

## ОПТИЧЕСКАЯ ОРИЕНТАЦИЯ ПЛОТНОЙ НАТРИЕВОЙ ПЕРЕЗАРЯДНОЙ МИШЕНИ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПРОТОНОВ И ИОНОВ $H^-$

*А.Н. Зеленский, С.А. Кохановский, В.М. Лобашев*

В работе экспериментально изучаются перспективы метода поляризации протонов при захвате электрона у оптически ориентированных атомов натрия. Предложен новый способ измерения поляризации натрия. Получена плотность перезарядной мишени  $2 \cdot 10^{13}$  ат/см<sup>2</sup> со степенью поляризации  $90 \pm 5\%$ .

Исследование поляризационных явлений на ускорителях при высоких энергиях вызывает в последнее время повышенный интерес. Это связано с обнаружением ряда новых эффектов, зависящих от поляризации, изучение которых позволяет получить существенно большую информацию о механизме взаимодействия. Поскольку сечения этих процессов относительно малы, требуется повышать интенсивность поляризованных пучков. Перспективным направлением здесь является ускорение частиц поляризованных в источниках.

Существующие в настоящее время источники поляризованных ионов (ИПИ) позволяют получить ток поляризованных протонов до 100 мкА в непрерывном и около 200 мкА в импульсном режиме со степенью поляризации 80%. Дальнейшее увеличение импульсной интенсивности ИПИ особенно необходимо для ускорителей на высокие энергии ввиду малого времени захвата в режим ускорения. Создание интенсивных ИПИ отрицательных ионов водорода  $H^-$  также открывает возможность повышения интенсивности при многооборотной перезарядной инжекции в ускоритель.

Наряду с развитием классических схем поляризации<sup>1</sup>, в последнее время большое внимание привлекает реализация предложения Завойского по поляризации протонов при захвате поляризованных электронов<sup>2</sup>. Использование современных мощных перестраиваемых лазеров на красителях для ориентации спинов электронов в перезарядной мишени позволяет существенно повысить эффективность процесса поляризации<sup>3</sup>.

На рис. 1 приведена схема ИПИ с оптической ориентацией электронов в атомах натрия. Выбор натрия обусловлен большим сечением перезарядки  $\sigma_{+0} = 10^{-14}$  см<sup>2</sup>, а также наличием удобного для оптической накачки с помощью лазеров на красителе перехода  $3S\ 1/2 \rightarrow 3P\ 1/2$ . Протоны из источника (1) захватывают поляризованные электроны в ячейке с парами натрия (2), которая находится в магнитном поле соленоида (3). При захвате электронов у натрия значительная доля атомов водорода образуется в возбужденных  $2S$ -,  $2P$ -состояниях<sup>5</sup>. Чтобы избежать деполяризации из-за спин-орбитального взаимодействия в этих состояниях, величина магнитного поля в области перезарядки и до перехода в основное состояние должна быть  $\sim 1,5 \div 2$  Тл. Далее осуществляется **неадиабатический** переход в область противоположно направлен-

ного поля второго соленоида (5), при этом происходит поляризация по спину протонов<sup>4</sup>. В этом соленоиде помещается ячейка-ионизатор (6), либо с парами щелочных металлов, в этом случае выход отрицательных поляризованных ионов водорода составляет  $5 \div 10\%$ , либо гелия, выход протонов до  $80\%$ . Для увеличения полной эффективности процесса поляризации важное значение имеет получение высокой плотности  $nl$  перезарядной мишени. Согласно оценкам, сделанным в работе<sup>2</sup>, при использовании нескольких непрерывных лазеров на красителе общей мощностью  $5$  Вт с накачкой от аргоновых лазеров при плотности  $nl \approx 3 \cdot 10^{13}$  ат  $\cdot$  см<sup>-2</sup> можно получить степень поляризации натрия  $P_{Na} \geq 90\%$ . При столкновениях со стенками, а также захвате резонансного неполяризованного излучения, которое возникает при спонтанных переходах в процессе оптической ориентации атомы деполаризуются, поэтому необходимо экспериментальное изучение условий получения высокой степени поляризации при  $nl \geq 10^{13}$  ат  $\cdot$  см<sup>-2</sup>.

