

абсолютно черным телам. Действительно, толстая газовая оболочка звезд не может обладать большой отражательной способностью. Следовательно, поглощательная способность звезд должна быть близка к единице. Фотографируя спектр звезды и определяя по почернению пластинки длину волны, отвечающую наибольшей отдаче энергии, определяем достаточно точно температуру звезды.

При определении температуры по формуле Вина можно воспользоваться термозлементом, отыскивая с его помощью то место спектра, в котором излучение несет наибольшую энергию.

§ 34. Пирометры. Тепловые источники света

Для определения высоких температур с помощью законов Стефана — Больцмана или Вина пользуются приборами, получившими название пирометров.

На рис. 1.143 приведена схема радиационного пирометра. При измерениях прибор, расположенный достаточно далеко от источника излучения, наводят на него так, чтобы объектив O дал на приемнике Π резкое изображение источника I . При этом изображение обязательно должно перекрыть весь приемник. Оптические системы изменяют линейные и угловые размеры изображения, но при этом его яркость всегда равна яркости источника. Таким образом, если площадь приемника равна s , то он поглощает ровно столько же энергии, сколько испускает такая же площадка s излучателя (пренебрегая, конечно, потерями в линзах, которые можно достаточно точно учесть).

В качестве приемника в радиационных пирометрах употребляются чаще всего термопары или болометры. Иногда употребляется и биметаллическая спираль, изгибающаяся при нагревании. Определяя энергию, поглощаемую пирометром, находят по закону Стефана — Больцмана температуру абсолютно черного излучателя.

Точность метода определяется тем, что энергия пропорциональна высокой степени температуры. Логарифмируя и дифференцируя равенство (33.3), получаем:

$$\frac{dE}{E} = 4 \frac{dT}{T}. \quad (34.1)$$

Следовательно, при измерении энергии с относительной точностью $\frac{\Delta E}{E}$ до 4%, можно определить температуру с точностью $\frac{\Delta T}{T}$ до 1%.

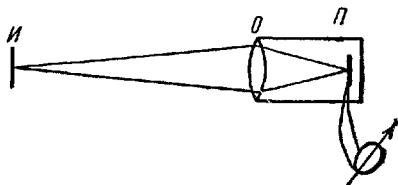


Рис. 1.143.

На рис. 1.144 приведена схема часто применяемого оптического пирометра — с исчезающей нитью. В фокусе объектива O помещается электрическая лампа L с нитью, изогнутой в виде полуокружности. При помощи окуляра Γ наблюдается нить лампы и совмещенное с ней (при помощи объектива) изображение поверхности

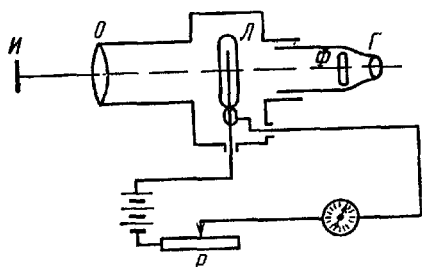


Рис 1 144.

источника света. Как указывалось выше в § 8, яркость этого изображения равна яркости исследуемого источника. Наблюдение ведется при помощи светофильтра Φ , пропускающего узкую полосу длин волн в области 660 нм . При помощи реостата P накал лампы меняется так, чтобы нить на фоне излучающего предмета исчезала. Если исследуемый источник — также раскаленная нить, то

наблюдается место их пересечения. При недостаточном накале лампы в приборе место пересечения представляется темным пятном, при повышенном — светлым. Таким образом, устанавливается накал нити, при котором ее лучеиспускательная способность в области $\lambda = 660 \text{ нм}$ совпадает с лучеиспускательной способностью исследуемого тела.

Предварительно пирометр градуируется по абсолютно черному телу, т. е. устанавливается, при какой силе тока в лампе она излучает в области 660 нм как абсолютно черное тело данной температуры. Проградуировав таким образом пирометр, можно, наблюдая абсолютно черный излучатель, определять его температуру непосредственно по показаниям амперметра.

У всех природных тел $\alpha_{\lambda, T}$ меньше единицы. Так, для сажи коэффициент поглощения близок к $0,99$, а для полированных металлов он составляет всего лишь несколько сотых. Соответственно и $e_{\lambda, T}$ всегда меньше $E_{\lambda, T}$. Особенно существенно, что сам вид функции $e_{\lambda, T}$, как правило, отличается от функции $E_{\lambda, T}$. Исключения составляют так называемые серые тела, для которых a в широком интервале частот остается постоянной. В этом интервале частот $e_{\lambda, T}$ отличается от $E_{\lambda, T}$ только постоянным множителем.

