

ИССЛЕДОВАНИЕ НА ГРАВИТАЦИОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ ПОЛНЫХ И НЕУПРУГИХ СЕЧЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТИТАНА, МОЛИБДЕНА, ВОЛЬФРАМА, ВАНАДИЯ С НЕЙТРОНАМИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ

А. В. Антонов, А. И. Исаков, И. В. Мешков, А. Д. Перекрестенко,
А. А. Тихомиров

УДК 539.125.162.2

Измерены полные и неупругие сечения взаимодействия нейтронов со скоростями в интервале приблизительно от 4 до 90 м/с с титаном, молибденом, вольфрамом, ванадием с помощью гравитационного нейтронного спектрометра.

Данная работа посвящена изучению процесса взаимодействия нейтронов очень малых энергий ($10^{-8} + 5 \cdot 10^{-5}$ эВ) с рядом твердых полукристаллических тел - титаном, молибденом, вольфрамом, ванадием. Измерения проводились на созданном авторами гравитационном нейтронном спектрометре, подробно описанном в работах [1,2]. Разрешение спектрометра по энергии в среднем соответствовало $\sim 1\%$, регистрируемая детектором интегральная интенсивность нейтронного потока составляла $2,2 \cdot 10^4$ имп./мин. Фон не зависел от энергии и его абсолютная величина составляла примерно 50% от регистрируемой детектором интенсивности при энергии нейтронов $8,4 \cdot 10^{-8}$ эВ. Энергия нейтронов определялась по времени пролета ими 6-метрового вертикального нейтронвода. На опыте методом пропускания определялись величины полных эффективных сечений взаимодействия нейтронов с изучаемым твердым телом. Установка давала возможность проводить измерения как с образцами комнатной температуры, так и с образцами, охлажденными до температуры жидкого азота.

В названной выше области энергий (расположенной ниже брэгговского скачка) в наблюдаемое полное сечение основной вклад вносят процессы захвата нейтронов, их неупругое рассеяние, упругое дифракционное рассеяние нейтронов на неоднородностях, рефракция

нейтронов, связанная с многократным отражением нейтронов на границах образца.

В описываемых ниже экспериментах при определении скорости нейтронов учитывался процесс преломления нейтронной волны на границе вакуум-образец. В измеренную величину полного сечения вводилась поправка, учитывающая рефракцию нейтронной волны.

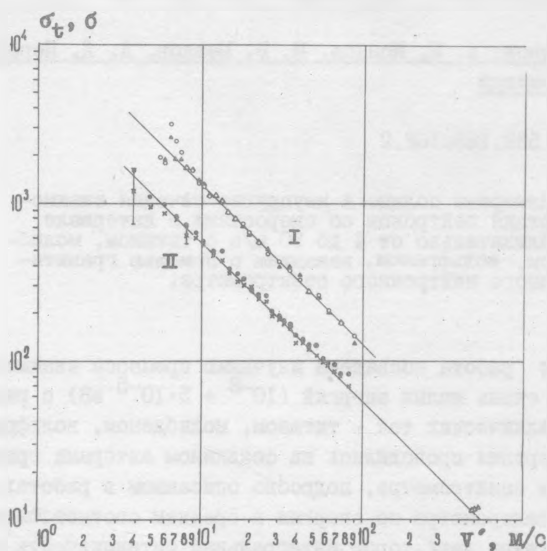


Рис. I

Титан. Для измерений использовался образец из поликристаллического титана чистотой 99,83%. Толщина его составляла $\gamma = 3,582 \cdot 10^{-2}$ г/см² \pm 3%. На рис. I (кривая I) показана зависимость σ_t от скорости нейтрона внутри вещества. Кружками обозначены сечения, полученные при измерениях с образцом комнатной температуры (297 K), треугольниками - с образцом при температуре 80 K (температура Дебая титана 430 K). Из рисунка видно, что зависимость σ_t от v , измеренные при различных температурах образца практически совпадают, вследствие чего определить значения сечений неупругого рассеяния нейтронов титаном в данных измерениях

