

С 349.1  
С - 373



Симкина А.П.

Б1-14-84-589.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

6462/84

Б 1-14-84-589.

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 84

А. И. СЕТЕЧНА

Б1-14-24-578

С349.1  
С-373

ПРОВЕРКА ВЛИЯНИЯ  $\delta$ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА  
КРИТИЧЕСКУЮ ТЕМПЕРАТУРУ КСЕНИОНА

20.07.74.

## I. Введение

При облучении разбавленного раствора  $\text{CO}_2 - \text{I}_2$  ртутной лампой в оптическом диапазоне энергий наблюдается /1,2/ смещение критической температуры раствора за счёт фотодиссоциации молекул йода. Максимальная концентрация йода в растворе составляла  $2 \cdot 10^{-2}$  мол. % ( $\sim 2 \cdot 10^{-6}$  моль/см<sup>3</sup>). Равновесная концентрация атомарного йода равнялась  $6 \cdot 10^{-3}$  мол. % /2/. Смещение критической температуры при облучении ультрафиолетом наблюдалась также для чистого  $\text{Cl}_2$  /3/, концентрация атомарного хлора при максимальном смещении критической температуры равнялась  $5 \cdot 10^{-4}$  мол. %. Из работ /2,3/ также следует, что времена рекомбинации атомов йода и хлора в критической точке возрастают до 60–80 мин., в то время как время жизни свободных атомов в обычных условиях значительно меньше секунды. Такое увеличение времен рекомбинации в /2,3/ объясняется уменьшением на несколько порядков коэффициента диффузии примесей в критической точке.

Для измерения распределения плотности по высоте сосуда ( $p-h$ -изотерм) в чистом ксеноне и разбавленном растворе  $\text{Xe} - \text{I}_2$  при критических условиях предполагается использовать  $\gamma$ -излучение энергии 123 кэВ. А priori нельзя утверждать, что излучение такой энергии не окажет влияния на критические температуры чистого  $\text{Xe}$  или раствора  $\text{I}_2$  в ксеноне.

В настоящей работе последнее положение проверили расчётом и прямым экспериментом. Исходным пунктом являлись следующие предпосылки:  $\gamma$ -излучение может изменить критическую температуру: 1) за счёт появления новых компонентов в результате ионизации и диссоциации молекул, 2) за счёт энергии, выделяемой при рекомбинации.

## 2. Новые компоненты

По условиям эксперимента (изменение  $\rho - k$ -изотерм) на образец падает  $2 \cdot 10^7$   $\gamma$ -квант/сек.

Из /4/ можно оценить, что 5 мм ксенона при критической плотности ослабляют пучок  $\gamma$ -лучей данной энергии вдвое. Фотоэффект на ксеноне /4/ вносит основной вклад в ионизацию атомов. При фотоэффекте каждый поглощенный квант выбивает быстрый электрон, энергия которого равна энергии  $\gamma$ -кванта за вычетом энергии связи электрона в атоме. Для ксенона энергия связи электрона на K-оболочке равна 34,5 кэВ /5/. Поэтому фотоэлектрон может произвести дальнейшую ионизацию. Энергия, расходуемая фотоэлектроном на образование пары ионов, включая потери на возбуждение, равна, примерно, 30 эВ /6/. Таким образом, каждый  $\gamma$ -квант, поглощенный при фотоэффекте на K-оболочке, приводит к ионизации  $\frac{(23-34,5) \cdot 10^3}{30} = 3 \cdot 10^3$  атомов, на L-оболочке  $4 \cdot 10^3$  атомов. Каждую секунду в веществе будет образовываться  $\sim 7 \cdot 10^{10}$  ионов. Атомы ксенона не обладают средством к электрону, поэтому будем иметь положительные ионы и столько же электронов. В случае йода ионизированная молекула будет диссоциировать с образованием  $Y^+$  и  $Y^-$ .

Подвижность электронов значительно выше, чем подвижность ионов. Часть из них, энергия которых выше 30-40 эВ, отойдет от ионов /7/. Из работы /7/ также известно, что при прохождении через диэлектрическую жидкость количество электронов, которые отойдут от иона на расстояние, большее эффективного радиуса

действия кулоновских сил, т.е. которые станут свободными, равно 0,2 на каждые 100 электрон-вольт поглощенной энергии. В нашем случае будем иметь  $2 \cdot 10^2$  иона на каждые 100 кэВ поглощенной энергии, т.е.  $4 \cdot 10^9$  свободных электрона в секунду (что составляет  $\sim 6\%$  от начального количества ионов).

Эти электроны могут рекомбинировать с ионами вследствие диффузии.

Время жизни таких ионов в обычных условиях в жидкости  $\sim 10^{-3}$  сек и более /7/. Из /8/ также известно, что  $\sim 3\%$  ионов могут существовать в объёме жидкости сколь угодно долго.

Таблица I.

Расчёт количества ионов и атомов,  
образующихся при облучении

Основное вещество	Растворенное вещество	$C_1$ (мол.%)	$t$ (мин.)	$N$	$C_2$ (мол.%)	Литература
CO <sub>2</sub>	$\gamma_2$	$2 \cdot 10^{-2}$	10	$3 \cdot 10^{16}$	$6 \cdot 10^{-3}$ ( $\gamma$ )	/2/
C <sub>2</sub>	-	-	10		$6 \cdot 10^{-4}$ (ср)	/3/
Xe	$\gamma_2$	$3 \cdot 10^{-2}$	10	$1,2 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$ (Xe <sup>+</sup> )	Наст. работа
			60	$7,2 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{-11}$ ( $\gamma^+ + \gamma$ )	
Xe	-	-	10	$1,2 \cdot 10^{10}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$ (Xe <sup>+</sup> )	
			60	$7,2 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$ ( $\gamma^+ + \gamma$ )	
			10	$1,2 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$ (Xe <sup>+</sup> )	
			60	$7,2 \cdot 10^{10}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$ (Xe <sup>+</sup> )	

Примечания к таблице:

I.  $C_1$  - концентрация растворенного вещества;

;  $t$  - время облучения;  $N$  - количество  $\gamma$ -квантов, падающих

на образец за время экспозиции;  $C_2$  - концентрация нового компонента, образовавшегося при облучении.

