

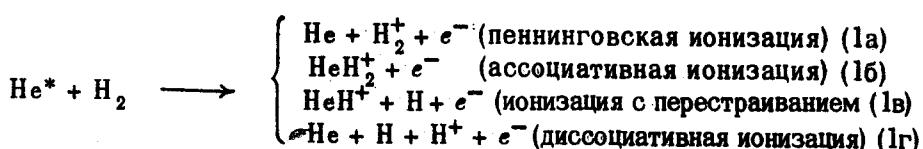
ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ АТОМОВ ВОДОРОДА
ПРИ ИОНИЗАЦИОННЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ
ОПТИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ $2^3 S_1$ АТОМОВ ГЕЛИЯ
С МОЛЕКУЛАМИ ВОДОРОДА

*С.П.Дмитриев, Р.А.Житников, В.А.Картошкин,
Г.В.Клементьев, А.И.Окуневич*

Сообщается о наблюдении спиновой поляризации атомов H и D, образующихся в результате ионизационных столкновений оптически ориентированных метастабильных атомов гелия с молекулами H₂ и D₂. Регистрация поляризованных атомов производилась по изменению электропроводности плазмы при магнитном резонансе.

Оптическая поляризация атомов водорода в основном состоянии является сложной задачей, поскольку переход $1s \rightarrow 2p$ лежит в области вакуумного ультрафиолета ($\lambda = 1216 \text{ \AA}$). По этой причине до сих пор ориентация атомов водорода осуществлялась только посредством спинового обмена с оптически ориентированными атомами щелочных металлов (Na, Rb) [1,2]. В настоящей работе поляризация атомов водорода осуществлена за счет совершенно другого механизма — процесса ионизации молекул водорода оптически ориентированными атомами гелия в метастабильном 2^3S_1 состоянии.

В камере поглощения, содержавшей смесь He⁴ (0,36 тор) и H₂ или D₂ (0,019 тор) (при 300 K), возбуждался слабый газовый разряд, переводивший часть атомов гелия ($10^{10} + 10^{11} \text{ см}^{-3}$) из основного 1^1S_0 в метастабильное 2^3S_1 состояние. При столкновении атома He* (2^3S_1) и молекулы водорода образуется квазимолекула He* — H₂ (или He* — D₂), нестабильная относительно автоионизации из-за большой энергии возбуждения He* (19, 82 эВ) и распадающаяся одним из следующих способов:

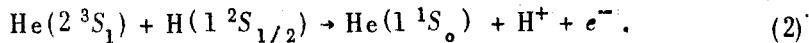


Полное сечение реакции (1) довольно велико ($\sigma = 1,5 \text{ \AA}^2$ при 300 K), что может приводить к эффективному разрушению метастабильного состояния атомов гелия. Однако при указанных выше концентрациях H₂ и D₂ еще удается осуществить оптическую ориентацию атомов гелия в 2^3S_1 состоянии [3, 4].

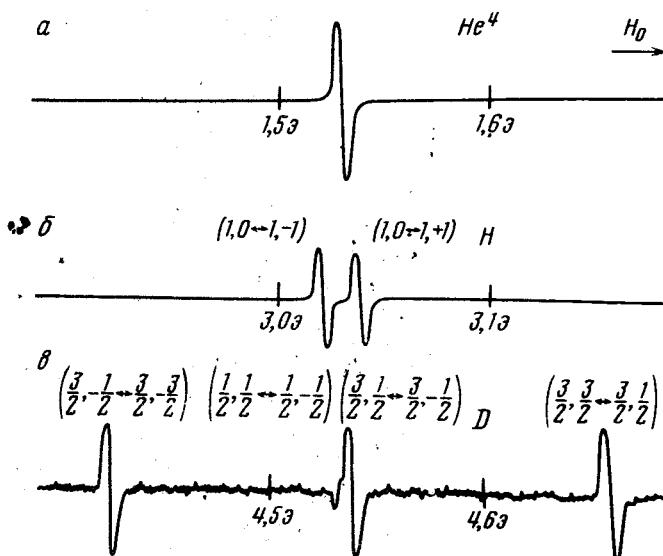
Можно ожидать, что в реакции (1) электронная поляризация будет передаваться от атомов гелия продуктам этой реакции, т.е. электронам, молекулярным ионам H₂⁺ и HeH₂⁺ и атомам водорода. Поляризованные атомы водорода возникают в реакциях (1b) и (1g), причем роль последней реакции, по-видимому, незначительна, поскольку ее сечение составляет не более 1% от полного сечения реакции (1). В то же время сечение σ_r реакции ионизации с перестраиванием (1b) составляет $\sim 15\%$ от полного сечения ионизации σ , т.е. $\sigma_r \approx 0,2 \text{ \AA}^2$ [5], что дает при степени поляризации гелия порядка 0,001 более 10^{10} поляризованных атомов водорода в 1 сек.

Экспериментальные исследования проводились с использованием установки, близкой к описанной ранее [6,7]. В камере поглощения, содержавшей гелий и водород (или дейтерий), одновременно с оптической ориентацией 2^3S_1 атомов гелия циркулярно поляризованным светом с длиной волны $\lambda = 10830 \text{ \AA}$ осуществлялся магнитный резонанс на частоте ларморовской прецессии атомов водорода или дейтерия с использованием низкочастотной модуляции магнитного поля. Регистрировалось изменение высокочастотного напряжения на электродах камеры поглощения, служивших для возбуждения разряда.

Регистрация поляризованных атомов водорода основана на спиновой зависимости вероятности реакции:



Выход свободных электронов здесь зависит от взаимной ориентации спиновых моментов Н и He^* , так как при сохранении полного спина реакция (2) запрещена в случае одинаковой ориентации спинов водорода и гелия и становится разрешенной при разрушении ориентации атомов водорода с помощью магнитного резонанса, что приводит к увеличению концентрации электронов в момент резонанса и к изменению электропроводности гелий-водородной плазмы.



Сигналы изменения электропроводности плазмы при магнитном резонансе: а) в метастабильном 2^3S_1 состоянии атомов He^4 ; б) в основном состоянии $1^2S_{1/2}$ атомов водорода; в) в основном состоянии $1^2S_{1/2}$ атомовдейтерия. Частота радиочастотного магнитного поля $f_0 = 4242$ кГц

На рис. б, в представлены полученные в эксперименте сигналы изменения электронной плотности при магнитном резонансе в $1^2S_{1/2}$ состоянии атомов водорода и дейтерия. Наблюдаются две линии в случае водорода и 4 линии в случае дейтерия. Положение линий соответствует рассчитанному по формуле Брейта – Раби для ядерного спина $1/2$ (Н), и 1 (D). На рис. а для сравнения приведен сигнал изменения электронной плотности при резонансе на ларморовской частоте атомов He^* . Относительное изменение высокочастотного напряжения на электродах составляло для $\text{He}^4 - 10^{-4}$, Н – $3 \cdot 10^{-5}$ и D – $2 \cdot 10^{-6}$.

Сигнал сложной формы в центре рис. в образован наложением двух неполностью разрешенных сигналов противоположной полярности, соот-

ветствующих переходам $F = 1/2$, $m_F = +1/2 \leftrightarrow F = 1/2$, $m_F = -1/2$ и $F = 3/2$, $m_F = +1/2 \leftrightarrow F = 3/2$, $m_F = -1/2$. Сигналы на рисунке соответствуют уменьшению высокочастотного напряжения и, следовательно, увеличению электропроводности плазмы при магнитном резонансе. Исключение составляет неполностью разрешенный сигнал от подуровня с $F = 1/2$ в дейтерии, который соответствует уменьшению электропроводности плазмы, что требует для своего объяснения дополнительного исследования.

Следует отметить, что поляризованные атомы водорода могут возникать также в реакции, являющейся вторичной по отношению к реакции (1a):



Согласно [8], константа скорости реакции (3) достаточно велика ($C = 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3 \text{ сек}^{-1}$), так что эта реакция дает значительный вклад в образование атомов водорода; однако эффективность поляризации атомов водорода за счет реакции (3) должна существенно уменьшаться вследствие наличия связи электронного спина с вращательным движением молекулярного иона H_2^+ , приводящей к дезориентации спинового момента.

Поляризация атомов водорода, помимо реакций (1), (3) может осуществляться также при столкновениях атомов и молекул водорода с другими поляризованными частицами в разряде. Оценки показали, что эти процессы малосущественны в создании электронной поляризации атомов водорода по сравнению с реакцией (1b).

Таким образом, в настоящей работе установлена поляризация атомов водорода, образующихся в результате ионизационных столкновений оптически ориентированных метастабильных атомов гелия с молекулами водорода. Согласно оценкам, основной вклад в поляризацию обусловлен реакцией ионизации с перестройванием (1b).

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
1 июля 1978 г.

Литература

- [1] L.W.Anderson, F.M.Pipkin, J.C.Baird. Phys. Rev. Lett., 1, 229, 1958.
- [2] L.W.Anderson, F.M.Pipkin, J.C.Baird. Phys. Rev., 120, 1279, 1960.
- [3] Р.А.Житников, В.А.Картошкин, Г.В.Клементьев. Письма в ЖЭТФ, 26, 651, 1977.
- [4] Р.А.Житников, В.А.Картошкин, Г.В.Клементьев. Письма в ЖТФ, 4, 674, 1978.
- [5] L.T.Specht, K.D.Forster, E.E.Muschlitz. J.Chem. Phys., 63, 1582, 1976.
- [6] С.П.Дмитриев, Р.А.Житников, А.И.Окуневич. ЖЭТФ, 70, 69, 1976.
- [7] Б.Н.Севастьянов, Р.А.Житников. ЖЭТФ, 56, 1508, 1969.
- [8] R.Johnsen, M.A.Biondi. J. Chem. Phys., 61, 2112, 1974.