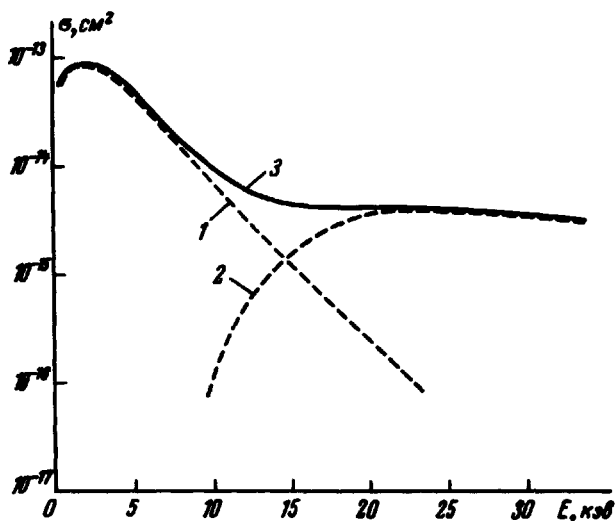


О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ИНВЕРСНОЙ ЗАСЕЛЕННОСТИ В АТОМНЫХ ПУЧКАХ ПРИ ПЕРЕЗАРЯДКЕ ПРОТОНОВ НА АТОМАХ

Л. П. Пресняков, В. П. Шевелько

Перезарядка протонов на атомах (реакция $p + A \rightarrow H + A^+$) является в ряде случаев весьма эффективным способом создания возбужденных атомов и ионов. В качестве примера на рисунке приведено эффективное сечение перезарядки на атомах Cs. В области энергий столкновения до $10 + 15$ кэВ электрон с подавляющей вероятностью захватывается в $2p$ - и $2s$ -состояния атома водорода, причем сечение перезарядки в $2p$ -состоянии примерно в три раза больше, чем в $2s$. Большая величина сечения



Эффективное сечение перезарядки протонов на атомах Cs: 1 — сечение захвата внешнего электрона атома Cs в состояние атома H с $n = 2$: $p + Cs \rightarrow H(n = 2) + Cs^+(5p^6)$; 2 — сечение захвата $5p$ -электрона атома Cs: $p + Cs \rightarrow H + Cs^+(5p^56s)$; 3 — полное сечение перезарядки $p + Cs \rightarrow H + Cs^+$

объясняется квазирезонансным характером процесса: потенциал ионизации атома Cs очень близок к энергии связи электрона в атоме H с главным квантовым числом $n = 2$. Захват электрона в основное состояние атома H в указанной области энергий на два порядка меньше, а перезарядка во все состояния с $n > 2$ имеет суммарное сечение в двадцать раз меньше сечения перезарядки в $2p$ -состоянии. При энергиях столкновения больше 20 кэВ захват оптического электрона становится малоэф-

фективным, и основную роль играет перезарядка на внутренних оболочках атома Cs [1]. В этом случае образуется возбужденный ион $Cs^+(5p^36s)$ и атом H преимущественно в основном состоянии. Расчет сечения перезарядки (рисунок) выполнен в рамках метода сильной связи нескольких состояний [2]. Результат находится в согласии с имеющимися экспериментальными данными [3, 4]. Аналогичными свойствами обладают сечения перезарядки протонов на атомах K и Rb.

