

## АНОМАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕЗАРЯДКИ ПРОТОННОГО ПУЧКА В ПЛОТНОЙ НАТРИЕВОЙ МИШЕНИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РЕЗОНАНСНОГО $3S - 3P$ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.Н.Зеленский, С.А.Кохановский, В.Г.Полушкин,  
К.Н.Вишневский

Обнаружена значительная модуляция эффективности перезарядки протонов, а также образования нейтральных атомов и ионов  $H^-$  при возбуждении лазерным излучением переходов  $3S - 3P$  в натриевой мишени с плотностью более  $10^{13}$  ат/см<sup>3</sup>.

В последние годы достигнут значительный прогресс в разработке источников поляризованных протонов и ионов  $H^-$  для ускорителей <sup>1-3</sup>. Предложение использовать пучки поляризованных дейтронов в термоядерных установках <sup>4</sup> придало дополнительный импульс работе по увеличению интенсивности источников.

В работе <sup>5</sup> предложена схема "столкновительной накачки" ядерной поляризации в процессе многократных перезарядок с захватом поляризованных электронов. При толщине перезарядной мишени более  $10^{16}$  ат/см<sup>2</sup> степень поляризации протонов должна по расчетам достигать  $\sim 90\%$  <sup>6</sup>. Интенсивность пучка в такой схеме могла бы достигать сотен миллиампер. Для оптической накачки мишени с плотностью  $10^{14} \div 10^{15}$  ат/см<sup>3</sup> предлагается использовать импульсный лазер на красителе с мощностью  $\sim 10^3$  Вт.

При разработке лазерного источника поляризованных протонов авторы провели детальное исследование процесса оптической накачки плотной натриевой перезарядной мишени <sup>7</sup>. Для оптической накачки использовался импульсный лазер на красителе с ламповой накачкой. Получена степень поляризации атомов натрия по электронному спину более 90% при полной толщине мишени  $\sim 10^{14}$  ат/см<sup>2</sup>. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований "столкновительной накачки" в лазерном источнике при повышенной плотности мишени и мощности лазерного излучения и обнаруженные при этом особенности в процессах перезарядки на возбужденной мишени.

Схема лазерного источника поляризованных протонов представлена на рис. 1. Первичный протонный пучок фокусируется, а потом нейтрализуется в водородной мишени. В первой гелиевой ячейке происходит ионизация атомов. Ячейка находится под потенциалом +1 кВ, поэтому образовавшиеся в ней протоны замедляются и далее в поворотном магните разделяются от фоновой компоненты, прошедшей через ячейку без перезарядки. Далее протоны проходят через натриевую мишень, которая облучается лазерным излучением с длиной волны резонансного  $3S - 3P$  перехода. При измерении перезарядки протонов в нейтральные атомы, отклоняющие пластины убирают остаточные ионы из пучка и включается вторая гелиевая ячейка в которой нейтральные атомы ионизируются и направляются поворотным магнитом в цилиндр Фарадея. При отключении отклоняющих пластин и ионизатора наблюдается остаточный ток протонов и ионов  $H^-$ . Полная толщина натриевой перезарядной мишени определялась из эффективности перезарядки протонного пучка, по известным сечениям перезарядок протонов в нейтральные атомы и ионы  $H^-$ . Мощность лазерного излучения составляла до  $10^3$  Вт/см<sup>2</sup> при ширине линии  $1,6 \cdot 10^{10}$  Гц. Длительность импульса по основанию 20 мкс.

При измерении перезарядки протонов в ионы  $H^-$  на ориентированной мишени при плотностях менее  $10^{13}$  ат/см<sup>3</sup> наблюдалось уменьшение интенсивности пучка  $H^-$  синхронное с импульсом лазерного излучения (степень поляризации атомов натрия определялась независимо методом анализа спиновых состояний метастабильных атомов, образующихся в этой мишени <sup>7</sup>). Это происходит вследствие того, что в ионах  $H^-$  электроны находятся в  $1S_0$  состоянии. Поэтому последовательный захват двух одинаково ориентированных электронов запрещен и этот эффект может быть использован для изучения процесса переноса поляризации <sup>8</sup>.

