ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА КИСЛОРОДА НА СОЛНЦЕ

Прежние оценки количества кислорода на Солнце, основанные на измерениях интенсивности двух абсорбционных мультиплетов, расположенных в инфракрасной области солнечного спектра (около 7773 и 8446 Å), имели существенный дефект. Крайне высокие потенциалы возбуждения обоих разрешённых инфракрасных мультиплетов — 9,11 и 9,48 вольт соответственно — приводят к тому, что больцмановские факторы, определяющие отношение числа молекул, находящихся в основном состоянии, к числу молекул, находящихся в нижнем состоянии того или иного из наблюдаемых мультиплетов, оказываются очень большими — порядка 10^9. Кроме того, эффективная температура возбуждения, знание которой необходимо для нахождения больцмановских факторов, соответствующих этим состояниям с высокими потенциалами возбуждения, может значительно отличаться от той температуры, которая получается из относительной интенсивности принадлежащих металлам линий, имеющих малые потенциалы возбуждения причём отличие это остаётся неизвестным.

Такая неуверенность в температуре возбуждения, вместе с большими значениями больцмановских факторов, создаёт существенную неопределённость и в определении числа кислородных атомов в обращающем слое.

Выход из этого затруднения был найден Боуэном *). Использованный им приём, позволивший достаточно надёжно определить температуру возбуждения и количество атомов кислорода в обращающем слое Солнца, повидимому, найдёт себе применение и в ряде других вопросов астрофизики. С этой точки зрения он представляет безусловный интерес.

Единственными линиями атомного кислорода, соответствующими низким потенциалам возбуждения и расположенными в доступной для астрофизических наблюдений области спектра, являются запрещённые линии с длинами волн 5577, 6300 и 6363 Å (см. таблицу).

Длина волны абсорбционной линии солнечного спектра $\lambda = 5577{,}344$ Å находится в хорошем согласии с измерениями длины волны известной зелёной линии полярных сияний (5577,350 Å) и лабораторными измерениями

*) I. S. Bowen, Rev. Mod. Phys. 20, № 1, 109 (1948).

(5577,348 и 5577,341 Å). Для остальных двух линий надёжные измерения длины волны отсутствовали вследствие того, что в земных условиях их интенсивность сравнительно мала. Однако их длины волн смогли быть с большой точностью определены по спектрам звезды HD 45677, где они выступают как резкие эмиссионные линии (см. таблицу). Соответствующие поправки на лучевую скорость звезды были найдены по линиям Fe II. Полученные из этих измерений значения термов $2p^4\ {}^3P_2$ и $2p^4\ {}^3P_1$ достаточно хорошо согласуются со значениями, полученными на основании разрешённых переходов в далёкой ультрафиолетовой области.

Все три запрещённые линии кислорода были получены и промерены автором на ряде спектрограмм (с дисперсией 0,34 и 0,7 Å/*мм*) солнечной поверхности как в центре диска, так и у восточного и западного краёв лимба (см. таблицу). Сопоставление спектрограмм показало, что линии эти имеют солнечное, а не теллурическое происхождение. На основании микрофотограмм была определена эквивалентная ширина W каждой из линий, как среднее из 6—11 независимых измерений. Вблизи края лимба она оказалась примерно на $^1/_4$ больше, чем в центре. Для инфракрасных линий эквивалентная ширина W определялась промером кривых из «Утрехтского фотометрического атласа спектра Солнца». Найденные таким образом значения W приведены в таблице.

Некоторое затруднение возникло с линией 6300 Å, так как не исключённым оказалось наложение слабой линии NiI с $\lambda = 6300{,}363$ Å. Сопоставление формы и полуширины различных линий кислорода и никеля привело автора к выводу, что наложение, вероятно, имеет место, но на долю линии никеля падает не более 10 — 30% общей эквивалентной ширины. Ввиду отсутствия достаточно надёжных данных этим эффектом автор пренебрёг.