При

$$a_{\lambda, T} = \text{const} = a_0 < 1 \quad (34.2)$$

имеем:

$$e_{\lambda, T} = a_0 E_{\lambda, T} \quad (34.3)$$

т. е. распределение энергии в спектре серого тела такое же, как и у черного тела, но величина энергии меньше ($a_0 < 1$).

Температуру серых тел можно измерять, определяя энергию отдаваемого ими излучения с помощью закона Стефана — Больцмана. При этом нужно только постоянную σ умножить на a_0 , так как в силу (34.3) полный поток излучения серого тела уносит с собой энергию, в a_0 раз меньшую.

Такой же метод применяют для определения температуры и несерых тел. Его приходится применять поневоле, когда температура тела становится слишком высокой для применения других методов. Радиационный пирометр, проградуированный на абсолютно черное тело, покажет температуру, которой должно обладать абсолютно черное тело для того, чтобы его суммарное излучение равнялось излучению рассматриваемого тела. Полученную температуру называют радиационной температурой тела.

В силу того, что абсолютно черное тело испускает излучение интенсивнее нечерных, его суммарное излучение будет соответствовать более низкой температуре, чем температура изучаемого нечерного тела. Таким образом, измеряемая пирометром радиационная температура всегда ниже истинной температуры нечерных тел. Для того чтобы по радиационной температуре определить истинную, надо знать отношение суммарных испускательных способностей абсолютно черного и изучаемого тел. Это отношение a_T меняется с температурой. В таблице приведены некоторые данные.

Вещество	T°, K	a_T	Вещество	T°, K	a_T
Вольфрам	1500	0,15	Железо	1500	0,11
»	2500	0,29	Окись железа	1500	0,89
»	3500	0,34	Никель	1500	0,06
Молибден	1500	0,12	Окись никеля	1500	0,85
»	2500	0,23	Платина	1500	0,13
Тантал	2500	0,25	Медь расплавленная	1500	0,13
Уголь	1500	0,52			
Серебро	1500	0,04	Окись меди	1500	0,54

Следовательно, для вольфрама, например, при радиационной температуре $725^\circ K$ истинная температура будет равна $\frac{725}{0,29} = 2500^\circ K$.

Это не означает, конечно, что черное тело при температуре $725^\circ K$ служило бы таким же хорошим источником света, как и вольфрам при температуре 2500° . Оно действительно отдавало бы

с излучением столько же энергии в сумме на всех частотах, но интенсивность в видимой части спектра оказалась бы много меньше.

Для нечерных тел определение температуры по положению максимума в спектре, согласно закону Вина, вообще говоря, не имеет смысла, так как для них распределение энергии по частотам отличается от планковского. Исключение составляют серые тела, для которых в широком интервале частот коэффициент поглощения остается приближенно постоянным. Такими «серыми» телами являются уголь, окислы, некоторые металлы. В случае, когда тело не является серым, но его спектр излучения по характеру не слишком отличается от спектра абсолютно черного тела некоторой температуры, по максимуму его излучения условно определяют температуру, называя ее цветовой температурой тела. Таким образом, так называемая цветовая температура есть температура абсолютно черного тела, максимум излучения которого совпадает с максимумом данного тела.

Сопоставление графиков распределения энергии в спектре абсолютно черного тела при температурах 6000° и 6500° и графика распределения энергии в солнечном спектре, показывает, что Солнцу можно приписать цветовую температуру, равную примерно 6500° .

Для определения истинной температуры нужно знать испускательную способность для разных длин волн, вернее отношение лучеиспускательных способностей данного тела и абсолютно черного. На методах определения истинной температуры, ввиду их сложности, мы не останавливаемся.

При использовании для определения температур нечерных тел пирометра с исчезающей нитью мы также узнаем не истинную температуру тел, но ту температуру, которую должно иметь абсолютно черное тело для того, чтобы оно испускало излучение, которое пропускается используемым светофильтром в той же области спектра, что и исследуемое тело. Эту температуру называют яркостной температурой тела. Очевидно, что яркостная температура тела для разных участков спектра различна. Она также ниже истинной температуры излучателя. Для определения истинной температуры по яркостной достаточно знать

отношение $\frac{e_{\lambda, T}}{E_{\lambda, T}}$ в той области спектра λ , которая пропускается используемым светофильтром. В приводимой ниже таблице приведены некоторые отношения для $\lambda = 660 \text{ нм}$.