При увеличении плотности свыше  $10^{13}$  ат/см<sup>3</sup> ожидалось, что эта модуляция будет уменьшаться из-за падения степени поляризации электронов. Однако, на опыте был обнаружен значительный рост величины модуляции интенсивности, который уже невозможно объяснить поляризационными эффектами.

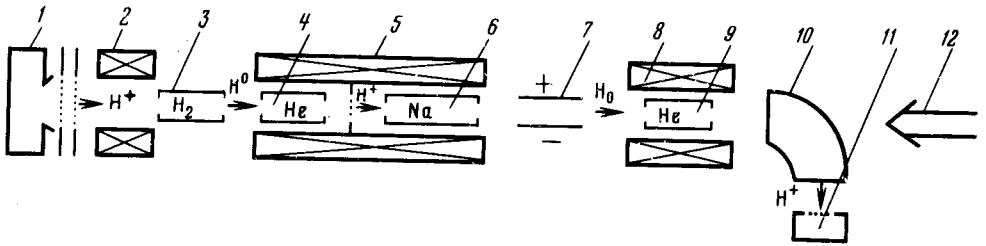


Рис. 1. Схема установки: 1 - источник протонов; 2 - фокусирующая линза; 3 - нейтрализатор; 4, 9 - гелиевые мишени; 5, 8 - импульсные соленоиды; 6 - натриевая ячейка; 7 - отклоняющие пластины; 10 - поворотный магнит; 11 - цилиндр Фарадея; 12 - лазерное излучение

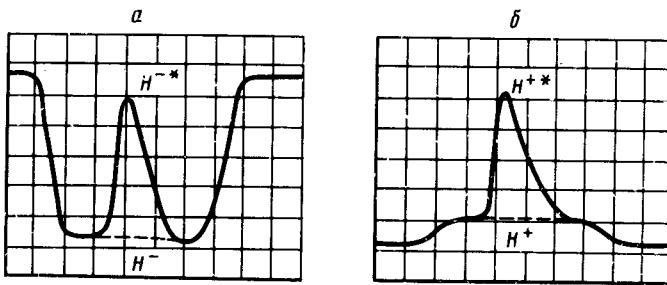


Рис. 2. Оциллограммы импульсов: а - тока ионов  $H^-$ ; б - протонного тока. Штриховые линии - ток в отсутствие лазерного излучения  $H^+$ ,  $H^{-*}$ ;  $H^{+*}$ ,  $H^{-*}$  - ток с лазерным излучением

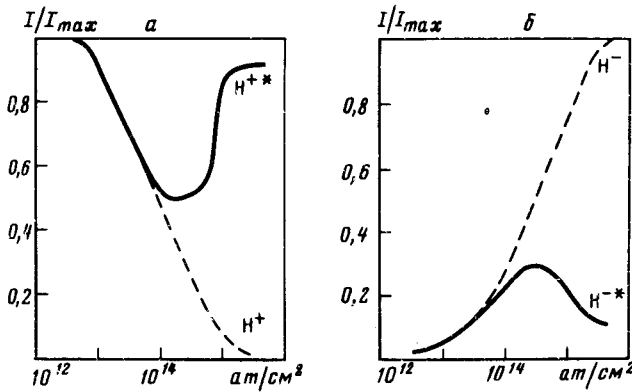


Рис. 3. Зависимость относительных величин  $I/I_{max}$ : а - протонного тока; б - тока ионов  $H^-$  от полной толщины натриевой мишени (длина ячейки 20 см). Штриховая линия - ток в отсутствие лазерного излучения,  $H^{+*}$ ,  $H^{-*}$  - ток с лазерным излучением