Число атомов в обращающем слое, находящихся в нижнем состоянии, соответствующем данному переходу, определялось из эквивалентной ширины W по формуле:

$$N = \frac{Wmc^2}{f\pi e^2\lambda^2} = \frac{(2J''+1)\,8\pi cW}{(2J'+1)\,A\lambda^4},$$

где J'' и J' значения J в нижнем и верхнем состоянии соответственно и A — вероятность перехода. Поскольку интенсивность линий абсорбции невелика, постольку эта формула вполне применима.

Вероятности переходов для запрещённых линий были взяты из работы Пастернака. Для разрешённых линий, для которых такие данные отсутствуют, была произведена оценка фактора f с помощью правила Томаса-Кюна. Соответствующие данные приведены в таблице.

Температура возбуждения подбиралась из соображений получения наибольшего согласия в данных о количестве кислорода, получаемых на основании линий с малыми и большими потенциалами возбуждения. Автор указывает, что такой подбор весьма однозначен, ибо изменение температуры на 100° изменяет отношение количеств кислорода, полученных на основании указанных двух групп линий, в полтора раза. При этом, конечно, разрешённые линии с высокими потенциалами возбуждения используются в сущности только для определения температуры возбуждения, а количество кислорода определяется почти исключительно по запрещённым линиям с малыми потенциалами возбуждения.

В результате для температуры возбуждения получилось значение 5200°.

Среднее значение числа атомов на 1 *см*² обращающего слоя оказалось равным $7 \cdot 10^{20}$, что соответствует 18 *мг/см*². Это значение почти вдвое превосходит результаты предыдущих измерений.

Обсуждая возможности использования аналогичного приёма для определения количества углерода, азота, кремния и серы, автор приходит выводу, что для большинства линий этих элементов эквивалентная

Таблица

λ согласно таблицам и измерениям по HD 45677 в Å	λ по измерениям в спектре Солнца в Å	Переход	Вероятность перехода A^{-1} в сек.	f	Потенциал возбуждения в вольтах	Наблюдаемая эквивалентная ширина W в Å	Число атомов в нижнем состоянии	Полное число атомов на 1 $см^2$ поверхности обращающего слоя
5577,350	,341	$2p^4\ {}^1D - 2p^4\ {}^1S$	2,2	—	1,96	0,0036	$6 \cdot 10^{18}$	$9 \cdot 10^{20}$
6300,32	,331	$2p^4\ {}^3P_2 - 2p^4\ {}^1D$	0,0078	—	0,00	0,0047	$3 \cdot 10^{20}$	$5 \cdot 10^{20}$
6363,75	,830	$2p^4\ {}^3P_1 - 2p^4\ {}^1D$	0,0026	—	0,02	0,0018	$2 \cdot 10^{20}$	$6 \cdot 10^{20}$
7771,96	,954	$3s^5S - 3p^5P_3$	—	0,35	9,11	0,071	$4 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^{20}$
7774,18	,177	$3s^5S - 3p^5P_2$	—	0,25	9,11	0,065	$5 \cdot 10^{11}$	$6 \cdot 10^{20}$
7775,40	,395	$3s^5S - 3p^5P_1$	—	0,15	9,11	0,049	$6 \cdot 10^{11}$	$7 \cdot 10^{20}$
8446,35	,359	$3s^3S - 3p^3P_0$,	—					
8446,76	,741	$3s^3S - 3p^3P_1$	—	1,0	9,48	0,124	$2 \cdot 10^{11}$	$9 \cdot 10^{20}$
							Среднее	$7 \cdot 10^{20}$

ширина меньше $1 \cdot 10^{-3}$ Å, т. е. лежит за пределами современной техники измерений. Из остальных линий этих элементов линии углерода (8727,4 Å) и серы (7724,7 Å) не могут быть пока с уверенностью идентифицированы в солнечном спектре из-за недостаточной точности данных об их длинах волн, а линия кремния (10991,52 Å) расположена слишком близко к атмосферной линии 10991,40 Å, чтобы измерения эквивалентной ширины были бы сколько-нибудь надёжны. Таким образом, автор не видит возможности для уверенного определения количества указанных элементов на Солнце, что, впрочем, отнюдь не умаляет интереса предложенного им приёма и не исключает его применения к другим элементам.

Г. Розенберг.