На первый взгляд могло бы показаться, что абсолютно черные или близкие к ним по свойствам тела должны быть наилучшими источниками света. Действительно, при данной температуре абсолютно черное тело и в видимой области спектра отдает с излуче-

нием больше энергии, чем любое другое тело. Далее, выгодно, казалось бы, стремиться к достижению наибольших возможных температур — ведь общая интенсивность излучения, согласно закону Стефана — Больцмана, возрастает как T^4 .

Вещество	$\frac{e_{\lambda, T}}{E_{\lambda, T}}$	Вещество	$\frac{e_{\lambda, T}}{E_{\lambda, T}}$
Молибден при температуре 1500° К	0,32	Железо при температуре плавления	0,36
Молибден при температуре 2500° К	0,35	Оксид железа при температуре 1500° К	0,92
Тантал при температуре 1500° К	0,44	Никель при температуре плавления	0,37
Тантал при температуре 2500° К	0,41	Оксид никеля при температуре 1500° К	0,87
Уголь при температуре 1500° К	0,89	Платина твердая	0,31
Уголь при температуре 2500° К	0,84	Платина жидкая	0,35
Серебро при температуре плавления	0,05	Медь расплавленная (при температуре 1500° К)	0,15
Серебро расплавленное	0,07	Оксид меди при температуре 1500° К	0,60
		Оксид меди при температуре 1000° К	0,80

В действительности это не так. Следует учесть, что абсолютно черное тело и близкие к нему по свойствам тела отдают энергию с излучением всех возможных частот, причем на долю видимого излучения падает сравнительно очень небольшая относительная энергия. Она оказывается наибольшей, когда максимум планковской кривой приходится на излучение с длиной волны ~ 555 нм (желто-зеленая часть спектра), к которой человеческий глаз наиболее чувствителен. Этому положению максимума, согласно закону смещения Вина, отвечает температура 5200° К. Наибольшая чувствительность человеческого глаза в этой части спектра не случайна — именно такой характер имеет солнечный спектр после прохождения через атмосферу, в которой он частично поглощается и рассеивается. В соответствии с тем, что цветовая температура солнечного излучения у поверхности земли составляет 5200°, в светотехнике принято называть «белым светом» излучение абсолютно черного тела температуры 5200° К.

Что касается нечерных тел, то мы можем представить себе нечерное тело, которое при данной температуре будет обладать повышенной избирательной светоотдачей («селективной светоотдачей») именно в видимой области спектра. Так, например, вольфрам

при температуре в 2450° отдает в видимой части спектра излучение, энергия которого составляет 40% энергии излучения абсолютно черного тела в той же области спектра. В инфракрасной же области он отдает всего 20% инфракрасного излучения абсолютно черного тела. Поэтому вольфрам является более выгодным источником света.

К сожалению, максимум излучения при этой температуре отвечает далекой инфракрасной области ($\lambda=1,1 \text{ мк}$), а дальнейшее значительное повышение его температуры невозможно, так как нить лампы будет быстро разрушаться.

Для уменьшения испарения нити применяют наполнение баллонов ламп нейтральными газами (азот, аргон). При этом удается поднять температуру нити, без существенного уменьшения срока ее работы, до $2700-2900^{\circ}$. Излучение такой лампы приятнее для глаза, так как спектр ее ближе к спектру «белого» света. Светоотдача сильно возрастает; для того чтобы оценить, как быстро растет светоотдача с ростом температуры, приведем следующие примеры: светоотдача платины при температуре белого каления растет как четырнадцатая степень температуры; в излучении черного тела с температурой 1800° К интенсивность желтых лучей возрастает вдвое при увеличении температуры на 4%, т. е. до 1875° К . Но зато возникают новые потери — вследствие теплопроводности газа. Поэтому коэффициент полезного действия газонаполненных ламп возрастает незначительно, не превышая для малых ламп 2%. Уменьшение потерь на теплопроводность достигается сворачиванием нити лампы в спираль, в которой отдельные витки «обогревают» друг друга. Этот метод изготовления ламп сейчас широко применяется.

Весьма высокую светоотдачу в видимой части спектра можно получить при свечении паров некоторых металлов. Так, например, пары натрия отдают около $\frac{1}{3}$ энергии с излучением в видимой части спектра. Однако пользоваться им можно только для специальных целей. Дело в том, что пары натрия отдают основную часть энергии с двумя желтыми линиями ($\lambda=589 \text{ нм}$ и $589,6 \text{ нм}$), что для глаза очень неприятно. Ими пользуются для освещения загородных дорог. О других типах источников света, в частности о люминесцентных лампах «дневного света» с высокой светоотдачей, см. § 40.
