

А. ЛЕЙПУНСКИЙ и Д. ТИМОЩУК

РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ НОРМАЛЬНЫМ И ПАРА-ВОДОРОДОМ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 15 II 1939)

Измерены поперечники рассеяния нейтронов с энергиями 0.037 eV и 0.019 eV газообразным пара- и орто-водородом. Найдено, что поперечник орто-водорода при этом меняется от $55 \cdot 10^{-24}$ см² до $71 \cdot 10^{-24}$ см², поперечник пара-водорода меняется от $47 \cdot 10^{-24}$ см² до $22 \cdot 10^{-24}$ см².

Установлено, в согласии с Брикведдом, Деннингом и др., существование спинового взаимодействия между нейтроном и протоном и виртуальность синглетного уровня дейтерия.

Теллером, а затем Теллером и Швингером⁽¹⁾ было указано на то, что вопрос о существовании спинового взаимодействия между нейтроном и протоном может быть решен путем измерения рассеяния медленных нейтронов в пара- и орто-водороде.

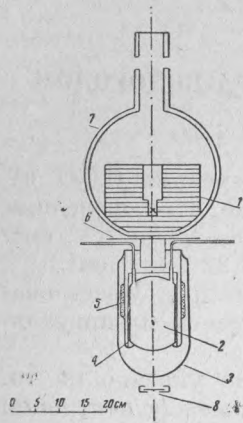
В том случае, когда скорость нейтронов достаточно велика, молекулярное состояние водорода никоим образом не скажется на рассеянии нейтронов протонами, так как длина нейтронной волны будет настолько мала по сравнению с расстоянием между протонами в молекуле H₂, что никаких интерференционных явлений не будет. При этом нейтроны будут рассеиваться протонами так, как если бы эти последние находились в любом другом соединении с той же энергией связи. В случае достаточно медленных нейтронов, когда длина нейтронной волны сравнима с расстоянием между протонами в молекуле H₂, взаимное расположение спинов протонов должно при наличии спинового взаимодействия оказывать заметное влияние на рассеяние нейтронов молекулой H₂. Для орто-H₂, при котором спины параллельны, рассеяние (в пределе, когда скорость нейтронов приближается к нулю) будет соответствовать взаимодействию с двойным спином. Для пара-H₂, у которого спины антипараллельны, в пределе спиновое взаимодействие будет практически отсутствовать. Кроме того Теллер и Швингер показали, что характер рассеяния будет существенно зависеть от знака синглетного уровня дейтона. Так, в том случае, если уровень реальный, т. е. энергия дейтерона в синглетном состоянии меньше энергии протона и нейтрона порознь, поперечник рассеяния нейтронов пара-водородом должен возрасти на 30% при переходе от нейтронов с энергией 0.037 eV (эквивалентной тепловому равновесию нейтронов и протонов в парафине при комнатной температуре) к нейтронам с энергией 0.012 eV (эквивалентной температуре жидкого воздуха). При виртуальном уровне дейтерия для нейтронов тех же скоростей поперечник должен уменьшиться в 100 раз. Это имеет место только для упругого рассеяния.

Таким образом изучение рассеяния медленных нейтронов пара- и орто-водородом дает сведения не только о силах, имеющих место при взаимодействии нейтронов с протонами, но кроме того о знаке синглетного уровня дейтона.

Для опытов по рассеянию нейтронов пара- и нормальным водородом была сооружена установка, состоящая из:

- а) прибора для получения смеси, обогащенной пара-водородом,
- б) рассеивающего прибора, приспособленного для газообразного рассеивателя.

Прибор для получения пара-водорода представлял собой стальную трубку с кокосовым углем, погруженную в дюаровский сосуд, наполненный жидким водородом. Газообразный водород из бомбы проходил в тонкую спиральную медную трубку, окружающую трубу с углем, сжигался в ней и в жидком состоянии поступал в нижнюю часть трубы с углем. Водород на угле выдерживался до тех пор, пока обогащение пара-водородом не достигало 80—90%. По свинцовой трубке смесь, обогащенная пара-водородом, поступала в рассеивающий прибор.



Рассеивающий прибор, изображенный на фигуре, представляет собой цилиндрическую с закругленными концами бомбу 2 из хромоникелевой стали. Бомба с толщиной стенок 2.5 мм составляет часть металлического дюаровского сосуда 3. К верхней части бомбы при помощи патрубков припаяны две свинцовые трубки, одна из которых соединяет бомбу с пара-водородным прибором, а вторая соединяет ее с манометром, анализатором и газгольдером. Изнутри бомба покрыта тонким слоем шеллака для предо-

