

проводимости стримерной зоны лидера. Данная теория предсказывает увеличение площади стягивания канала лидера при наличии коронирования с объекта, что согласуется с экспериментом.

Авторы благодарят В.Р.Аванского, В.М.Кудрякова за помощь в проведении экспериментов и Э.М.Базеляна, В.П.Фотина за полезные обсуждения.

Список литературы

- [1] *Беляков А.П., Стекольников И.С.* // Электричество. 1938. № 3. С. 25–28.
- [2] *Базелян Э.М. и др.* // Электричество. 1980. № 3. С. 48–50.
- [3] *Hutzler B., Riguel C., Riu J.P.* // Proc. 10th Int. Aerospace and Ground Conf. on Lightning and Static Electricity. Paris, 1985. P. 191–196.
- [4] *Комельков В.С.* // Изв. АН СССР. ОТН. 1950. № 6. С. 856–866.
- [5] *Базелян Э.М., Разжанский И.М.* // Искровой разряд в воздухе. Новосибирск: Наука, 1988. 165 с.
- [6] *Niemeyer L., Piotronero L., Wiesmann H.J.* // Phys. Rev. Lett. 1984. Vol. 52. P. 1033.
- [7] *Куцаенко В.В., Лупейко А.В., Петров Н.И., Чернов Е.Н.* // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 1. С. 53–56.
- [8] *Юман М.А.* // Молния. М.: Мир, 1972. 327 с.
- [9] *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1987. 620 с.

Филиал Всероссийского
электротехнического института
Истра
Московская область

Поступило в Редакцию
19 июля 1991 г.
В окончательной редакции
24 января 1992 г.

02;12
© 1993 г.

Журнал технической физики, т. 63, в. 1, 1993

ИСТОЧНИК ПУЧКОВ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ЧАСТИЦ С ЭЛЕКТРОННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

А.Н.Завилопуло, О.Б.Шпеник, А.И.Жуков, А.В.Снегурский

Большой круг задач физики столкновений с участием возбужденных частиц в заданных квантовых состояниях обуславливает исключительную важность проблемы получения интенсивных пучков метастабильных атомов и молекул с контролируемыми параметрами. Решению этой не только технологической, но и физической задачи посвящено значительное число работ (см., например, [1]). В последние годы явное предпочтение отдается методу электронного возбуждения частиц нейтрального пучка, генерируемого источником газодинамического типа. Здесь, однако, возникает проблема возмущающего действия источника возбуждения, которое в случае, если не приняты специальные меры, может практически свести на нет безусловные достоинства подобного метода генерации пучков. В первую очередь это — искажение пространственной направленности пучка нейтральных частиц и, что не менее важно, ухудшение относительно высокой энергетической однородности, присущей сверхзвуковым пучкам. Последнее обстоятельство особо нежелательно при исследованиях, требующих определения энергетических зависимостей характеристик столкновительных процессов с участием возбужденных партнеров.

Ранее в [2] было показано, что применение в источнике метастабильных частиц совмещенных электронного и нейтрального пучков позволяет достичь скоростных и пространственных параметров пучка метастабильных частиц, практически не искаженных по сравнению с исходными параметрами сверхзвукового пучка.

Естественное стремление к повышению интенсивности метастабильных частиц на выходе из источника влечет за собой необходимость создания в источнике потоков электронов высокой плотности, что в большинстве случаев ухудшает монокинетичность возбуждающих электронов. Это обстоятельство исключает возможность селективного заселения требуемых метастабильных состояний даже для случая атомов $\text{He}(2^3S_1, 2^1S_0)$, метастабильные уровни которых отстоят на 0.8 эВ, что требует тушения одного из состояний.

Таким образом, для решения такой задачи представляет интерес объединение достоинств принципа совмещения пучков электронов и нейтральных частиц с возможностью достижения высокой монокинетичности электронов. В данной работе предложен источник метастабильных частиц на базе газодинамического источника нейтральных пучков (ГИМП) и трохoidalного электронного монохроматора (ТЭМ), а также проведены комплексные исследования основных параметров устройства.

В базовом элементе источника — ГИМП применяется сверхзвуковое сопло Лавала, снабженное электромагнитным клапаном, позволяющим генерировать нейтральные пучки как в непрерывном, так и в импульсном режимах. На первом этапе исследований нами были измерены характеристики импульсных сверхзвуковых пучков газовых объектов и распределения по скоростям пучков метастабильных атомов, возбуждаемых в источнике с совмещенными пучками [3]. Было показано, что импульсные пучки атомов инертных газов характеризуются большим выходом метастабильных частиц ($\sim 10^{11}$ ат./см²·с) при давлении торможения атомов в сопле $P_0 = 100-500$ Тор.

