

О ВОЗМОЖНОСТИ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ЛИНИЙ КВАРКОАТОМОВ $Mg\ q\ II$ И Hq
В СПЕКТРЕ СОЛНЦА

Л.А.Вайнштейн, С.Б.Пикельнер

В последнее время обсуждается возможность существования кварков - стабильных частиц с дробным электрическим зарядом $\pm 1/3$ или $\pm 2/3$. Ранее [1] было показано, что от начального периода расши-

рения горячей Вселенной должно было остаться $10^{-9} - 10^{-10}$ кварков на нуклон ¹). В дальнейшем кварки могли уничтожаться при температуре, достаточной для преодоления кулоновского барьера, но отрицательно заряженные кварки могли прилипать к ядрам, заряд которых защищал их от уничтожения. При $T \sim 10^6$ °К кварки с зарядом $-1/3$ отрываются от протонов и переходят на He, при $T \sim 10^7$ °К они переходят от He к более тяжелым элементам. В той же работе ставился вопрос о возможности обнаружения линий кваркоатомов в спектрах небесных объектов. В данной заметке этот вопрос рассматривается более детально.

Водородные линии излучения образуются при рекомбинациях и при возбуждении ударами. Можно показать, что эмиссии L_{α} водорода H и кварководорода Hq ($\lambda = 2733 \text{ \AA}$) при рекомбинациях относятся как $10 N_H / N_{Hq}$ (с учетом разницы в заряде). Возбуждение ударами несколько увеличивает свечение Hq - в 7-10 раз при $T \sim 15000^\circ$, но при более высокой температуре Hq практически полностью ионизован. Поскольку $N_q / N_H \sim 10^{-10}$, можно утверждать, что ни в одном из эмиссионных объектов (планетарные и диффузные туманности, оболочки сверхновых и квазизвездных источников, солнечная хромосфера и т.п.) линия $L_{q\alpha}$ не может быть наблюдаема. То же относится к линиям эмиссии других кваркоатомов, даже если кварки присоединены только к элементам тяжелее C.

Обнаружению линии поглощения $\lambda = 2733 \text{ \AA}$ в межзвездном газе мешает кроме малого числа большая степень ионизации ($\sim 10^7$) Hq . Более благоприятны условия для обнаружения линий поглощения в атмосфере Солнца и звезд, где количество атомов в столбе больше, чем в межзвездном газе. Если кварки остаются связанными с H, то в спектре Солнца линия Hq $2733,3 \pm 0,1 \text{ \AA}$ (неопределенность из-за неизвестной массы кварка) должна иметь эквивалентную ширину $W \sim 0,03 \text{ \AA}$ при обилии кварков 10^{-10} от H. В спектре Солнца [2] в этой области имеются бленды, но можно утверждать, что $W < 0,001 \text{ \AA}$. Следовательно, обилие Hq не превосходит $3,10^{-12}$. Нужно иметь в виду, что в основании конвективной зоны Солнца температура превышает 10^6 °К,

а вещество достаточно хорошо перемешивается. Поэтому кварки, вероятно, отделены от H и присоединены к He и более тяжелым элементам, а возможно и только к последним.

В этой связи представляют интерес резонансные линии $Mg\ q\ II$ и несколько менее обильного $Ca\ q\ II$. Mg составляет 2% тяжелых элементов. Оптическая толща в линиях $Mg\ II$ около 10^6 . Если обилие кварков 10^{-10} от H, то в линии $Mg\ q$ толща должна быть порядка 0,1 или 0,001 (если кварки присоединены к тяжелым элементам или He соответственно). В линии $Ca\ q\ II$ толща должна быть меньше почти на два порядка - в 18 раз из-за обилия, и в 4 раза из-за второй ионизации.

