

с использованием найденных  $n(\lambda)$  и  $k(\lambda)$ . Кривые, рассчитанные в частично-когерентном приближении в масштабах рисунка неотличимы от экспериментальных данных. Вместе с тем, когерентное приближение имеет мало общего с действительностью. Это объясняется образованием в подложке, представляющей собой интерферометр Фабри-Перо, монохроматических стоячих волн.

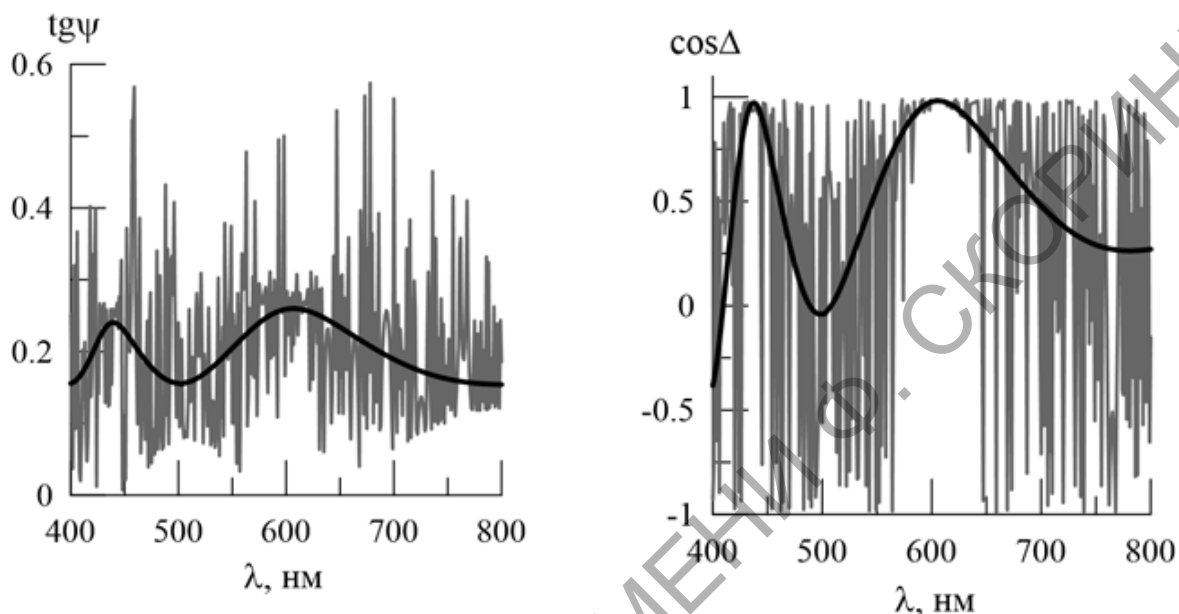


Рисунок 2 – Спектры поляризационных углов для пленки ZnO. Черные кривые: частично когерентное приближение и эксперимент, серые быстропеременные кривые: когерентное приближение

Таким образом, частичная когерентность света (или, что эквивалентно, конечность ширины его спектра) может существенно влиять на спектры поляризационных углов. Корректная обработка таких спектров может быть проведена на основании разработанного подхода.

Работа выполнена при поддержке Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Фотоника, опто- и микроэлектроника 1.3.03» (2016–2017гг.).

**А.С. Парахневич** (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)

Науч. рук. **О.М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ЯДРАХ С ПОМОЩЬЮ БАНКОВ ДАННЫХ

Ведущим мировым лидером научно-технического сотрудничества в области мирного использования ядерных технологий является Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). В настоящее

время его услугами в области ядерных данных пользуются ученые из более чем 70 государств-членов. Основной целью программы МАГАТЭ по ядерным данным является предоставление необходимых ядерных и атомных числовых данных научным сообществам во всех государствах-членах.

Изучение ядерных реакций связано с целым рядом специфических трудностей. Важной задачей является разработка методов комбинированного анализа различных экспериментов и оценка систематических погрешностей. Такая задача требует для своего решения одновременного доступа к результатам различных экспериментов. Эта задача не может быть эффективно решена без свободного доступа к базам экспериментальных данных. Эти базы данных являются основой для детального и системного анализа накопленной информации [1].

Рассмотрим работу одного из калькуляторов системы реляционных баз данных. Он дает возможность рассчитать энергию всех возможных распадов для известных ядер и построить график зависимости энергии распада от полного числа нуклонов  $A$ . Для этого необходимо задать числа протонов  $Z$ , нейтронов  $N$  и нуклонов  $A$  на оси абсцисс и выбрать необходимые варианты расчета.

В качестве исследуемого ядра выберем молибден. Как химический элемент он принадлежит к VI группе периодической системы. Атомный номер – 42, атомный вес – 95,94. Имеет очень высокую точку плавления – 2623°C. Активно используется для производства легированных сталей, а также применяется в тех случаях, когда необходимо сохранение прочности при высоких температурах. Новые стали HPSS, содержащие до 7,5% молибдена, в состоянии утроить срок службы теплообменных труб (ТОТ) парогенераторов атомного реактора. По данным международной молибденовой ассоциации (ИМОА), реакторам нового поколения могут потребоваться десятки тысяч тонн молибдена. В эту величину не входят потребности в молибдене, возникающие у создателей хранилищ отработанного ядерного топлива (ОЯТ).

