Гигантский дипольный резонанс

6 февраля 2014

### Взаимодействие ү-квантов с атомными ядрами



Схематическая зависимость сечений реакций от энергии ү-квантов

А.Б.Мигдал «Квадрупольное и дипольное ү-излучение ядер» ЖЭТФ 15, 81 (1945 г.)

- Предсказано явление ГДР
- Впервые в ядерную физику была введена концепция квантовых коллективных мод возбуждения
- Показано, что энергия максимума ГДР определяется величиной коэффициента при энергии симметрии в формуле Бете-Вайцзеккера энергии связи ядра и средней кинетической энергией нуклонов в ядре.

#### PHYSICAL REVIEW

#### VOLUME 71, NUMBER 1

#### **JANUARY 1, 1947**

#### Photo-Fission in Heavy Elements\*

G. C. BALDWIN AND G. S. KLAIBER Research Laboratory, General Electric Company, Schenectady, New York (Received October 4, 1946)

Measurements have been made of the yields of photofission in uranium and thorium together with a search for photo-fission in other heavy elements, using continuous x-rays from a 100-Mev betatron. Fission was detected in the presence of an intense background of x-rays by a differential ionization chamber and linear amplifier, the substance investigated being coated on an electrode of one chamber. A Victoreen r-thimble, surrounded by k-inch lead walls, was used to monitor the radiation. Curves were obtained of the number of fissions per roentgen unit for uranium and thorium. These are of similar shape, the uranium curve showing a rapid rise with increasing x-ray energy up to 18 Mey, followed by a gradual decrease as the maximum energy of the x-rays is further increased; the yield of fissions per roentgen at 100 Mev is about half that at 18 Mev. The ratio of uranium and thorium yields is very nearly two at all x-ray energies. No fissions were observed in intense 100-Mey irradiations of Bi, Ph. Tl Au, W, and Sm. Determination of cross sections from the yield curves is complicated by the continuous spectrum of the x-rays which has not been measured experimentally. A rough analysis of the data has been made in which a spectrum is assumed for which the intensity is constant in each unit energy interval and the r-meter efficiency calculated roughly from a simplified picture of the generation of secondaries in the lead walls. The resulting analysis of the yield curves shows that the cross section for photo-fission as a function of quantum energy passes through a maximum and then decreases and is extremely small above 30 Mey. The maximum cross section is of the order of  $5 \times 10^{-28}$  cm<sup>2</sup> for uranium and half that for thorium. In the other elements studied, the cross section must be below  $10^{-29}$  cm<sup>2</sup>.

#### PHYSICAL REVIEW

#### VOLUME 73, NUMBER 10

#### MAY 15, 1948

#### X-Ray Yield Curves for $\gamma - n$ Reactions

G. C. BALDWIN AND G. S. KLAIBER\* General Electric Company, Schenectady, New York (Received February 5, 1948)

Yield curves for the reactions  $C^{12}(\gamma,n)C^{11}$  and  $Cu^{63}(\gamma,n)Cu^{62}$  have been taken with x-rays up to 100 Mev. The induced radioactivity at each energy is plotted per unit x-ray intensity as measured by a *r*-meter thimble jacketed by  $\frac{1}{2}$  in. of Pb. Both yield curves are similar to the photo-fission yield curves, the x-ray yield increasing to a maximum and then slowly decreasing as the x-ray energy is increased. With simple assumptions regarding the generation of ionizing secondaries in the Pb walls of the monitor and assumption of a constant intensity x-ray spectrum, these curves can be analyzed. The relative cross section is found to have a maximum at approximately 22 Mev for Cu<sup>62</sup> and 30 Mev for C<sup>11</sup>, decreasing to negligible values at high quantum energies. This decrease in cross section can be attributed to competition from multiple disintegrations. These reactions provide detectors sensitive only to part of the x-ray spectrum. Absorption curves have been taken in Pb using uranium photo-fission and in Cu and Pb using the Cu<sup>63</sup>( $\gamma,n$ )Cu<sup>62</sup> reaction as detectors. The resulting absorption coefficients compare favorably with theoretical values.