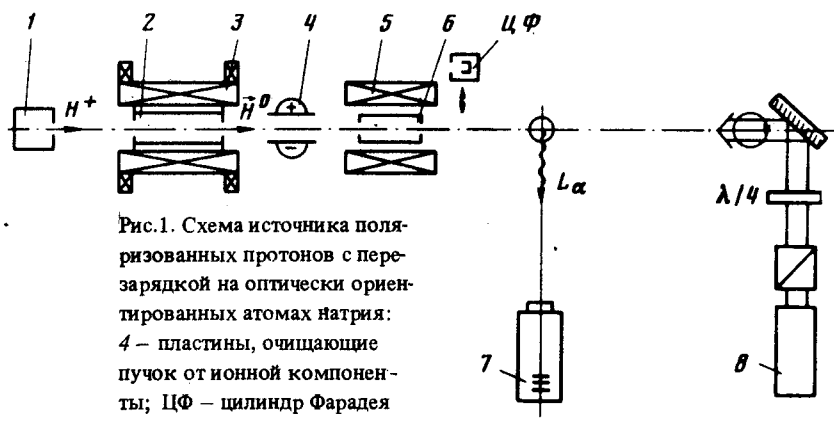


Рис.1. Схема источника поляризованных протонов с перезарядкой на оптически ориентированных атомах натрия: 4 – пластины, очищающие пучок от ионной компоненты; ЦФ – цилиндр Фарадея для измерения тока пучка и степени перезарядки

В работе<sup>6</sup> для поляризации натрия использовали непрерывный лазер на красителе мощностью  $0,8$  Вт, при увеличении толщины мишени до  $2 \cdot 10^{13}$  ат  $\cdot$  см<sup>-2</sup> степень поляризации упала до  $20\%$ . В нашей работе используется лазер на красителе с ламповой накачкой, который позволяет получить мощность излучения более  $100$  Вт при ширине линии  $0,5 \text{ \AA}$  и длительности импульса излучения  $20$  мкс.

Метод измерения  $P_{Na}$  основан на использовании свойств метастабильных атомов водорода, образующихся при захвате поляризованного электрона у натрия. Схема установки содержит основные узлы источника, как изображено на рис.1, только величина магнитного поля в первом соленоиде составляет  $B_1 = 0,3$  Тл  $\gg B_{крит} = 650$  Гс, что достаточно для получения высокой  $P_{Na}$ . При перезарядке в метастабильное состояние  $H(2S)$  поляризация электронов сохраняется. Определить в каком спиновом состоянии образовались метастабильные атомы, а следовательно установить  $P_{Na}$  можно далее при пропускании пучка через соленоид (4) с  $B_2 = 0,055$  Тл, направленным одинаково с  $B_1$ , и поперечным электрическим полем  $20$  В/см. В этом поле атомы с  $m_j = -1/2$  переходят в основное состояние за время порядка времени жизни разрешенного перехода  $2P \rightarrow 1S$ . Атомы в состояниях с  $m_j = 1/2$  проходят без потерь. Это различие происходит из-за смешивания  $2S$  и  $2P$  уровней электрическим полем в точке их пересечения и используется во всех источниках поляризованных протонов лэмбовского типа. Таким образом, детектор (7) будет регистрировать только атомы с  $m_j = 1/2$ . В детекторе используются микроканальные пластины чувствительные к излучению с энергией  $10,2$  эВ, которое возникает при гашении метастабильных атомов в электрическом поле с напряженностью  $300$  В/см<sup>7</sup>.

Для поляризации паров натрия высокой плотности в импульсном режиме было использовано циркулярно-поляризованное излучение лампового лазера на красителе родамин-6G (8). Для сужения спектра излучения и перестройки на длину волны перехода  $\lambda(3S_{1/2} \rightarrow 3P_{1/2}) = 5896 \text{ \AA}$  в резонатор помещен интерференционно-поляризационный фильтр.