Из молибдена-99 получают короткоживущий изотоп – технеций-99m, который используется в 80% всех диагностических процедур в ядерной медицине. В силу сложности и дороговизны его получения, он широко доступен лишь в немногих развитых странах.

Рассмотрим ядерные свойства молибдена. На рисунке 1 приведена поисковая форма БД «Калькулятор энергии распада ядер» для определения энергии распада выбранного ядра, а также выходная форма запроса. Энергии возможных видов распада ( $\alpha$ -распад,  $\beta$ -распад или электронный,  $\beta^+$ -распад или позитронный, электронный захват) определены для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}^{99}$ , где  $Z = 42$ ,  $A = 99$ .

### 3. Энергии распадов

Энергии распадов рассчитаны на основании значений атомных масс по [следующим формулам](#).  
 Каждое поле формы может быть пустым. [\[ Помощь... \]](#)

Входные параметры	
Z:	<input type="text" value="42"/> Пример: 20, 40-60
N:	<input type="text"/> Пример: 20, 40-60
A:	<input type="text" value="99"/> Пример: 20, 40-60
Тип распада:	<input checked="" type="checkbox"/> $\alpha$ (альфа-распад) <input checked="" type="checkbox"/> $\beta^-$ (бета-распад) <input checked="" type="checkbox"/> $\beta^+$ (позитронный бета-распад) <input checked="" type="checkbox"/> $\epsilon$ (электронный захват)
На оси абсцисс:	<input type="radio"/> Z <input type="radio"/> N <input checked="" type="radio"/> A
<input type="button" value="Вычислить"/> <input type="button" value="Построить график"/> <input type="button" value="Очистить"/>	

Result -  $Q\alpha(A,Z)$ ,  $Q\beta^-(A,Z)$ ,  $Q\beta^+(A,Z)$ ,  $Q\epsilon(A,Z)$ :

Elem	Z	N	A	$Q\alpha$	$Q\beta^-$	$Q\beta^+$	$Q\epsilon$
Mo	42	57	99		1.3581		

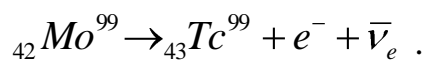
Рисунок 1 – Входная и выходная форма запроса по определению энергии распада ядер для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}^{99}$

Result -  $Q\alpha(A,Z)$ ,  $Q\beta^-(A,Z)$ ,  $Q\beta^+(A,Z)$ ,  $Q\epsilon(A,Z)$ :

Elem	Z	N	A	$Q\alpha$	$Q\beta^-$	$Q\beta^+$	$Q\epsilon$
Mo	42	41	83			10.2780	11.3000
Mo	42	42	84		5.0780		6.1000
Mo	42	43	85		7.0280		8.0500
Mo	42	44	86		4.2080		5.2300
Mo	42	45	87		5.4680		6.4900
Mo	42	46	88		2.3480		3.3700
Mo	42	47	89		4.6240		5.6460
Mo	42	48	90		1.4670		2.4890
Mo	42	49	91		3.4060		4.4280
Mo	42	51	93				0.4050
Mo	42	57	99	1.3581			
Mo	42	59	101	2.8240			
Mo	42	60	102	1.0090			
Mo	42	61	103	3.7470			
Mo	42	62	104	2.1600			
Mo	42	63	105	4.9500			
Mo	42	64	106	3.5200			
Mo	42	65	107	6.1600			
Mo	42	66	108	4.6500			
Mo	42	67	109	7.3300			
Mo	42	68	110	5.4600			
Mo	42	69	111	8.1200			
Mo	42	70	112	7.2000			
Mo	42	71	113	9.6000			
Mo	42	72	114	8.4000			
Mo	42	73	115	10.8000			

Рисунок 2 – Выходная форма запроса по определению энергии распада ядер для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}$

Из таблицы выходной формы запроса следует, что  $\alpha$ -распад,  $\beta^+$ -распад и  $e$ -захват для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}^{99}$  не наблюдаются в природе, но можно определить энергию существующего  $\beta^-$ -распада. При этом молибден  ${}_{42}\text{Mo}^{99}$  превращается в  ${}_{43}\text{Tc}^{99}$ :



Рассмотрим случай, когда поля  $N$  и  $A$  можно не задавать. Если ввести значение  $Z = 42$ , а других два поля оставить пустыми, то таблица заполнится автоматически возможными значениями энергий для всех изотопов данного элемента (рисунок 2).

Из рисунка 2 видно, что  $\alpha$ -распад для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}$  не существует. При этом  $\beta^-$ -распаду подвержены 16 из 26 изотопов  ${}_{42}\text{Mo}$  ( $A = 99-115$ ), а  $\beta^+$ -распаду – 9 изотопов ( $A = 83-91$ ), для 10 изотопов ( $A = 83-93$ ) наблюдается электронный захват. Видно, что  $\beta^+$ -распад и  $e$ -захват конкурирующие процессы, при этом энергия, выделяющаяся в результате  $e$ -захвата больше, чем при  $\beta^+$ -распаде. Это свидетельствует о том, что  $e$ -захват для изотопов молибдена  ${}_{42}\text{Mo}$  является более энергетически выгодным.

