

Температурное излучение газов и спектры светил.

(1) Megh Nad Saha. On the problems of temperature radiation of gases. Philosophical Magazine 41, 267-1921.

(2) Megh Nad Saha. Versuch einer Theorie der physikalischen Erscheinungen bei hohen Temperaturen mit Anwendung auf die Astrophysik. Zeitschrift für Physik, 6, 40, 1921.

Исходная мысль ряда интересных работ индийского физика Saha заключается в следующем. До последнего времени термодинамика в ее применениях занималась, главным образом, такими физическими процессами, как плавление и испарение и химическими процессами диссоциации молекул. Что произойдет, однако, при нагревании газа, состоящего из атомов? Современная теория строения атомов приводит к необходимости частичной ионизации газа в этом случае. В нагретых парах кальция должен, например, происходить такой процесс:



где Ca^+ — ионизованный атом кальция, e — электрон. Зависимость концентраций трех компонентов процесса (1) от температуры и давления при равновесии может быть найдена по методу Nernst'a.

Для нахождения энергии, требуемой для ионизации, можно воспользоваться значениями ионизационного потенциала элементов, тщательно определенного в последнее время работами Franck'a, Hertz'a, Mac Lennan'a и др. Такой расчет будет, однако, не совсем правильным. Между нормальным и ионизованным атомом существуют по теории Bohra промежуточные устойчивые стационарные состояния, поэтому возможно, что атом при нагревании не сразу ионизируется, а переходит в промежуточное устойчивое состояние, или же ионизируется, но не из нормального, а из промежуточного состояния. В настоящее время нет еще данных для количественного учета этих оложнений, приходится поэтому ограничиваться только простейшей, приближенной схемой.

Эти простые соображения позволяют Saha разрешить, хотя бы качественно, целый ряд физических и астрофизических задач.

1. Заранее можно ожидать, что чем выше резонансный потенциал (а одновременно также ионизационный потенциал) элемента, тем труднее чисто температурным путем возбудить излучение линейного спектра. Это подтверждается опытом. Такие постоянные газы, как H_2 , He , N_2 , O_2 , и т. д. не излучают линейного спектра, как показывают опыты Pringsholm'a и др. даже при самых высоких лабораторных температурах.

С другой стороны, спектры таких элементов, как J , Br , As , S , Se , Sb , щелочных и щелочно-земельных металлов получаются уже при сравнительно низких температурах, как показал King. Этот ряд почти параллелен ряду ионизационных потенциалов. Ионизационный потенциал постоянных газов особенно высок. Таким образом разрешается старый спор о существовании особого „температурного возбуждения“ и „электрического возбуждения“ свечения элементов. Неподчинение правилу Kirchhoff'a побочных серийных линий объясняется тем, что число атомов, валентные электроны которых находятся на двух-трех и т. д. квантовых орбитах, при низких температурах ничтожно.

2. Многие исследователи тщетно пытались обнаружить ионизацию при нагревании газа. Большая часть опытов производилась со ртутью. Но ртуть обладает высоким ионизационным потенциалом 10,45 V. Расчет (по методу Nernst'a) показывает, что ионизация ртути даже при 2000° и при давлении в 0,1 атм. будет практически незаметной. С другой стороны, в последнее время Nemesalech обнаружил ионизацию паров Li , Na , K , Rb , Cs при температурах от 2200—3000° (абс. шкала). Все эти элементы имеют маленький ионизационный потенциал.

3. Как известно, элементы в ионизованном состоянии излучают измененные спектры (так называемые „искровые“ спектры). Так, например, линия 422,7 μ принадлежит Ca , линия 393,4— Ca^+ . По наличию последней линии мы можем судить о наличии ионизованного кальция в данной газовой смеси. Отношение интенсивностей обеих линий дает возможность судить о степени ионизации. Например, в печи King'a (2500°) отношение яркостей линий 15, в вольтовой дуге (4000°)—0,8, в фотосфере солнца (7500°), в спектре Сириуса (10000°) практически 0.