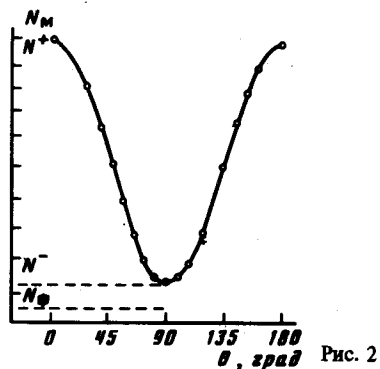


Рис. 2

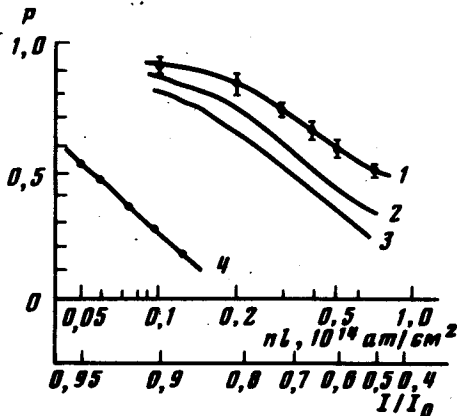


Рис. 3

Рис. 2. Зависимость скорости счета метастабильных атомов от угла поворота пластинки  $\lambda/4$ :  $N^-$  — соответствует отрицательной циркулярной поляризации света,  $N^+$  — положительной

Рис. 3. Зависимость степени поляризации натрия от эффективности перезарядки при различной мощности ориентирующего излучения: 1 —  $W_0 = 100 \text{ Вт/см}^2 \cdot 0,5 \text{ \AA}$ , 2 —  $W = W_0/4$ , 3 —  $W = W_0/8$ , 4 — данные из работы<sup>6</sup>

На рис. 2 приведена зависимость скорости счета метастабильных атомов  $N_M$  от угла поворота пластинки  $\lambda/4$ , определяющей поляризацию излучения: Поляризация натрия связана со счетом следующим образом:  $P = (N^+ - N^-) / (N^+ + N^- - 2N_\Phi)$ , где  $N^+$ ,  $N^-$  — соответственно скорость счета при положительной  $\sigma^+$  и отрицательной  $\sigma^-$  поляризации излучения.  $N_\Phi$  — фоновый счет, в этом измерении все метастабильные атомы гасятся сильным электрическим полем, не долетая до области регистрации. Спектр поглощения натрия в магнитном поле  $\sim 0,3 \text{ Тл}$ , с учетом доплеровского уширения при температуре ячейки  $\sim 550 \text{ К}$  имеет ширину  $\Delta\lambda \cong \cong 0,2 \text{ \AA}$ .

Для определения плотности натрия измерялось отношение  $I/I_0$ , где  $I$  — остаточный ток протонов,  $I_0$  — ток с холодной ячейкой, которое непосредственно дает эффективность перезарядки. Эта величина однозначно связана с плотностью:  $I/I_0 = \exp(-n\sigma_{+0}l)$ ,  $\sigma_{+0} = 10^{-14} \text{ см}^2$ ,  $l = 10 \text{ см}$  — длина ячейки. Измерение зависимости  $P_{\text{Na}}$  от толщины мишени были выполнены при различной мощности излучения накачки (рис. 3).

Важным для практического применения результатом является получение степени поляризации перезарядной мишени  $90 \pm 5 \%$ , при эффективности перезарядки 20 %.

Использование такой поляризованной перезарядной мишени вместе с лучшими из существующих в настоящее время источниками протонов позволило бы получить  $\sim 1 \text{ мА}$  тока поляризованных отрицательных ионов водорода и  $\sim 10 \text{ мА}$  тока  $\text{H}^+$ .

Таким образом, применение метода оптической ориентации может более чем на порядок увеличить интенсивность источников поляризованных ионов, улучшить управление направлением поляризации и открывает новые возможности для поляризационных исследований на ускорителях.

#### Литература

1. Haeblerli W. In Proc. of Lausanne Conf. on High Energy Physics with Polarized Targets, Exp. Suppl., 199, p. 439, Birkhauser Verlag 1981.
2. Заойский Е.К. ЖЭТФ, 1957, 32, 731.
3. Anderson L.W. NIM, 1979, 167, 363.
4. Sona P.A. Energia nucleare, 1967, 14, 295.
5. Sellin I.A. et al. Phys. Lett., 1967, 25A, 84.
6. Mori Y. et al. Ref. 1981, 1, 2690.
7. Зеленский А.Н., Кохановский С.А. Препринт ИЯИ, П-0176, 1980.