Оциллограмма импульса тока ионов  $H^-$  приведена на рис. 2, а модуляция достигает 90% при плотности мишени более  $10^{14}$  ат/см<sup>3</sup>. Чтобы исключить влияние поляризации, измерено прохождение через мишень пучка протонов (см. рис. 2, б). Под действием лазерного излучения происходит как бы "просветление" перезарядной мишени, эффективная толщина мишени уменьшается почти на два порядка (см. рис. 3). При отстройке длины волны лазерного излучения от  $3S_{1/2} - 3P_{1/2; 3/2}$  переходов модуляция полностью исчезала. (При мощности лазера до  $10^3$  Вт/см<sup>2</sup> фотоионизация ионов  $H^-$  не превышает 1% величины тока). Зависимость величины эффекта от мощности лазерного излучения имеет пороговый характер, при мощности менее  $100$  Вт/см<sup>2</sup> модуляция исчезает. Слабое магнитное поле в области перезарядки (насы-

шение при 50 Гс) увеличивает величину модуляции и время релаксации, что свидетельствует о значительной роли в процессе перезарядки медленных электронов и ионов образующихся в мишени.

Вероятности захвата электронов у атомов натрия в основном и возбужденном состояниях различаются незначительно. Вероятность многофотонной ионизации натрия при мощности лазера  $10^3$  Вт/см<sup>2</sup> ничтожно мала, так что большая величина обнаруженных эффектов не тривиальна. По-видимому, уменьшение эффективности перезарядки связано с переходом значительной доли атомов натрия в другие состояния  $Na_2^+$ ,  $Na^+$ ,  $Na_2$  сечение перезарядки на которых много меньше чем на атомах. Эти процессы происходящие при больших плотностях мишени, связаны с взаимодействием атомов в возбужденных состояниях.

Аномально большое образование ионов  $Na^+$ ,  $Na_2^+$  в натриевой ячейке под действием резонансного излучения исследовано в работе <sup>9</sup> в условиях аналогичных нашему эксперименту. Рассмотрены вклады различных процессов приводящих к ионизации. Полученные в настоящей работе результаты дают новый способ исследования эффектов происходящих в плотной мишени под действием резонансного излучения. Пучок протонов в этом случае служит для определения компонентного состава перезарядной мишени.

Обнаруженные в данной работе особенности перезарядки на возбужденной мишени являются серьезным препятствием для реализации метода поляризации в процессе многократных перезарядок, так как при необходимой для "столкновительной накачки" толщине мишени  $\sim 10^{16}$  ат/см<sup>2</sup> и мощности лазерного излучения 300 Вт/см<sup>2</sup> <sup>6</sup> эти эффекты достигают максимальной величины (см. рис. 3).

Очевидно, что использование длинной мишени позволило бы значительно уменьшить эти явления. Понижение плотности также полезно и для устранения эффектов деполаризации при пленении резонансного неполяризованного излучения. Однако, при допустимой плотности  $10^{13}$  ат/см<sup>3</sup> мишень получается слишком длинной  $\sim 10^3$  см, что не позволит получить интенсивные пучки. Возможно, что преодолеть эти трудности удастся при использовании в перезарядной мишени смеси калия и натрия, при оптической накачке натрия поляризуется также и калий в процессе обмена электронами. При плотности калия  $10^{14}$  ат/см<sup>3</sup> и плотности натрия  $10^{13}$  ат/см<sup>3</sup> степень поляризации может достигать 70% <sup>10</sup> и так как калий с лазерным излучением не взаимодействует, то эффекты ионизации должны быть малы.

В заключение авторы выражают благодарность В.М. Лобашеву за интерес к работе и полезные обсуждения.

#### Литература

1. Schmor P. W. IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1985, NS-32, 1713.
2. Зеленский А.Н., Кохановский С.А., Лобашев В.М., Полушкин В.Г. Письма в ЖЭТФ, 1985, 42, 6.
3. Белов А.С., Есин С.К., Кубалов С.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1985, 42, 319.
4. Kulsrud R.M. et al. Phys. Rev. Lett., 1982, 49, 1248.
5. Anderson L. W. et al. Phys. Rev. Lett., 1984, 52, 609.
6. Kaplan S.N. et al. IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1985, NS-32, 1739.
7. Зеленский А.Н., Кохановский С.А., Лобашев В.М. и др. Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 21.
8. Mori Y. et al. IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1985, NS-32, p. 713.
9. Carre B. et al. J. Phys. B: At Mol. Phys., 1985, 14, 4271.
10. Cornelius W.D., Mori Y. Phys. Rev. A, 1985, 31, 3718.