В основу конструкции источника возбуждающих электронов, приведенного схематически на рис. 1, положена традиционная схема ТЭМ [4], которая в связи со спецификой данного исследования была несколько модифицирована. Так, диаметр цилиндрического электрода A_4 равен 3 мм, внутренний диаметр электрода A_5 7 мм, размер отверстий в электродах A_2 и A_3 составляет 0.8 мм, а диаметр проходного отверстия для совмещенных пучков 1.0 мм. Протяженность области совмещения пучков составляет 50 мм.

Следует особо отметить наиболее существенное отличие предложенной нами конструкции, которое заключалось в том, что однородное магнитное поле создавалось охлаждаемым извне соленоидом, помещенным непосредственно в рабочую камеру. Это позволило избежать применения громоздких магнитов, внутри которых размещается вся вакуумная камера с источником электронов [4].

Катод прямого накала изготовлен из W-Re-Ir ленты толщиной 0.01 мм и шириной 1 мм, что позволило достичь токов эмиссии порядка 500 мА. Смещением катода относительно оси нейтрального пучка (рис. 1) устранялась засветка детектора метастабильных частиц, удаленного на 120 мм от выхода ТЭМ. Заряженные частицы на выходе источника электронов устранялись пластинами электростатического конденсатора $A-A$ и сеткой C . Ток электронов контролировался с помощью подвижного цилиндра Фарадея (Π), помещаемого посредством вакуумного ввода на выход

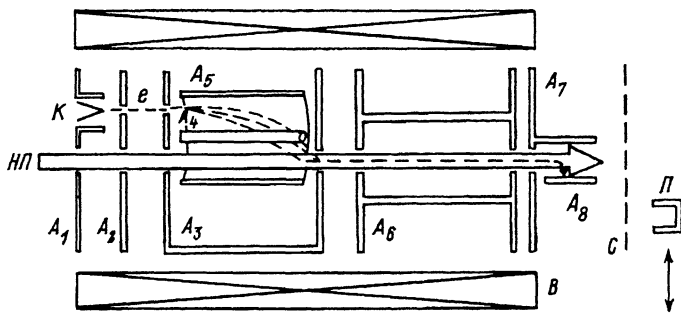


Рис. 1. Схематический разрез источника электронов (ТЭМ).

K — катод; *A*₁ — отражатель; *A*₂ — вытягивающий электрод; *A*₃ — фокусирующий электрод; *A*₄ и *A*₅ — цилиндрические электроды; *A*₆ — ускоряющий электрод; *A*₇, *A*₈ — конденсаторы; *C* — сетка; *П* — подвижный приемник электронов; *B* — соленоид; *HP* — нейтральный пучок атомов или молекул.

ТЭМ для измерения электронного тока и удаляемого в режиме генерации пучка метастабильных частиц. В процессе измерения электронного тока конденсатор отключался и подбирались основные рабочие параметры ТЭМ: напряженность магнитного поля соленоида, потенциалы и токи на фокусирующие и формирующие электроды *A*₂–*A*₅. Как обычно, по кривой вольт-амперной характеристики ТЭМ на приемник и ее производной определялось энергетическое распределение (монокинетичность) электронного пучка, которое оказалось не хуже 0.15 эВ. Насыщение (максимальный ток электронов на приемник) вольт-амперной характеристики наступало при энергии электронов 5 эВ.

Более полное представление об оптимальных параметрах источника метастабильных частиц дает таблица, в которой проведено их сравнение с данными работы [1]. Следует отметить, что в отличие от нашего эксперимента в работе [1] применялась аксиально-симметричная электронная пушка, поэтому речь может идти лишь о качественном сравнении обоих экспериментов.

Экспериментальные исследования заключались в определении оптимальных параметров источника для генерации пучков метастабильных атомов инертных газов и молекул атмосферных газов, а также в измерении полных сечений возбуждения метастабильных состояний этих объектов.

Суть эксперимента сводилась к следующему. Пучок атомов (молекул) от импульсного сопла вводился в рабочую камеру, далее через входную апертуру электрода *A*₁ (рис. 1) проходил сквозь ТЭМ, «совмещаясь» с монохроматичным электронным пучком. Поток метастабилей на выходе ТЭМ детектировался вторичным электронным умножителем на основе микроканальных пластин (ВЭУ-7). Давление остаточных газов в камере обеспечивалось с помощью турбомолекулярного насоса и средств криооткачки и было не хуже $4 \cdot 10^{-7}$ Тор. Энергия электронов в области взаимодействия пучков задавалась эквипотенциальной областью, создаваемой цилиндрическим электродом *A*₆, путем подключения его к генератору ступенчатого напряжения (ГСН) с шагом 0.04 эВ. Синхроимпульсом от ГСН запускался многоканальный анализатор импульсов (МКА), на вход которого через формирующие цепи поступал сигнал с ВЭУ-7.

