, Лившиц, 2005].

Лучеиспускательная способность абсолютно черного тела описывается функцией [Яворский, Детлаф, 1972].

$$\xi_{v,T} = \frac{2\pi h\nu^3}{C^2 \left[\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1 \right]}, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка; ν – частота излучения; C – скорость света; k – постоянная Больцмана; T – температура.

Лучеиспускательную способность этих тел можно выразить также в следующем виде:

$$\xi'_{v,T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2 \exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)} + \frac{2\pi kT\nu^2}{c^2 \exp\left(\frac{2h\nu}{kT}\right)}. \quad (2)$$

Расчеты показали, что значения $\xi_{v,T}$ и $\xi'_{v,T}$ во всех интервалах T и ν почти совпадают (рис. 1, а, б) [Апанасевич, Айзенштадт, 1961]. Распределение лучеиспускательной способности абсолютно черных тел связано с распределением энергии равновесного излучения постоянным коэффициентом, равным $c/4$ (c – скорость света в вакууме), что не влияет на характер распределения и не имеет принципиального значения для дальнейших рассуждений, но зато дает возможность сравнивать графики на рис. 1, 2.

Аналогичная картина наблюдается и при других значениях температуры.

Заштрихованные площади изображают поглощение в воздухе. По оси ординат отложены отклонения гальванометра, пропорциональные плотности энергии и испускающей способности. Числа справа показывают степень точности, с которой закон Вина подтверждается опытом.

На рис. 2 представлены распределения энергии излучений абсолютно черного тела по Дитчберну [Дитчберн, 1965]. Анализ графиков (рис. 1, 2) показывает, что отклонения расчетного значения $\xi'_{v,T}$ распределения лучеиспускательной способности абсолютно черного тела от общепринятого $\xi_{v,T}$ находятся

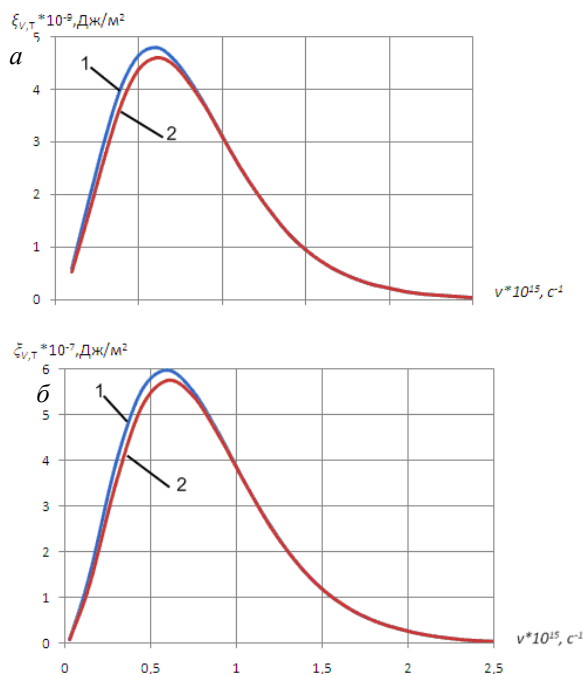


Рис. 1. Распределения (1 – общепринятое, 2 – расчетное) лучеиспускательной способности абсолютно черного тела при $T=2000$ К (а) и $T=10000$ К (б).

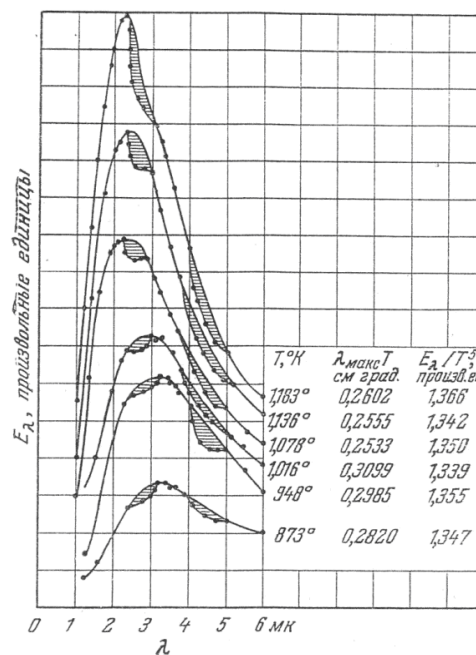


Рис. 2 Типичные кривые распределения энергии в излучении абсолютно черного тела.

в основном в интервале одних и тех же частот, что и зоны поглощения энергии воздухом (рис. 2). Это говорит о необходимости проведения дополнительных исследований в диапазоне частот, где наблюдаются максимальные отклонения распределений.