хранения пара-водорода от соприкосновения с железом. Это мероприятие обеспечило постоянство состава смеси во время опыта. Снаружи бомба была окружена кадмиевым фильтром 4 толщиной 0.6 мм. В промежутке между бомбой и внутренней стенкой дюаровского сосуда налит жидкий азот, уровень которого был на 15 мм ниже верхней оконечности бомбы. Высота уровня контролировалась гипсометром. В нижней части дюаровского сосуда была помещена печка (не изображенная на фигуре), предохранявшая от запотевания стенку дюаровского сосуда, обращенную к ионизационной камере. Источником медленных нейтронов служил металлический дюаровский сосуд 7, внутри которого был помещен парафиновый блок с источником нейтронов около 200 мг Ra, смешанный с бериллием. Для увеличения теплопроводности в парафиновом блоке находились железные диски. В нижней части дюаровского сосуда сделаны окна из тонкого никеля для выпуска нейтронов. Эффективность установки в замедлении нейтронов была исследована Лейпунским и Русиновым⁽²⁾. Отношение коэффициента поглощения нейтронов бором при налитом в дюаровский сосуд жидком азоте к коэффициенту поглощения нейтронов, замедленных парафином, при комнатной температуре равно 1.53, что соответствует эффективной «температуре» нейтронов 123° К. Средняя энергия нейтронов при этом равна 0.019 eV. В качестве детектора была применена ионизационная камера с бором 8, соединенная с линейным усилителем. Отсчет импульсов производился тиратронным счетчиком. Эффективный телесный угол с рассеивателя на камеру составлял 0.045 стерадиана. Анализ состава смеси производился по методу измерения теплопроводности.

Измерение рассеяния проводилось следующим образом: в течение 10 мин. измерялось число отсчетов без кадмиевого фильтра над бомбой

и без водорода в бомбе. Затем отверстие в кадмиевом фильтре закрывалось кадмиевой пластинкой и снова определялось число отсчетов счетчика. После этого рассеивающая бомба наполнялась пара- или орто-водородом до определенного давления, в течение около 3 мин. происходило охлаждение водорода до азотной температуры, а затем производились те же измерения, что и без водорода. Примерно через 30 мин. смесь анализировалась и выпускалась в газгольдер. Измерения производились с нейтронами двух энергетических распределений: 1) находящимися в равновесии с протонами в парафине при комнатной температуре, 2) то же при температуре жидкого азота. Результаты представлены в таблице.

Энергия нейтронов	Поперечник σ 10^{-24} см ² на молекулу	Состав смеси	Поперечники σ 10^{-24} см ² , экстраполированные на чистые компоненты смеси
300° К	53	75% орто 25% пара	σ орто—55
129° К	59	То же	σ орто—71
300° К	48	15% орто 85% пара	σ пара—47
129° К	30	То же	σ пара—22

В таблице приведены значения поперечников, поправленные на геометрические размеры установки с учетом вторичного рассеяния.

Экстраполируя значения полученных поперечников для чистых компонент смеси, мы получим следующие данные: для нейтронов с энергией, эквивалентной 123° К,

$$\sigma \text{ орто}—71 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2, \quad \sigma \text{ пара}—22 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$$

и для нейтронов с энергией, эквивалентной 300° К,

$$\sigma \text{ орто}—55 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2, \quad \sigma \text{ пара}—47 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2.$$

Эти данные находятся в качественном согласии с теоретическими предсказаниями для виртуального уровня дейтерия и в согласии с выводами, полученными Брикведдом, Деннингом и др.

Большой по сравнению с теоретическими данными поперечник рассеяния пара-водородом нейтронов при температуре 123° К повидимому целиком объясняется участием в рассеянии нейтронов с энергиями больше тепловых, входящих в полосу поглощения кадмия, и нейтронов, находящихся в тепловом равновесии с протонами в парафине, но имеющих энергию больше 0.024 eV. Эти более быстрые нейтроны способны рассеиваться неупругим образом, вызывая превращение пара-водорода в орто-водород, для которого необходимо 0.024 eV. В лучшем согласии с теоретическими предсказаниями, по сравнению с данными Брикведда и др., находятся поперечники газообразного рассеивателя: увеличение поперечника орто-водорода при переходе от нейтронов комнатной «температуры» к нейтронам «температуры» жидкого азота мало, в то время как у Брикведда и его сотрудников происходит увеличение почти в 2 раза.

Таким образом сравнение полученных результатов с теорией Теллера и Швингера показывает наличие между нейтронами и протонами сил,

зависящих от спинов, указывает на то, что синглетный уровень дейтерона виртуален, но не дает возможности сделать заключение относительно радиуса действия ядерных сил вследствие того, что при измерении поперечника рассеяния для пара-водорода при низкой температуре имеют место и неупругие столкновения.

В заключение выражаем благодарность инженеру В. Дементию за помощь при проведении опытов.

Украинский физико-технический институт.
Харьков.

Поступило
5 II 1939.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. Schwinger a. E. Teller, Phys. Rev., **52**, 286 (1937). ² A. Leipunsky a. L. Russinov, Sow. Phys., **12**, 561 (1937). ³ E. Brikwedde a. other., Phys. Rev., **54**, 266 (1938).