Параметр	Рабочий газ			
	Гелий		Аргон	
	наши данные	рабо- та [1]	наши данные	рабо- та [1]
Диаметр сопла, мм	0.5	0.1	0.5	0.1
Температура торможения, К	290	290	290	290
Давление на входе в сопло, Тор	209	7500	345	1298
Интенсивность пучка, ат./ср	$6 \cdot 10^{19}$	10^{20}	$9 \cdot 10^{19}$	10^{19}
Интенсивность пучка метастабилей, ат./ср	$7 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{15}$
Мощность катода, Вт	9	30	9	30
Потенциалы, В:				
вытягивание электрода A_2	1.35	30...35	1.35	50...70
отражателя A_1	-1	-2...-5	-1	-2...-7
электрода A_3	1.24	—	1.19	—
электрода $A_4 + A_5$	2.229	—	2.39	—
ускорения электрода A_6	2-100	35-40	2-100	50-70
Максимальная монокинетичность (ПШПВ), эВ	0.08	—	0.08	—
Максимальный ток электронов, мА	$1 \cdot 10^{-2}$	5	$1 \cdot 10^{-2}$	5
Напряженность магнитного поля, Э	90	130	95	130
Мощность, потребляемая соленоидом, Вт	13.6	30	13.6	30
Максимальная скорость атомов, м/с	1820	1730	586	555
Разброс атомов по скоростям, %	5.3	4	6.2	7

Система регистрации полезного сигнала на базе микро ЭВМ позволяла производить измерения и обработку результатов в полуавтоматическом режиме. Таким образом, в эксперименте измерялась зависимость потока метастабильных частиц на детектор от энергии возбуждающих электронов. Сравнение приведенных в таблице энергетических параметров нашего источника с работой [1] показывает, что, несмотря на существенные различия в токах электронного пучка, выходные параметры источников (интенсивность метастабилей, расходимость и т.п.) практически совпадают.

С целью выяснения возможности применения устройства в задачах столкновений электронов с нейтральными мишенями нами проведены измерения функций возбуждения (ФВ) метастабильных уровней атомов He, Ne и Ar и молекул N_2 и H_2 . Полученные данные подтвердили эффективность работы источника метастабильных пучков и позволили оптимизировать его основные параметры применительно к задачам эксперимента. На рис. 2 в качестве примера приведены ФВ метастабильных атомов He и молекул N_2 . Сравнение этих кривых с известными энергетическими зависимостями полного сечения возбуждения метастабильных уровней [5,6] позволяет сделать вывод о хорошем согласии наших данных с результатами, полученными ранее. Структура на ФВ метастабильных уровней молекулы N_2 , связанная, как известно, со вкладом уровней отрицательного иона N_2^- , свидетельствует о высоком энергетическом разрешении, достигаемом в нашем источнике. Действительно, если провести сравне-

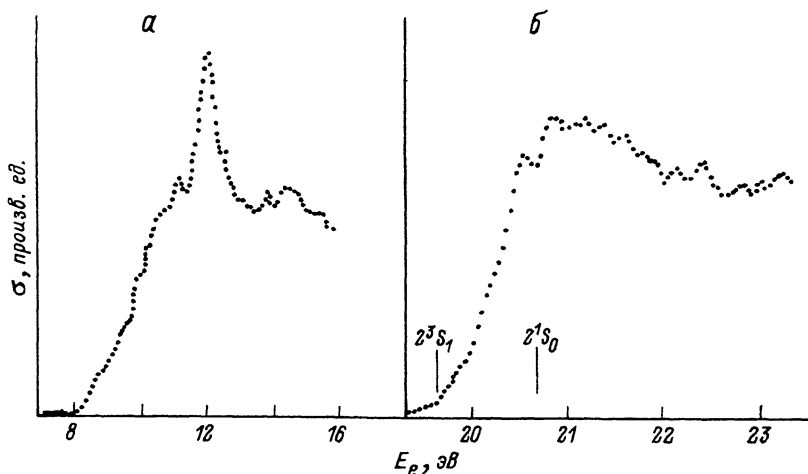


Рис. 2. Полные сечения возбуждения метастабильных уровней молекулы N_2 (а) и атома гелия (б).

ние энергетических положений уровней отрицательного иона N_2^- с наблюдаемой структурой, то резонансные особенности на ФВ (рис. 2,а) с точностью 0.08 эВ совпадают с данными работы [5].