Второе слагаемое выражения (2), которое в дальнейшем будет обозначаться через $\xi_{iv,T}$ напоминает функцию максвелловского распределения плотности вероятности частиц по энергиям при соприкосновении в нем равенства

$$2hv = \xi_1 + \xi_2, \quad (3)$$

где ξ_1 и ξ_2 – энергия взаимодействующих частиц (требуется уточнение, каких частиц).

После некоторых преобразований функции $\xi_{iv,T}$ [Левич, 1969] с учетом равенства (3) для случая $\xi_1 = \xi_2$ получим

$$\xi_{iv,T} = \frac{\pi^2 (kT)^2}{2h^2 C^2} f^2(\xi) \xi, \quad (4)$$

где $f(\xi)$ – функция максвелловского распределения плотности вероятности частиц по энергиям.

Выражение (4) может быть результатом взаимодействия электронного газа, находящегося в замкнутом пространстве, с атомами нагретого тела и характеризовать индуцированное излучение, на существование которого указывал Эйнштейн [Эйнштейн, 1966].

Таким образом, равновесное излучение состоит из суммы двух излучений. Одно является спонтанным (первое слагаемое в (2)), и подчиняется распределению Вина, а второе индуцированным (вынужденным), определяемым выражением (4).

В связи с тем, что за основу описания лучеиспускательной способности абсолютно черного тела принята функция (2), то изменятся также значения постоянных Стефана–Больцмана и Вина [Сапожников, 1990; 2010].

Постоянную Стефана–Больцмана определим исходя из интегральной излучательной способности абсолютно черного тела

$$\xi_1 = \int_0^\infty \frac{2\pi h\nu^3}{c^2 \exp(h\nu/kT)} d\nu + \int_0^\infty \frac{2\pi kT\nu^2}{c^2 \exp(2h\nu/kT)} d\nu. \quad (5)$$

Произведем замену переменной. Обозначим через $x = h\nu/kT$, так что $d\nu = \frac{kT}{h} dx$.

Тогда

$$\xi_1 = \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^\infty x^3 e^{-x} dx + \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^\infty x^2 e^{-2x} dx = \sigma T^4,$$

где $\sigma = \frac{12\pi k^4}{c^3 h^3} + \frac{\pi k^4}{c^2 h^3}$ или $\sigma = 5.4573 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 (\text{К})^4$, что на 3.76 % меньше общепринятого значения.

Выразим функцию (2) в шкале длин волн λ и после ее дифференцирования приравняем производную нулю:

$$y^2 - (4 - 2y)e^{-y} - 5y = 0, \quad (6)$$

где $y = hc/kT\lambda_m$, λ_m – длина волны, соответствующая максимальному значению излучательной способности абсолютно черного тела $\xi_{\lambda,T}$.

Трансцендентное уравнение (6) имеет единственный корень $y = 4.992$. Тогда постоянная Вина

$$\text{будет равна } \epsilon = \lambda_m T = \frac{hc}{4.992k} \text{ или } \epsilon = 2.882 \cdot 10^{-3} \text{ мК},$$

что на 0.55 % меньше общепринятого и находится в пределах значений, полученных при экспериментальных исследованиях [Дитчберн, 1965].

Проведенные исследования позволяют выдвинуть гипотезу о наличии в равновесном излучении квантов, частота которых прямо пропорциональна энергии взаимодействующих частиц, подчиняющихся максвелловскому распределению.

Экспериментальное подтверждение гипотезы может расширить наши знания о равновесном излучении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Статистическая физика. Ч. 1. Серия «Теоретическая физика», Т. V. М.: Физматлит, 2005. С. 189–224.
- Яворский Е.М., Детлаф А.А. Курс физики. Т III. Учебник. Высшая школа. М., 1972. С. 225.
- Апанасевич П.А., Айзенштадт В.С. Таблицы распределения энергии частиц в спектре равновесного излучения. Минск. Академия наук БССР. 1961. С. 280.
- Дитчберн Р. Физическая оптика: пер. с англ. М.: Наука, 1965. С. 521.
- Левич В.Г. Курс теоретической физики. Т. 1. М.: Наука, 1969. С. 372–375.
- Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. III. М.: Наука, 1966. С. 393–406.
- Сапожников Ф.Д. К вопросу о равновесном излучении. Сборник докладов Всесоюзной конференции ФЕНИД-90 «Нетрадиционные научные идеи о природе и ее явлениях». Том III. Гомель, 1990. С. 340–342.
- Сапожников Ф.Д. О черном излучении. // Актуальные проблемы современной науки. М.: Компания Спутник+, 2010. № 5. С. 89–92.

Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск