

ПЕРЕЗАРЯДКА ПРОТОНОВ В ПАРАХ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

С ОБРАЗОВАНИЕМ ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫХ АТОМОВ ВОДОРОДА

Р.Н.Ильин, В.А.Опарин, Е.С.Соловьев, Н.В.Федоренко

Высоковозбужденные атомы водорода с главным квантовым числом n около 10 могут ионизоваться сильным электрическим полем \vec{E} или эквивалентным ему $\vec{E}' = \vec{v} \times \vec{B}$ (\vec{v} - скорость атомов, \vec{B} - магнитная индукция). Такой вид ионизации используется для накопления плазмы в некоторых типах ловушек [1]. Можно ожидать, что одним из сравнительно эффективных способов получения высоковозбужденных атомов водорода должна быть перезарядка протонов на атомах щелочных и щелочноземельных металлов [2]. В связи с этим в настоящей работе исследовалась перезарядка протонов с энергией 10-180 кэВ в парах Li , Na , K , Cs и Mg .

Атомный пучок, полученный перезарядкой протонов в парах этих металлов и очищенный от заряженных частиц, поступал в область с сильным электрическим полем напряженностью $E \leq 160$ кВ/см. Измерялось отношение тока вторичных протонов, образовавшихся при ионизации высоковозбужденных атомов в поле E , к полному потоку атомов $I(E)$. Оно характеризует относительный выход высоковозбужденных атомов при перезарядке. В отдельном опыте измерялось полное сечение перезарядки протонов σ_0 и отношение полного числа атомов, образовавшихся при перезарядке, к числу протонов в первичном пучке - Φ_0 . В работе [3] было показано, что по величинам $I(E)$ и Φ_0 можно определить сечение перезарядки с образованием высоковозбужденных атомов с главным квантовым числом n (σ_c^n), а по $I(E)$ и Φ_0 - количество тех же атомов, отнесенное к первичному протонному пучку

(Φ_n). Из экспериментальных данных следует, что величины σ_c^n и Φ_n пропорциональны n^{-3} . Поэтому ниже приводятся в качестве результатов не зависящие от n величины $n^3\sigma_c^n$ и $n^3\Phi_n$.

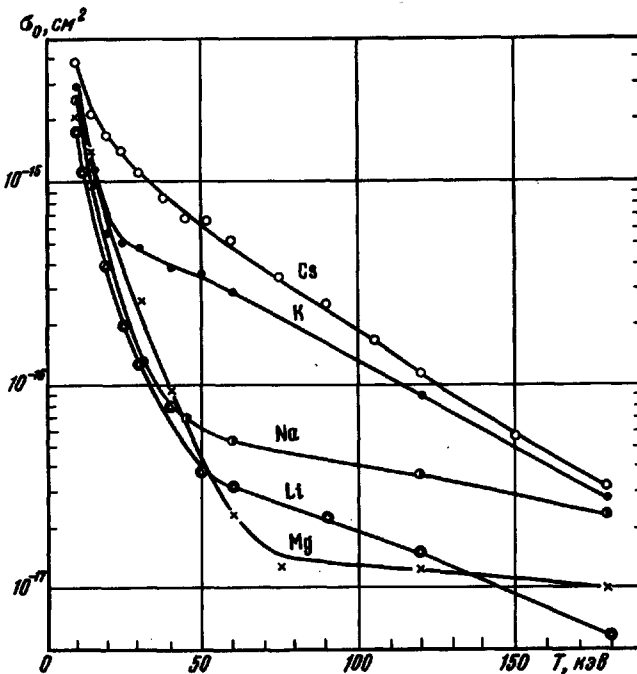


Рис. 1. Зависимость полного сечения перезарядки протонов от энергии протонов - $\sigma_0(T)$

На рис. 1 и 2 представлены полученные в настоящей работе зависимости $\sigma_0(T)$ и $n^3\sigma_c^n(T)$, где T - энергия протонов. На рис. 2, кроме данных для металлических мишеней, приведены для сравнения полученные в настоящей работе зависимости $n^3\sigma_c^n(T)$ для He, Ne, Ar и H_2 . Из рисунков видно, что сечения σ_0 и $n^3\sigma_c^n$ для щелочных металлов и для магния выше 15 кэВ убывает с ростом энергии. Как для кривых $\sigma_0(T)$, так и для кривых $n^3\sigma_c^n(T)$ в области 30-70 кэВ наблюдается характерный излом, после которого убывание сечений замедляется. Наличие излома на кривых может быть объяснено тем, что при малых энергиях в перезарядке участвует внешний слабо-связанный электрон атома металла, а при высоких энергиях большую

роль играет перезарядка с участием электронов из заполненной оболочки, аналогичной внешней оболочке инертного газа. Последнее подтверждается подобием зависимостей $n^3\sigma_c^n(T)$ для щелочных метал-