2. Для  $C\ell_2$  и системы  $CO_2 - J_2$  количество нового компонента равновесное, для Хе и системы Хе- $J_2$  количество ионов без учета рекомбинации. Учёт рекомбинации, как показано выше, даёт коэффициент  $0,06 \div 0,03$ .

В критической точке коэффициент диффузии уменьшается и можно ожидать дальнейшего увеличения времени жизни свободных ионов и электронов по этой причине. Поэтому при длительном облучении может происходить накопление ионов ксенона и йода и атомов йода. Наличие ионов и атомов следует рассматривать как новый компонент, поскольку известно, что наличие атомов хлора в  $C\ell_2$  и йода в системе  $CO_2 - J_2$  проявляет себя как новый компонент, смещающий критическую температуру. Расчёт количества ионов, образующихся при облучении  $J$ -квантами чистого ксенона и разбавленного раствора йода в ксеноне и экспериментальные данные <sup>/2/</sup> и <sup>/3/</sup> приведены в таблице I.

При облучении разбавленного раствора Хе- $J_2$  в течение часа количество нового компонента  $J^+ + J$  ( $0,06 \cdot C_2 = 8,6 \cdot 10^{-12}$  мол.%) значительно (на 9 порядков) меньше, чем в работе <sup>/2/</sup> за 10 минут. В последнем случае происходило смещение критической температуры раствора на  $2,5 \cdot 10^{-20}$  С. Поэтому можно считать, что в случае раствора Хе- $J_2$  компонент  $J^+ + J$  не вызовет смещения критической температуры раствора. В свою очередь, концентрация ионов Хе<sup>+</sup> ( $0,06 \cdot C_2 = 1,3 \cdot 10^{-8}$  мол.%) довольно высока, и хотя это на 4 порядка меньше, чем количество атомов  $C\ell$  в <sup>/3/</sup>, нельзя сказать с полной определенностью, что такое количество ионов не окажет влияния на критическую температуру. Предпочтительнее кажется экспериментальная проверка.

### 3. Нагрев при рекомбинации

Количество ионов, образовавшихся за пять часов (время, необходимое для измерения  $p-h$  изотерм) облучения равно  $\sim 3 \cdot 10^{14}$ . Количество энергии, которое может выделиться в веществе при рекомбинации такого количества ионов с электронами в течение этого времени  $3,6 \cdot 10^{15}$  эВ или  $1,5 \cdot 10^{-4}$  кал. Для оценки нагрева ксенона использованы значения теплоемкости ксенона в критической области /9/. По этой оценке можно ожидать повышения температуры вещества на  $\sim 1 \cdot 10^{-4}$  °С для  $\gamma = \frac{T-T_c}{T_c} = 10^{-2} \div 10^{-3}$ , а для  $\gamma = 10^{-4}$  нагрев на  $0,5 \cdot 10^{-4}$  °С. Такое повышение можно считать несущественным, тем более, что учёт теплоотдачи еще уменьшит это значение.

Поскольку пункт I требует экспериментальной проверки, провели измерения критической температуры при облучении на установке для визуального наблюдения /10/.

После определения критической температуры в обычных условиях к ампуле подвели  $\gamma$ -источник и определили критическую температуру после облучения. Время облучения варьировалось (10 и 120 мин.). Интенсивность облучения в данном случае была, примерно, в 50 раз выше по сравнению с предлагаемым экспериментом по определению  $p-h$ -изотерм. Измерения показали (см. таблицу II), что (с точностью  $\pm 0,002^\circ$  в собственной шкале термометра) измерения критической температуры ксенона при облучении  $\gamma$ -квантами энергии 123 кэВ в течение 2-х часов не происходит. Для эксперимента по определению  $p-h$ -изотерм это равнозначно неизменности критической температуры до  $\frac{0,002}{25} = \pm 0,0001$  °С в течение пяти часов.

Таблица II.

Смещение критической температуры при облучении

Основное вещество	Растворен. вещество	Вид облучения	Энергия (кэВ)	Время облучения (мин.)	Смещение критической температуры ( $^{\circ}\text{K}$ )	Литература
$\text{CO}_2$	$\text{J}_2$	ультрафиолет		10	$2,5 \cdot 10^{-2}$	/2/
$\text{Cl}_2$		ультрафиолет		10	$4 \cdot 10^{-2}$	/3/
Xe		$\gamma$ -излучение	$123 \cdot 10^3$	120	$2 \cdot 10^{-3}$	наст. работа

Этот результат можно считать удовлетворительным: метод пропускания  $\gamma$ -квантов энергии 123 кэВ не вызывает нежелательного для  $\rho$ - $h$ -измерений смещения критической температуры.

#### 4. Выводы

Метод пропускания  $\gamma$ -лучей энергии 123 кэВ пригоден для исследования вещества в критическом состоянии.

В заключение автор выражает благодарность Л.С.Лесневской, Ю.М.Останевичу, А.Ф.Писареву и Ю.В.Цеханской за полезные обсуждения.

*Александр*