На основе полученных численных данных можно построить график зависимости трех видов энергии распада от полного числа нуклонов  $A$ , например, также для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}$  (смотри рисунок 3). Из графика зависимости видно, что энергия  $\beta^+$ -распада и  $e$ -захвата для изотопов  ${}_{42}\text{Mo}$  резко уменьшается с ростом числа нуклонов. Энергия для  $\beta^+$ -распада лежит в интервале примерно 3,5–10,2 МэВ, а энергия  $e$ -захвата – 0,5–11,2 МэВ. При этом энергия  $\beta^-$ -распада увеличивается с ростом числа  $A$  и находится в пределах 1,5–11 МэВ.

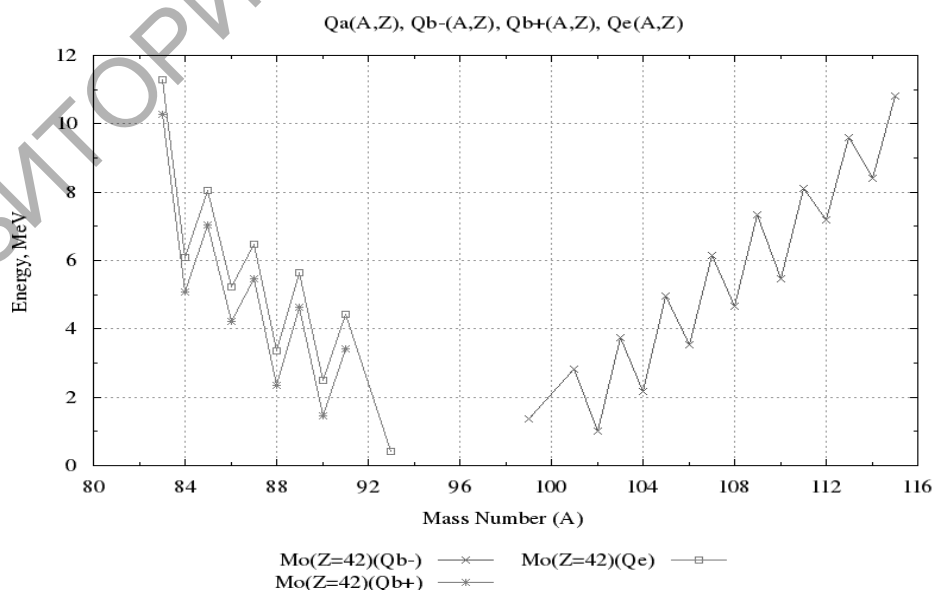


Рисунок 3 – График зависимости энергии распада от полного числа нуклонов  $A$  для молибдена  ${}_{42}\text{Mo}$

Использование данного калькулятора позволяет точно рассчитать энергетические распады ядер. При этом точность решения гораздо выше, а погрешности сведены к минимуму.

### Литература

1. Лоренц А., Шмидт Дж.Дж. Центр ядерных данных: удовлетворение насущных потребностей науки и техники // Бюллетень МАГАТЭ, 1986.

**К.Д. Поляков** (УО «ГГТУ имени П.О. Сухого», Гомель)  
Науч. рук. **В.Ю. Гавриш**, ст. преподаватель

### ИНТЕГРИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ДВУХЧАСТИЧНОГО РАСПАДА

**Введение.** Задача о вычислении наблюдаемых на опыте величин, помимо вычисления матричного элемента процесса, включает в себя и интегрирование по фазовому пространству конечных частиц. Подобные расчеты требуют определенных приемов вычислений, которые мы и продемонстрируем.

В данной работе будут вычислены интегралы по фазовому пространству двухчастичного распада в случае, когда начальная частица покоится. Помимо этого, продемонстрируем как общее выражение преобразуется для различных случаев масс конечных частиц.

**Процесс распада  $1 \rightarrow 2$ .** Рассмотрим процесс распада в системе покоя исходной частицы. Используя закон сохранения энергии-импульса, получаем [1]

$$M = E_1 + E_2 \quad (1)$$

и

$$0 = \vec{k}_1 + \vec{k}_2. \quad (2)$$

После некоторых преобразований, с учетом того, что

$$|\vec{k}_1| = \sqrt{E_1^2 - m_1^2}, \quad |\vec{k}_2| = \sqrt{E_2^2 - m_2^2} \quad (3)$$

выражения для энергий конечных запишутся в виде [1]

$$E_1 = \frac{M^2 + m_1^2 - m_2^2}{2M}, \quad E_2 = \frac{M^2 - m_1^2 + m_2^2}{2M}. \quad (4)$$

Для импульса конечных частиц, в силу выражения (2), получаем

$$|\vec{k}| = |\vec{k}_1| = |\vec{k}_2| = \sqrt{\frac{M^2 + m_1^2 - m_2^2}{4M^2}^2 - 4M^2 m_1^2}. \quad (5)$$