Положение центра тяжести дублета (Λ) для резонансной линии $Mg\ q\ II$ ($3s - 3p$) определялось интерполяцией к $Z = 5/3$ экспериментальных данных для $Na\ I$, $Mg\ II$, $Al\ III$. Очевидно, для обеспечения максимальной точности следует интерполировать величину ω , однозначно связанную с λ , но, возможно, меньше зависящую от Z . Если принять $\omega = Z\lambda$, то $\lambda = 3399\ \overset{\circ}{\text{A}}$ с вероятной ошибкой $\sim 30\ \overset{\circ}{\text{A}}$. Значительно более точный результат удастся получить путем обращения полумпирического метода, предложенного Вайнштейном [3]. При этом ω - масштабный множитель в потенциале одноэлектронного уравнения Шредингера. Для $Na\ I$, $Mg\ II$, $Al\ III$ ω определялось так, чтобы собственное значение ϵ уравнения совпадало с экспериментальным. Затем ω интерполируется на $Z = 5/3$ и определяются ϵ_{3s} , ϵ_{3p} и λ для $Mg\ q\ II$. Для характеристики точности метода можно использовать ошибку вычисления λ для $Mg\ II$ по данным для $Na\ I$ и $Al\ III$. После усреднения (с подходящим весом) результатов, полученных с учетом и без учета обмена и поляризации, было найдено значение длины волны (в воздухе) $\lambda = (3381 \pm 2,5)\ \overset{\circ}{\text{A}}$.

С вычислением дублетного расщепления $\Delta\lambda$ дело обстоит значительно проще, так как $\Delta\lambda$ очень мало зависит от Z . Интерполяция дает $\Delta\lambda = (6,87 \pm 0,05)\ \overset{\circ}{\text{A}}$, отсюда для сильной (коротковолновой) компоненты $\lambda_{3/2} = (3378,5 \pm 2,5)\ \overset{\circ}{\text{A}}$.

Аналогичные расчеты для $\text{Ca } q \text{ II}$ (по данным для KI , Ca II , Sc III) дают $\lambda_{3/2} = (4688 \pm 6) \text{ \AA}$ $\Delta \lambda = (34,62 \pm 0,05) \text{ \AA}$.

Для поисков возможных линий кваркоатомов мы использовали атлас Роуланда [4], контролируя его атласом Миннарта [5] и спектрограммами с высоким разрешением, полученными М.А.Лившицем. В результате было отобрано две пары неотожествленных линий, для которых $\lambda, \Delta \lambda$ и отношение интенсивностей 2:1 удовлетворяют указанной оценке (в скобках даны грубые значения эквивалентных ширин)

$$3378,07 (6) - 3384,93 (3);$$

$$3375,73 (20) - 3382,59 (6).$$

Для $\text{Ca } q \text{ II}$ были отобраны по [4] семь пар линий. Положение здесь еще более неопределенное, чем для $\text{Mg } q \text{ II}$, к тому же ожидаемая интенсивность линий слишком мала. Поэтому для сокращения не даем длин волн. Таким образом, наблюдения не противоречат наличию 10^{-10} кварков в солнечной атмосфере. В то же время остается желательным уменьшение неопределенности в определении параметров линий.

Выражаем благодарность М.А.Лившицу за помощь при отборе линий и Н.П.Байдиковой за помощь в вычислениях.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Государственный
астрономический институт
им. П.К.Штернберга

Поступило в редакцию
18 июля 1966 г.

Литература

- [1] Я.Б.Зельдович, Л.Б.Окунь, С.Б.Пикельнер. Успехи физ. наук, 88, 505, 1966.
- [2] H.C. McAllister. A preliminary photometr. atlas of the solar YU Spectrum from 1800 to 2965 \AA . USA 1960.

- [3] Л.А.Вайнштейн. Оптика и спектроскопия, 3, 317, 1957.
- [4] Ch.E.St.John, Ch.E.Moore, L.M.Ware, E.F.Adams, H.D.Babcock. Revised Rowlands Table, USA, 1928.
- [5] M.Minnaert, G.Mulders, J.Houtgast. Photometr. atlas of the solar spectrum, **Amsterdam 1940.**

I) Если в начальный момент Вселенная была холодной, кварков должно быть значительно меньше. Однако недавно обнаруженное реликтовое радиоизлучение свидетельствует в пользу горячей модели.