

1296



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

М.И. Подгорецкий

1296

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ ГАЗА
С ТВЕРДОЙ СТЕНКОЙ
И ЭФФЕКТ МЁССБАУЭРА

Дубна 1983

М.И. Подгорецкий

1296

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ ГАЗА
С ТВЕРДОЙ СТЕНКОЙ
И ЭФФЕКТ МЁССБАУЭРА

1961/3 ч. 4.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

После открытия эффекта Мёссбауэра выяснилось, что сходные понятия давно и широко использовались в самых разнообразных и, как казалось, не связанных между собой областях физики: люди говорили прозой, сами того не подозревая. Более широкий взгляд на вещи, связанный с интерпретацией эффекта Мёссбауэра, немедленно выявил общность указанных явлений и помог обнаружить новые явления такого рода. Одно из них — взаимодействие атомов и молекул с твердой стенкой. Автор не является специалистом в этой обширной области и не может оценить, насколько новы излагаемые ниже результаты. Однако, даже с одной только методической точки зрения, рассмотрение их, связанное с эффектом Мёссбауэра, представляется достаточно поучительным.

При столкновении со стенкой молекула может либо отразиться, либо адсорбироваться. Ниже будет рассмотрена только первая возможность, реализующаяся с достаточно большой вероятностью в случае водорода, атомарного и молекулярного, и гелия^{1/}. Отражение может быть как упругим, так и неупругим, и мы должны сейчас выяснить, от чего это зависит. Будем для простоты считать рассматриваемый газ атомарным. Тогда длительность столкновения равна по порядку величины периоду атомных колебаний ($\sim 10^{-15}$ сек), т.е. очень мала по сравнению с собственными временами, характерными для твердого тела ($\sim 10^{-13}$ сек). В этих условиях столкновение можно считать мгновенным, и его результат определяется величиной переданного импульса и температурной стенки.

Соотношения здесь по существу такие же, как в эффекте Мёссбауэра. Если передаваемый импульс и температура стенки достаточно велики, то столкновение можно рассматривать как взаимодействие с одним из атомов решетки, сопровождающееся изменением внутреннего состояния стенки. Как следствие имеют место теплообмен между газом и стенкой, трение газа о стенку и т.д. Отражение молекул от стенки является в этих условиях диффузным.

Другая картина, когда температура стенки и передаваемый импульс малы. В этом случае отражение есть процесс взаимодействия атома газа со всей стенкой в целом, причем велика вероятность того, что после столкновения внутреннее состояние стенки вообще не изменится. Следует подчеркнуть, что такой исход является вполне реальным. Например, при $T = 100^\circ\text{K}$, изменение направления полета молекулы водорода на обратное связано с передачей импульса $\sim 6 \cdot 10^{-19}$ гр. см. сек⁻¹; с другой стороны, при известном "мёссбауэровском" переходе в F_0^{57*} решетке передается даже несколько больший импульс $\sim 7 \cdot 10^{-19}$ гр. см. сек⁻¹. Отсюда вытекает, что при рассеянии на меньшие углы эффект Мёссбауэра может быть четко выражен даже при комнатной температуре.^{x/}

x/ Если внутри стенки имеются свободные электроны, то, в принципе, даже очень медленные атомы могут потерять при столкновении какую-то долю своей энергии. Мы предполагаем, что это явление не играет существенной роли (например, стенка из диэлектрика). Еще одна особенность состоит в том, что в отличие от обычного эффекта Мёссбауэра в интересующем нас случае передача импульса происходит не внутри решетки, а на ее поверхности^{2/}. Не исключено, что это обстоятельство может послужить основой специального метода исследования поверхностных свойств кристалла.

Если внутреннее состояние кристалла не изменяется, то имеет место правильное геометрическое отражение (либо дифракция, когда длина волны достаточно мала). Для его наблюдения нужно иметь очень гладкую отражающую поверхность, практически — поверхность скола кристалла. Коэффициент отражения должен возрастать при уменьшении температуры атомарного пучка, охлаждении поверхности и увеличении угла падения. Именно это и наблюдается в опытах с водородом и гелием^{/1/}. С другой стороны, пучки неона и аргона не дают заметного геометрического отражения, что обычно связывают с большой ролью адсорбции^{/1/}. На наш взгляд, возможно и другое объяснение: при фиксированной температуре пучка передаваемый импульс растет как квадратный корень из атомного веса, что приводит к резкому уменьшению вероятности эффекта Мёссбауэра.

Для шероховатых поверхностей геометрическое отражение непосредственно ненаблюдаемо. Имеются, однако, важные косвенные проявления эффекта Мёссбауэра, не связанные с рельефом поверхности. Важнейшее из них — отсутствие теплопередачи, что является просто другим словесным описанием эффекта Мёссбауэра. Для более четкого выявления сути дела мы предполагаем, что речь идет о разреженном газе, и нет необходимости рассматривать различного рода гидродинамические тонкости. В этих условиях можно ожидать, что при понижении температуры газа и стенки теплопередача резко падает. Соответственно подавляются различные вакуумные явления типа радиометрического эффекта, температурного скачка и т.д.

Другое очевидное следствие эффекта Мёссбауэра — отсутствие трения движущегося газа о стенку, поскольку при упругом отражении атома изменяется только поперечная составляющая его импульса. Следует иметь в виду, что с практической точки зрения это явление может восприниматься как увеличение трения. Действительно, простое геометрическое рассмотрение показывает, что при правильном отражении от шероховатой поверхности ей передается больший продольный импульс, чем при диффузном рассеянии. Соответственно скорость газа вблизи поверхности не равна нулю, как это обычно принимается, а имеет составляющую, противоположную по направлению скорости на бесконечности. Вместе с тем и для шероховатых поверхностей можно с полным основанием говорить об отсутствии трения, поскольку диссипация энергии не имеет места (стенка не нагревается!).

Пользуюсь случаем, выразить свою признательность С.С.Герштейну, Д.С.Чернавскому, Ф.Л.Шапиро и особенно А.Г.Зельдовичу за помощь и интересные замечания.

Л и т е р а т у р а

1. Н.Рамзей Молекулярные пучки, гл. 2, § 5, ИЛ, 1960.
2. R.F.Wallis, D.C. Gazis. Phys. Rev., 128, 106 (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел
15 мая 1963 г.