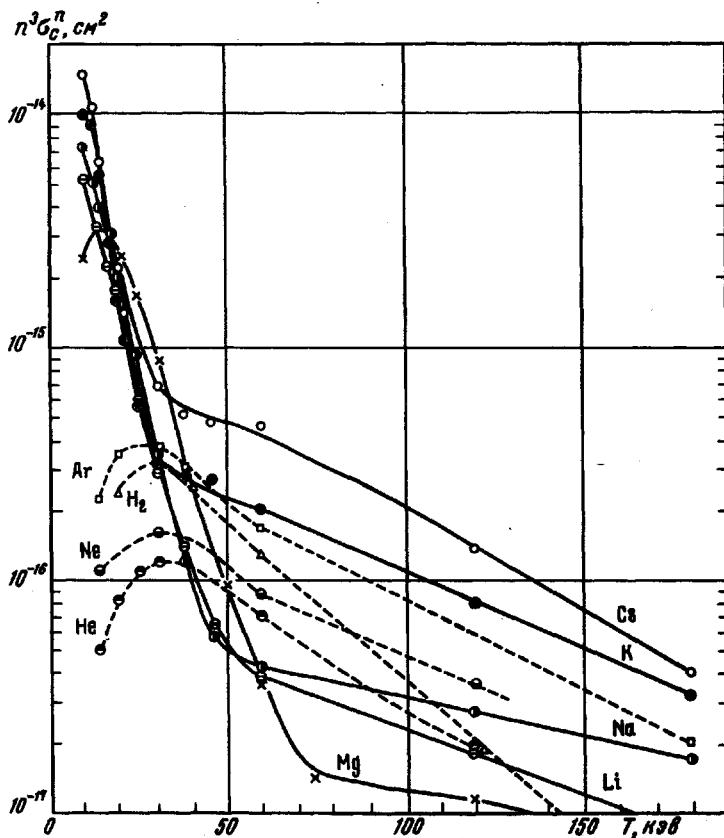


Рис. 2. Зависимость сечения перезарядки протонов с образованием высоковозбужденных атомов водорода с главным квантовым числом n от энергии протонов — $n^3\sigma_c^n(T)$

лов и магния и аналогичных зависимостей для инертных газов при высоких энергиях. Максимумы на зависимостях $n^3\sigma_c^n(T)$ для магния и газов наблюдаются при скоростях протонов, равных скоростям внешних электронов в атомах мишеней.

Исследование зависимости выхода высоковозбужденных атомов в n -состоянии относительно первичного пучка протонов (Φ_n) от толщины мишени (ρl) проводилось в парах Na и Mg и в Ne. При этом оказалось, что в случае малых энергий в Na ($T < 30$ кэВ) и Mg

($T \leq 60$ кэв) зависимость $\Phi_n(\rho\ell)$ обладает максимумом. Для газов, а также в случае металлов при высоких энергиях зависимость $\Phi_n(\rho\ell)$ монотонно стремится к равновесному значению. На рис. 3 приведены зависи-

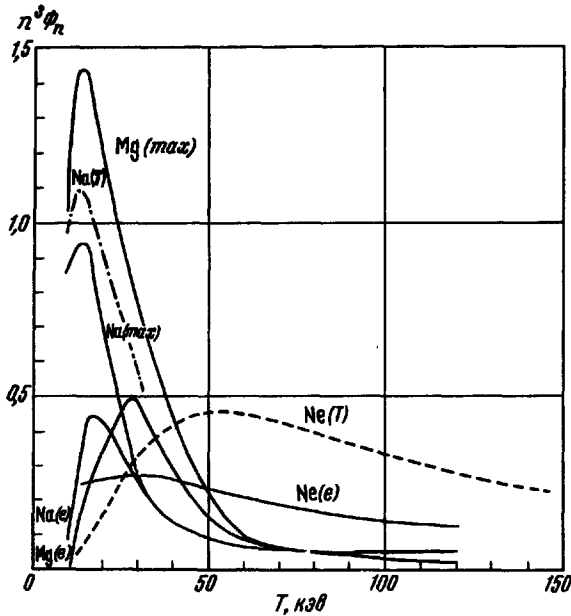


Рис. 3. Зависимость выхода высоковозбужденных атомов в состоянии с главным квантовым числом n , отнесенного к первичному протонному пучку, от энергии протонов - $n^3\Phi_n(T)$

мости равновесных и максимальных значений $n^3\Phi_n$ от энергии протонов. Кроме того, на этом же рисунке приведены результаты расчета равновесных значений $n^3\Phi_n$ для Na и Ne из работы [4]. Из рисунка видно, что теория дает завышенные величины Φ_n . Экспериментальные данные, полученные в настоящей работе: e - для равновесной мишени; max - для толщины мишени, обеспечивающей максимальный выход высоковозбужденных атомов. T - результаты расчета [4].

Из экспериментальных данных следует, что при перезарядке протонов с энергией 15 кэв в Mg 0,4% протонного пучка превращается в атомы с $10 \leq n \leq 13$ ($20 \leq E \leq 80$ кв/см).

Основной вывод, который можно сделать из рассмотрения рис.2 и 3, состоит в том, что более выгодными мишенями для получения

высоковозбужденных атомов водорода при энергиях ниже 50 кэв следует считать пары щелочных и щелочноземельных металлов, а при более высоких энергиях - молекулярный водород и инертные газы.

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

Поступило в редакцию
26 июля 1965 г.

Литература

- [1] D.R.Sweetman. Nucl. Fusion, Suppl., I, 279, 1962.
- [2] Н.В.Федоренко, В.А.Анкудинов, Р.Н.Ильин. ЖТФ, 35, 585, 1965.
- [3] Р.Н.Ильин, Б.И.Кикиани, В.А.Опарин, Е.С.Соловьев, Н.В.Федоренко. ЖЭТФ, 47, 1235, 1964.
- [4] S.T. Butler, R.M.May. Phys. Rev., 137A, 10, 1965.