Инверсная среда (атомы H в состоянии с $n = 2$) может быть создана при пересечении пучка атомарного цезия пучком протонов с энергией меньше или равной 10 кэВ (скорость протонов $v_p = 10^8 \text{ см/сек}$). При плотности атомов Cs порядка $10^{16} + 10^{17} \text{ см}^{-3}$ пучок протонов перезарядается на длине пробега $10^{-2} + 10^{-3} \text{ см}$. Излучение линии L_α ($\lambda = 1215,85 \text{ \AA}$) происходит на длине пробега $0,2 \text{ см}$. При сечении пучка протонов в 1 см^2 рабочий объем составляет $0,2 \text{ см}^3$. Поскольку температура в большинстве реальных источников протонов порядка 1 эВ , излучаемая линия будет иметь доплеровскую ширину $\Delta\omega = 10^{12} \text{ сек}^{-1}$. Принимая во внимание соотношение статистических весов $2p$ - и $1s$ -состояний атома H, а также то обстоятельство что $1/4$ всех протонов перезарядается в $2s$ -состояние, нетрудно убедиться, что для линии L_α коэффициент усиления $K_{L_\alpha} \geq 1$, если плотность протонов в пучке $N_p \geq 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. В данном случае можно пренебречь потерями за счет фотоионизации атомов H и Cs, поскольку соответствующие сечения не превышают 10^{-18} см^2 [5, 6], а также тушащими столкновениями возбужденного водорода с атомами или ионами Cs (сечение не более 10^{-17} см^2). В рассматриваемых условиях излучение линии L_α может осуществляться в непрерывном режиме с мощностью $W = 8 \cdot 10^3 \text{ дж/сек}$. Отметим, что для данной спектральной области в настоящее время возможно использование зеркал (например, алюминий с покрытием фтористого магния MgF_2), с коэффициентом отражения до 80%.

При повышении энергии протонов становится эффективной перезарядка с захватом электрона из внутренних оболочек атома Cs (см. рисунок). В области энергий от 25 до 40 кэВ в пучке атомов щелочных элементов (K, Rb, Cs) образуются возбужденные ионы (электронная конфигурация $np^3(n+1)s$) и практически отсутствуют ионы в основном состоянии (конфигурация np^6). Отметим, что в отличие от ситуации, исследованной Розановым [7] применительно к фотоионизации атомов в неподвижном объеме, в условиях пересекающихся пучков малое время жизни на верхнем уровне резонансной линии иона приводит не к жестким требованиям, накладываемым на скорость нарастания накачки, но к относительной малости рабочего объема. В настоящее время обычные источники атомов щелочных элементов обеспечивают скорость атомов в пучке, не превышающую $10^5 + 10^6 \text{ см/сек}$. Поэтому в непрерывном режиме инверсная заселенность реализуется в объеме, размер которого вдоль направления атомного пучка не превышает 10^{-4} см . Два других размера определяются геометрией пучков и плотностью частиц в протонном и атомном пучках. Поскольку в данном случае доплеровская ширина линий не превышает естественную, коэффициент усиления для резонансной линии Cs^+ ($\lambda = 912 \text{ \AA}$) может превосходить единицу, если плотность протонов в пучке $N_p \geq 10^{12} \text{ см}^{-3}$.

За обсуждение и полезные советы авторы выражают признательность
Г.Г.Петрашу и О.Б.Фирсову.

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

Поступила в редакцию
8 февраля 1971 г.

Литература

- [1] А.В.Виноградов, Л.П.Пресняков, В.П.Шевелько. Письма в ЖЭТФ, 8, 449, 1968; А.В.Виноградов, В.П.Шевелько. ЖЭТФ, 59, 593, 1970.
 - [2] И.А.Полуэктов, Л.П.Пресняков. ЖЭТФ, 54, 121, 1968; Труды ФИАН, 51, 63, 1970.
 - [3] Р.Н.Ильин, В.А.Опарин, Е.С.Соловьев, Н.В.Федоренко. Письма в ЖЭТФ, 2, 310, 1966; Р.Ильин и др. ЖТФ, 36, 1241, 1966.
 - [4] I.A.Sellin, L.Granoff. Phys. Lett., 25A, 484, 1967.
 - [5] Б.И.Волков, Д.П.Гречухин, Э.И.Карпушкина. Препринт ИАЗ, №873, 1965.
 - [6] И.Л.Бейгман, Л.А.Вайнштейн, В.П.Шевелько. Оптика и спектроскопия, 28, 425, 1970.
 - [7] В.Б.Розанов. Письма в ЖЭТФ, 12, 486, 1970.
-