не удалось. Полученные величины сечений в области скоростей нейтронов от 8 до 90 м/с хорошо аппроксимируются прямой $\sim 1/V'$. Наблюдаемое некоторое отклонение от закона $\sim 1/V'$ в области скоростей меньших 8 м/с связано, вероятно, с недостаточной коллимацией потока нейтронов. Экстраполяцией полученных данных было определено полное сечение для тепловых нейтронов (соответствующее скорости $V = 2200$ м/с), оказавшееся равным $\sigma_t = 5,8 \pm 0,8$ б, что хорошо совпадает с сечением захвата тепловых нейтронов титаном $\sigma_c = 5,8 \pm 0,1$ б, приведенным в /3/. Резюмируя, можно сделать следующие выводы: 1) при скоростях нейтронов от 8 до 90 м/с полное сечение взаимодействия нейтронов с титаном $\sim 1/V'$ и близко к величине сечения захвата; 2) сечение неупругого рассеяния значительно меньше сечения захвата.

Молибден. Измерения были проведены на поликристаллическом молибдене чистотой 99,98% при толщине образца $1,03 \cdot 10^{-1}$ г/см² $\pm 3\%$. На рис. I (кривая II) показана зависимость σ_t от V' . Точками обозначены величины сечений, определяемые из измерений при температуре образца 297 К, а крестиками - при температуре 80 К (температура Дебая молибдена 470 К). Из рис. I видно, что зависимости σ_t от V' , полученные при различных температурах образца, хорошо описываются законом $\sim 1/V'$. Исходя из различия приведенных кривых, можно оценить вклад в полное сечение, вносимый неупругим рассеянием нейтронов при комнатной температуре. При скорости нейтронов $V' = 10$ м/с он соответствовал сечению неупругого рассеяния $\sigma_{ie} = 20 \pm 10$ б. Из полученных при температуре 80 К экспериментальных данных экстраполяцией было определено σ_t в тепловой области, оказавшееся равным для $V = 2200$ м/с $2,8 \pm 0,8$ б, что находится в хорошем согласии с данными /3/ для сечения захвата тепловых нейтронов молибденом $\sigma_c = 2,7 \pm 0,1$ б. Можно сделать следующие выводы: 1) полное сечение взаимодействия молибдена с нейтронами при скоростях от ~ 4 м/с и до ~ 80 м/с при температуре образца 80 К определяется сечением захвата нейтронов; 2) при комнатной температуре неупругое рассеяние вносит примерно двухпроцентный вклад в полное сечение взаимодействия молибдена с нейтронами; 3) полное сечение, а также, по-видимому, и неупругое сечение взаимодействия нейтронов с молибденом следует закону $\sim 1/V'$.

Вольфрам. Измерения были проведены при комнатной температуре на поликристаллическом образце вольфрама, обладающего чистотой

99,98%. Толщина образца составляла $3,58 \cdot 10^{-2} \text{ г/см}^2 \pm 3\%$. Из рассмотрения рисунка 2, на котором приведены полученные результаты, видно, что зависимость σ_t от V хорошо аппроксимируется прямой

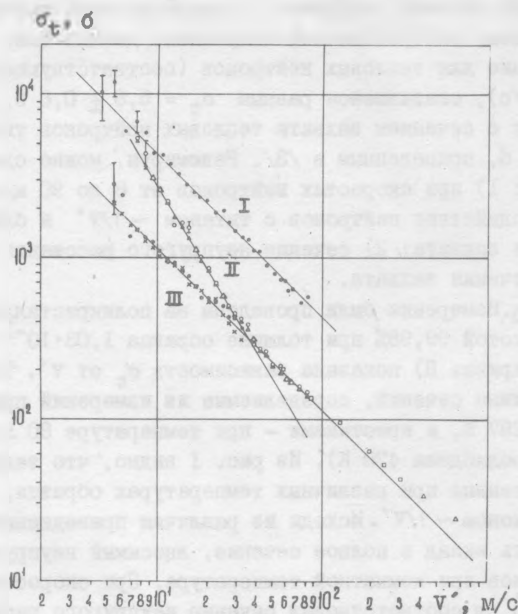


Рис. 2.

