Распределение энергии в спектре. Ни один из источников не даёт монохроматического света, т. е. света строго определённой длины волны. В этом нас убеждают опыты по разложению света в спектр с помощью призмы, а также опыты по интерференции и дифракции.

Та энергия, которую несёт с собой свет от источника теплового излучения, распределена неравномерно по волнам всех длин волн (или частотам), входящим в состав светового пучка, или на единичном интервале длин волн. Плотность потока электромагнитного излучения, или интенсивность I, как известно из § 36, определяется энергией AW, приходящейся на все частоты. Для характеристики распределения излучения по частотам нужно ввести новую величину — спектральную плотность потока излучения.

Спектральной плотностью потока излучения называют интенсивность излучения, приходящегося на единичный интервал частот.

Обозначим её через 1(у). Тогда интенсивность излучения, приходящегося на небольшой спектральный интервал Av, равна /(v)Av. Суммируя подобные выражения по всем частотам спектра, мы получим плотность потока излучения I.

Спектральную плотность потока излучения на разных частотах можно найти экспериментально. Для этого надо с помощью призмы получить спектр излучения, например электрической дуги, и измерить плотность потока излучения, приходящегося на небольшие спектральные интервалы шириной Av.

Зрительно оценить (приблизительно) распределение энергии нельзя, так как глаз обладает избирательной чувствительностью к свету: максимум его чувствительности лежит в жёлто-зелёной области спектра. Лучше всего воспользоваться свойством чёрного тела почти полностью поглощать свет всех длин волн.

При этом энергия падающего на поверхность тела излучения (света) вызывает его нагревание. Поэтому достаточно измерить температуру тела и по ней судить о количестве поглощённой в единицу времени энергии и соответственно об энергии, которую тело может излучать.

По результатам таких опытов построена кривая зависимости спектральной плотности интенсивности излучения от частоты (рис. 9.1). Эта кривая даёт наглядное представление о распределении энергии в видимой части спектра электрической дуги.

Спектральные аппараты. Приборы, дающие чёткий спектр, т. e. хорошо разделяющие волны различной длины волны и не допускающие (или почти не допускающие) перекрывания отдельных участков спектра, называют спектральными аппаратами. Их основной частью является призма или дифракционная решётка.

Рассмотрим, например, схему устройства призменного спектрального аппарата (рис. 9.2). Исследуемое излучение поступает вначале в часть прибора, называемую коллиматором. Коллиматор представляет собой трубу, на одном конце которой имеется ширма с узкой щелью, а на другом — собирающая линза L1. Щель находится на фокусном расстоянии от линзы. Поэтому расходящийся световой пучок, попадающий на линзу из щели, выходит из неё параллельным пучком и падает на призму Р.

Так как разным частотам соответствуют различные показатели преломления, то из призмы выходят параллельные пучки, не совпадающие по направлению. Они падают на линзу L2. На фокусном расстоянии от этой линзы располагается экран — матовое стекло или фотопластинка. Линза L2 фокусирует параллельные пучки лучей на экране, и вместо одного изображения щели получается целый ряд изображений. Каждой частоте (точнее, узкому спектральному интервалу) соответствует своё изображение. Все эти изображения вместе и образуют спектр.

Этот прибор называется спектрографом. Если вместо второй линзы и экрана используется зрительная труба для визуального наблюдения спектров, то такой прибор называется спектроскопом.

Виды спектров. Все спектры, как показывает опыт, можно разделить на три типа.

Непрерывные (или сплошные) спектры. Солнечный спектр и спектр дугового фонаря являются непрерывными.

Непрерывным (или сплошным) называют спектр, в котором представлены волны всех длин волн в данном диапазоне.

В спектре нет разрывов, и на экране спектрографа можно видеть сплошную разноцветную полосу (см. рис. V, 1 на цветной вклейке).

Распределение энергии по частотам, т. е. спектральная плотность интенсивности излучения, для разных тел различно. Например, тело с очень чёрной поверхностью (в идеале абсолютно чёрное тело) излучает электромагнитные волны всех частот, но кривая зависимости спектральной плотности интенсивности излучения от частоты имеет максимум при определённой частоте vmax (рис. 9.3). Энергия излучения, приходящегося на очень малые (v —\* 0) и очень большие (v —\*■ °°) частоты, ничтожно мала. При повышении температуры тела максимум спектральной плотности излучения смещается в сторону коротких волн закон Вина, см. § 102).

Непрерывные (или сплошные) спектры дают тела, находящиеся в твёрдом или жидком состоянии, а также сильно сжатые газы. Непрерывный спектр даёт также высокотемпературная плазма. Для получения непрерывного спектра нужно нагреть тело до высокой температуры. Полная излучательная способность тела (абсолютно чёрного тела) прямо пропорциональна четвёртой степени его абсолютной температуры (закон Стефана-Больцмана, см. § 102): I - Г4.

