

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ****НОВЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПУЧКОВ**

Молекулярный пучок является весьма важным экспериментальным средством современной физики. Благодаря ему была осуществлена дифракция атомов и молекул, являющаяся одним из экспериментальных обоснований волновой теории материи. С его помощью исследуется сверхтонкая структура спектров и определяются спины ядер. Он используется также в резонансном методе измерения магнитных моментов ядер и многочисленных работах в области кинетической теории материи.

Для получения молекулярного пучка обычно пользуются методом испарения через узкое отверстие в «печи» и выделения направленного пучка с помощью системы диафрагм. Однако этот простой метод имеет ряд существенных недостатков, ограничивающих применение молекулярных пучков:

1. Интенсивность пучка обычно очень невелика.
2. Получение монохроматических (по скоростям) пучков требует весьма сложной аппаратуры, ещё более ослабляющей пучок.
3. Регулирование скорости частиц, образующих пучок, возможно только путём изменения температуры «печи». Так как через «печь» непрерывно протекает газ, то стабилизировать температуру очень трудно. Кроме того применение высоких температур ограничивается диссоциацией молекул исследуемого вещества.

Недавно был предложен новый метод получения молекулярных пучков, устраняющий эти недостатки¹. Сущность нового метода состоит в получении молекулярного пучка путём нейтрализации пучка ионов исследуемого вещества медленными электронами. Пучок ионов, проходя через область пространства, заполненную электронами, движущимися в перпендикулярном направлении, захватывает их и превращается в нейтральный пучок, частицы которого продолжают двигаться практически с той же скоростью, которую они имели в ионном пучке, и в том же направлении. Интенсивность получающегося молекулярного пучка определяется интенсивностью ионного источника и коэффициентом нейтрализации ионов. Последний зависит от времени пребывания ионов в области, где создан отрицательный пространственный заряд (т. е. от скорости ионов), плотности отрицательного пространственного заряда и скорости электронов. Ионы, которые не были нейтрализованы при прохождении через область отрицательного заряда, легко удаляются из пучка с помощью отклоняющего электрического или магнитного поля.

Использование ионов позволяет избежать указанных выше недостатков метода молекулярных пучков. Ионные источники создают гораздо более мощные пучки, чем эффузионные «печи», причём интенсивность пучка может легко меняться. Скорость ионов определяется потенциалом ускоряющего электрического поля и также может плавно

меняться. Значительно упрощаются монохроматизация и фокусировка пучка: сначала с помощью любого электрического фильтра скоростей (например, фильтра со взаимно перпендикулярными электрическим и магнитным полями)² производятся монохроматизация и фокусировка ионного пучка, а затем монохроматический пучок ионов нейтрализуется и превращается в монохроматический молекулярный пучок. Следовательно, в новом методе весь процесс получения молекулярного пучка «электрифицирован», что позволяет использовать богатую технику и методику, разработанную в области масс-спектро스코пии.

Следует отметить, что при таком методе получения молекулярных пучков скорости частиц, образующих пучок, будут значительно больше тепловых скоростей обычных молекулярных пучков. Поэтому для получения скоростей, меньших скорости, сообщаемой ионным источником при минимальной ускоряющей разности потенциалов, необходимо затормозить ионы с помощью соответствующего электрического поля.

Проведённый подсчёт показывает, что источник ионов, создающий ионный ток плотностью $2 \cdot 10^{-5}$ А/см², оказывается при тождественных геометрических условиях примерно в 100 раз более интенсивным, чем эффузионная «печь». В настоящее время существуют ионные источники, позволяющие получать значительно большие плотности ионных токов.

Для исследования образования молекулярного пучка с помощью нейтрализации пучка ионов и изучения зависимости коэффициента нейтрализации от плотности электронного пространственного заряда, была построена установка, состоящая из источника ионов, электронной «пушки», испускающей электроны в направлении, перпендикулярном к ионному пучку, приёмника ионов и индикатора молекулярного пучка. Опыты производились с ионами азота, ускоренными разностью потенциалов 1000 эв. Пучок ионов плотностью $i^+ \sim 1,3 \cdot 10^{-7}$ А/см² ($n^+ \sim 1 \cdot 10^4$ ион/V³) пересекался электронным пучком, причём энергия электронов равнялась 50 эв, а плотность электронного тока могла изменяться в пределах от 0 до $1,7 \cdot 10^{-3}$ А/см² ($n^- \sim 2 \cdot 10^7$ электрон/см³). Измерялась зависимость величины ионного тока от плотности электронного пучка (при постоянной скорости электронов). Опыт показал, что интенсивность ионного пучка оставалась практически постоянной вплоть до плотности электронного тока, равной $0,1 \cdot 10^{-3}$ А/см², после чего она резко уменьшалась (в $4^{1/2}$ раза в интервале от 0,1 до $0,36 \cdot 10^{-3}$ А/см²) и при плотности электронного тока, равной $1,5 \cdot 10^{-3}$ А/см², ионный ток на приёмник прекращался, т. е. пучок ионов нейтрализовался полностью. Если от плотностей токов перейти к объёмным концентрациям электронов и ионов, то оказывается, что в каждом см³ пространства, где происходит нейтрализация, для полного превращения ионного пучка в молекулярный необходимо было на каждый ион азота около 2000 медленных электронов. Очевидно, что при других значениях скоростей ионов и электронов это соотношение изменится.

Таким образом предварительные эксперименты подтвердили возможность получения молекулярного пучка путём нейтрализации ионного пучка медленными электронами.

В. Лешковцев

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Л. Симоненко, ЖЭТФ 20, 385 (1950).
2. Э. В. Шпольский, Атомная физика, т. I, § 9, Гостехиздат (1949).