4. Lockyer'у и Jansen'у впервые удалось получить фотографический снимок хромосферы солнца, при чем на основании снимка можно судить о яркости линий на различных высотах хромосферы. Анализ снимка дал неожиданные результаты. В высших слоях хромосферы наиболее яркая линия принадлежит Ca^+ , а не водороду, с другой стороны, в высоких слоях хромосферы особенно заметны „искровые“ линии тяжелых металлов. Для объяснения этого факта Lockyer предложил странную гипотезу о повышении температуры с высотой. Между тем анализ равновесия между нейтральными и ионизованными атомами, на основании теоремы Neigst'a, позволяет заключить, что процент ионизованных атомов увеличивается не только при повышении температуры, но и при уменьшении давления. Например, для кальция процент ионизованных атомов с уменьшением давления при $T = 6000^\circ$ изменяется так (таблица 1):

ТАБЛИЦА 1.

Давление в атм.	% ионизованных атомов.
10	2
1	8
0,1	26
0,01	64
0,001	93
0,0001	99

Приняв во внимание это обстоятельство и, кроме того, вспомнив, что ионизационный потенциал $H=17,1$ V, а $Ca=6,12$ V, мы получаем простое объяснение спектра хромосферы.

5. Спектроскопические исследования обнаруживают на солнце наличие только 32 элементов из 92, известных на земле. По мнению Saha, причина этого не в том, что 60 элементов отсутствуют на солнце, а исключительно в том, что в доступной нам спектральной области солнца возбуждаются при термодинамических условиях солнечной поверхности (7000—7500°, 0,1—1 атм. давления) только линии 32 элементов. Например Rb и Cs должны быть полностью ионизованы при этих условиях, но соответствующие спектральные линии ионизованных Rb и Cs лежат в ультрафиолетовой области, недоступной наблюдению. Линии натрия очень интенсивны в солнечном спектре поглощения, но их нет в верхних слоях хромосферы, так как здесь, вследствие ничтожного давления, натрий полностью ионизован. Вследствие огромной ионизации верхних слоев хромосферы внешняя оболочка солнечной атмосферы должна состоять из электронов, играющих, несомненно, первостепенную роль в явлениях земного магнетизма и северных сияний.

6. Анализ звездных спектров позволяет построить вполне рациональную систему „спектральных типов звезд“, введенную чисто эмпирически астрономами. Анализ может основываться в первом приближении на нескольких линиях наиболее типичных элементов H , He , Ca , Sr , K . Для иллюстрации приводим выборки одной из таблиц Saha (таблица 2):

ТАБЛИЦА 2.

№	Спектр.	Звездный класс.	Температура	Примечания.
1	Появляется линия Ca^+ 393,4 μ	<i>Mc</i>	4000° абс.	<i>Ca</i> начинает ионизироваться.
2	Исчезает линия <i>Ca</i> 422,7 μ .	<i>B 8 A</i>	13000°	<i>Ca</i> совершенно ионизирован.
3	442,7 μ исчезает.	<i>Oc</i>	20000°	Ca^+ ионизуется совершенно в Ca^{++} .
4	He^+ 468,6 появляется.	<i>B 2 A</i>	17000°	Ионизованный гелий.
5	He^+ 468,6 исчезает.	<i>Pe</i>	30000°	He^+ полностью ионизуется в He^{++} .

Вообще говоря, типические звездные спектры всех классов от *O* до *N* служат иллюстрацией тех физических явлений, которые разворачиваются при переходе от 4000° до 30.000°.

На основании изложенных соображений приходится отказаться от мысли многих астрономов построить теорию эволюции химических элементов, аналогичную теории *Darwin*'а. Звездные спектры открывают нам только термодинамическое состояние их поверхности, а не химический состав. Спектры так называемых „прото-элементов“ астрономов в большинстве случаев удается отождествить со спектрами ионизованных атомов обычных элементов.

С. Василев.