Подобная ситуация наблюдается и для атома He. Как видно из рис. 2,б, на суммарной ФВ отчетливо разделяется вклад триплетного 2^3S_1 и синглетного 2^1S_0 уровней с порогами возбуждения при $E = 19.82$ и 20.61 эВ соответственно. Таким образом, настроив ТЭМ на энергию ниже порога возбуждения второго метастабильного уровня, можно получить пучок возбужденных частиц в заданном квантовом состоянии. К примеру, при энергии 20 эВ в случае атома гелия обеспечивается генерация пучка метастабильных атомов He, находящихся исключительно в триплетном 2^3S_1 -состоянии. Это обстоятельство весьма важно при проведении исследований столкновений метастабильных атомов и молекул с газовыми объектами, поверхностью и т.п. Что касается резонансных особенностей при энергиях выше 21.0 эВ, то они с той же точностью, что и для N_2 , совпадают с положениями уровней иона He^- . Природа и происхождение этих особенностей довольно подробно описаны в нашей работе [7], поэтому здесь мы не будем подробно останавливаться на этом вопросе.

Исходя из вышесказанного можно заключить, что разработанная нами конструкция источника монохроматических электронных пучков на базе трохлоидального монохроматора дает возможность проводить эксперименты в совмещенных пучках, что позволило создать высокоэффективный источник метастабильных атомов и молекул, характеризующийся высокой интенсивностью и скоростной однородностью.

Список литературы

- [1] Кольгазе, Кума // ПНИ. 1986. № 12. С. 3-7.
- [2] Brutschy B., Haberland H. // J. Phys. E. 1977. Vol. 10. N 1. P. 90-94.
- [3] Zaviolpulo A.N., Snegursky A.V., Zhukov A.I., Shpenik O.B. // RGD XVII. Proc. Intern. Symp. / Ed. E.Beylich Alfred. Aachen, 1991. P. 1531-1537.

- [4] Шпенник О.Б., Советер В.В., Завилопуло А.Н., Запесочный И.П., Контрош Е.Э. // ЖЭТФ. 1976. Т. 42. Вып. 2. С. 42–48.
 [5] Brunt J.N.H., King G.C., Read F.H. // J. Phys. B. 1977. Vol. 10. N 3. P. 433–448.
 [6] Newman D.S., Zubek M., King G.C. // J. Phys. B. 1983. Vol. 16. N 12. P. 2247–2263.
 [7] Fabrikant I.I., Shpenik O.B., Snegursky A.V., Zavilopulo A.N. // Phys. Rep. 1988. Vol. 159. N 1,2. P. 1–97.

Институт ядерных исследований
 Ужгородское отделение

Поступило в Редакцию
 19 июля 1991 г.
 В окончательной редакции
 17 декабря 1991 г.

07;08
 © 1993 г.

Журнал технической физики, т. 63, в. 1, 1993

КОМБИНИРОВАННОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ 2×2

В.М.Котюв

Переключающие устройства световых каналов — один из важных элементов в системах волоконно-оптических линий связи, обработки информации и т.д.

В [1,2] рассмотрены акустооптические (АО) брэгговские переключатели 2×2 , в которых используется анизотропная дифракция света на звуке. В данной работе исследуются АО переключатели 2×2 , где используется как анизотропная, так и изотропная дифракция (комбинированное переключение оптических каналов). Такое переключение имеет ряд особенностей, выгодно отличающих эту ситуацию от [1,2].

Будем рассматривать АО переключение в одноосном гиротропном положительном кристалле, индикатрисы которого описываются, согласно [3], с учетом [4]

$$n_1 = n_0(1 - \delta),$$

$$n_2 \left[\frac{\cos^2 \Theta_2}{n_0^2(1 + \delta)^2} + \frac{\sin^2 \Theta_2}{n_e^2} \right] = 1, \quad (1)$$

где n_1 и n_2 — показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно, n_0 и n_e — главные показатели преломления кристалла, δ — параметр гиротропии, Θ_2 — угол между волновым вектором необыкновенного луча и оптической осью кристалла.

Пусть переключение осуществляется при помощи двух акустических пучков с волновыми векторами \mathbf{q}_1 и \mathbf{q}_2 по схеме, предложенной в [1,2]: оба пучка направлены ортогонально оптической оси кристалла и образуют параллелограмм. На рис. 1 приведена векторная диаграмма такого взаимодействия. Акустические пучки \mathbf{q}_1 и \mathbf{q}_2 лежат в плоскости Q , ортогональной оптической оси OZ кристалла. Эта плоскость пересекает оптические индикатрисы кристалла по окружностям S_1 и S_2 (обыкновенных и необыкновенных лучей соответственно). Входные оптические лучи с волновыми векторами \mathbf{K}_1 и \mathbf{K}_2 (соответственно необыкновенный и обыкновенный) дифрагируют на звуковых волнах \mathbf{q}_1 и \mathbf{q}_2 в направления \mathbf{K}_3