Характер непрерывного спектра в сильной степени зависит от взаимодействия атомов друг с другом.

Линейчатые спектры. Внесём в бледное пламя газовой горелки кусочек асбеста, смоченный раствором обыкновенной поваренной соли. При наблюдении пламени в спектроскоп увидим, как на фоне едва различимого непрерывного спектра пламени вспыхнет яркая жёлтая линия (см. рис. V, 2 на цветной вклейке). Эту жёлтую линию дают пары натрия, которые образуются при расщеплении молекул поваренной соли в пламени. На цветной вклейке приведены также спектры водорода и гелия.

Спектры, представляющие собой цветные линии различной яркости, разделённые широкими тёмными полосами, называют линейчатыми.

Наличие линейчатого спектра означает, что вещество излучает свет только вполне определённых длин волн (точнее, в определённых очень узких спектральных интервалах). На рисунке 9.4 показано примерное распределение спектральной плотности интенсивности излучения в линейчатом спектре. Каждая линия имеет конечную ширину.

Линейчатые спектры дают все вещества в газообразном атомарном (но не молекулярном) состоянии. В этом случае свет излучают атомы, которые практически не взаимодействуют друг с другом. Это самый фундаментальный, основной тип спектров.

Изолированные атомы излучают свет строго определённых длин волн.

Полосатый спектр — это спектр, состоящий из отдельных полос, разделённых тёмными промежутками.

С помощью очень хорошего спектрального аппарата можно обнаружить, что каждая полоса представляет собой совокупность большого числа очень тесно расположенных линий.

В отличие от линейчатых спектров, полосатые спектры образуются не атомами, а молекулами, не связанными или слабо связанными друг с другом.

Для наблюдения молекулярных спектров, так же как и для наблюдения линейчатых спектров, используют свечение паров вещества в пламени или свечение газового разряда.

Спектры поглощения. Все вещества, атомы которых находятся в возбуждённом состоянии, излучают световые волны. Энергия этих волн определённым образом распределена по длинам волн. Поглощение света веществом также зависит от длины волны. Так, красное стекло пропускает волны, соответствующие красному свету (X ~ 8 • 10-5 см), и поглощает все остальные.

Если пропускать белый свет сквозь холодный, не излучающий газ, то на фоне непрерывного спектра источника появляются тёмные линии (см. рис. V, 5—8 на цветной вклейке). Газ поглощает наиболее интенсивно свет именно тех длин волн, которые он сам испускает в сильно нагретом состоянии.

Тёмные линии на фоне непрерывного спектра — это линии поглощения, образующие в совокупности спектр поглощения.

Спектральный анализ. Линейчатые спектры имеют большое значение, потому что их структура тесно связана со строением атома.

Главное свойство линейчатых спектров в том, что длины волн (или частоты) линейчатого спектра вещества зависят только от свойств атомов этого вещества, но совершенно не зависят от способа возбуждения свечения атомов.

Атомы любого химического элемента дают спектр, непохожий на спектры всех других элементов: они способны излучать строго определённый набор длин волн.

Спектральный анализ — метод определения химического состава вещества по его спектру.

С помощью спектрального анализа можно обнаружить любой элемент в составе сложного вещества, даже если его масса не превышает 1(Г10 г. Это очень чувствительный метод.

В настоящее время определены спектры всех атомов и составлены таблицы спектров. С помощью спектрального анализа были открыты многие новые элементы: рубидий, цезий и др. Элементам часто давали названия в соответствии с цветом наиболее интенсивных линий их спектров. Рубидий даёт тёмно-красные, рубиновые линии. Слово цезий означает «небесно-голубой». Это цвет основных линий спектра цезия. Именно с помощью спектрального анализа узнали химический состав Солнца и звёзд.

Благодаря сравнительной простоте и универсальности спектральный анализ является основным методом контроля состава вещества в металлургии, машиностроении, атомной индустрии. С помощью спектрального анализа определяют химический состав руд и минералов.

Спектральный анализ можно проводить не только по спектрам испускания, но и по спектрам поглощения. Именно линии поглощения в спектрах Солнца и звёзд позволяют исследовать химический состав этих небесных тел. Ярко светящаяся поверхность Солнца — фотосфера — даёт непрерывный спектр. Солнечная атмосфера поглощает избирательно свет от фотосферы, что приводит к появлению линий поглощения на фоне непрерывного спектра фотосферы. Но и сама атмосфера Солнца излучает свет.

В астрофизике под спектральным анализом понимают не только определение химического состава звёзд, газовых облаков и т. д., но и методы нахождения по спектрам многих других физических характеристик этих объектов: температуры, давления, скорости движения, магнитной индукции.