$\sim 1/V$. По полученным данным экстраполяцией было определено σ_t для скорости нейтронов $V = 2200 \text{ м/с}$; оно оказалось равным $\sigma_t = 20 \pm 1 \text{ б}$. Эта величина хорошо совпадает с сечением захвата нейтронов вольфрамом, приводимым в работе /3/ — $\sigma_c = 19,2 \pm 1 \text{ б}$. Из этого можно заключить, что полное сечение взаимодействия нейтронов с вольфрамом при скоростях от 4,5 до 82 м/с в основном определяется сечением захвата нейтронов.

Ванадий. Использовались два поликристаллических образца ванадия, обладавшего чистотой 99,82%. Первый образец (результаты измерений с которым показаны на рис. 2 (кривая II), имел толщину $4,15 \cdot 10^{-2} \text{ г/см}^2 \pm 2\%$. Второй образец имел толщину $1,71 \cdot 10^{-2} \text{ г/см}^2 \pm$

$\pm 3\%$. Перед проведением измерений этот образец был в течение 1 часа отожжен в вакууме при температуре 900°C . Измерения с этим образцом приведены на рис. 2 (кривая III). Измерения проводились при двух различных температурах образцов: кружками и точками обозначены измерения при температуре 297 K , а треугольниками и крестиками – при температуре 80 K (температура Дебая ванадия 380 K). Из рисунка видно, что зависимости σ_t от V' , полученные при различных температурах, практически совпадают для каждого образца, поэтому выделить сечение неупругого рассеяния в данных измерениях не удалось. Из рассмотрения кривой II рис. 2, соответствующей измерениям с первым образцом, видно, что при скоростях нейтронов меньших $\sim 35\text{ м/с}$ наблюдается резкое отклонение найденных значений σ_t от закона $\sigma \sim 1/V'$; сечения растут быстрее, чем предсказывается этим законом. Полученная экспериментальная зависимость $\sigma_t(V')$ хорошо аппроксимируется функцией $V'^{-2,8}$. Зависимость σ_t от V' , полученная на втором образце, хорошо следует закону $\sim 1/V'$ во всем диапазоне скоростей нейтронов.

Мы полагаем, что причиной резкого увеличения σ_t при скоростях нейтронов меньших $\sim 35\text{ м/с}$, наблюдающегося при измерениях с первым (неотожженным) образцом, является рассеяние на дефектах структуры, возникших при пластической деформации образца.

Исходя из полученных данных экстраполяцией было определено σ_t для скорости нейтронов $V = 2200\text{ м/с}$. Оно оказалось равным $\sigma_t = 5,0 \pm 0,8\text{ б}$. Эта величина хорошо совпадает со значением сечения захвата нейтронов ванадием, приводимым в работе /3/, $\sigma_c = 4,98 \pm 0,02\text{ б}$.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Д. В. Скобельцину, Н. Г. Басову и В. М. Колобашкину за поддержку и помощь в постановке данной работы. Авторы также благодарны А. П. Крюкову за помощь в работе, С. Б. Степанову за участие в обсуждении результатов.

Поступила в редакцию
14 июля 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. В. Антонов, А. И. Исаков, И. В. Мешков, А. Д. Перекрестенко, А. А. Тихомиров, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 10 (1977).
2. А. В. Антонов, А. И. Исаков, И. В. Мешков, А. Д. Перекрестенко, А. А. Тихомиров, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11 (1978).
3. D. Hughes, R. Schwartz, Neutron Cross Sections, BNL-325, 1958.
4. W. Dilg, W. Mannhart, Z. Physik, 266, 157 (1974).