![](_page_5_Figure_2.jpeg)

30 **23** 

Макс. сечения, МэВ

18 **14,34** 

14,2

22 **17** 

PHYSICAL REVIEW

#### VOLUME 74, NUMBER 9

#### **NOVEMBER 1, 1948**

#### **On Nuclear Dipole Vibrations**

M. GOLDHABER Department of Physics, University of Illinois, Urbana, Illinois

AND

E. TELLER Institute of Nuclear Studies, University of Chicago, Chicago, Illinois (Received July 22, 1948)

The high frequency resonances recently observed for  $(\gamma, n)$  reactions as well as photo-fission are interpreted in analogy with the "reststrahl frequencies" of polar crystals. The estimated frequencies are in good agreement with the experimental results. An interesting consequence of this interpretation is the conclusion that strong resonance scattering of  $\gamma$ -rays should take place at a frequency characteristic of the scattering nucleus.

 $\hbar\omega \sim A^{-1/3}$ 

 $\int \sigma d\omega \sim A$ 

## Полное сечение фотопоглощения ядра <sup>16</sup>О

![](_page_7_Figure_1.jpeg)

 $\sigma(E) = \sigma_{\text{комптон}}(E) + \sigma_{\text{пары}}(E) + \sigma_{\text{ядерное}}(E)$ 

![](_page_8_Figure_0.jpeg)

Полное сечение фотопоглощения на ядре <sup>32</sup>S в сравнении с теоретическими расчетами по модели оболочек (в) и с учетом связи фононов (б) Wilkinson, D. H. 1956 Physica XXII 1039–1061 Amsterdam Nuclear Reactions Conference

#### NUCLEAR PHOTODISINTEGRATION

#### by D. H. WILKINSON \*)

Cavendish Laboratory, Cambridge, England †)

#### Synopsis

A survey is given of the chief mechanisms by which electromagnetic radiations interact with nuclei. The shell, collective and high momentum models are separated and their regions of applicability are approximately delimited. In particular the importance of high-momentum states for high energy photon interaction is emphasized. After comment on the success of the shell model in describing dipole transitions in light elements an examination is made of the "giant resonances" from the same point of view. After some discussion of earlier collective models of this phenomenon it is suggested that the absorption of gamma-rays in the closed shells of the nuclear core will give rise to a giant resonance. It is shown how such absorption is strong enough to accord with experiment and how there is a very strong clustering of such shell model transitions in resonance form. Difficulties with the absolute energy scale are discussed but not completely resolved. The widths and variations in width of the experimental giant resonance are satisfactorily accounted for. The "resonance direct" process by which a nucleon may be emitted from the nucleus in a single-particle state is described and it is pointed out that such emission leads to a roughly "Maxwellian" spectrum. The anomalous emission of protons from heavy nuclei is dealt with in detail and it is shown that the resonance direct mechanism accounts quantitatively for such emission from the points of view of absolute cross-section and also proton energy distribution.

## Два метода изучения ГДР

1. Пучки тормозного гамма-излучения

![](_page_10_Figure_2.jpeg)

2. Пучки квазимонохроматических гамма-квантов. Аннигиляция быстрых позитронов. (Саклэ, Ливермор)

![](_page_10_Figure_4.jpeg)

## Коллективная модель

- Danos M., Ann. d. Phys. (Leipzig) 10 265 (1952)
- Okamoto K., *Progr. Theor. Phys.* **15** 75 (1956)
- Danos M., Greiner W. Phys. Rev. B 134 284 (1964)
- Huber M.G., Danos M., Weber H.J., Greiner W. *Phys. Rev.* 155 1073 (1968)

## Модель ядерных оболочек

- Wilkinson D H. *Physica* **22** 1039, 1043, 1058 (1956)
- Elliott J P, Flowers B H. *Proc. Roy. Soc.* A242 57 (1956)
- Brown G E, Bolsterli M. Phys. Rev. Lett. 3 472 (1959)
- Неудачин В.Г., Шевченко В. Г., Юдин Н. П. ЖЭТФ
  39 108 (1960)
- Балашов В. В., Чернов В. М. *ЖЭТФ* **43** 227 (1962)
- Московкин В. М., Живописцев Ф. А., Юдин Н. П.
  Изв. АН СССР. Сер. Физ. 30 306 (1966)

«ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И АТОМНОГО ЯДРА», 1978, том 9, вып. 4

УДК 539.1

## КВАЗИЧАСТИЧНО-ФОНОННАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА

#### I. Основные положения

**В.** Г. Соловъев Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

«ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И АТОМНОГО ЯДРА», 1983, ТОМ 14, ВЫП. 2

КВАЗИЧАСТИЧНО-ФОНОННАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА. III. ОДНОФОНОННЫЕ СОСТОЯНИЯ В СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ

А. И. Вдовин, В. Г. Соловьев

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

«ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И АТОМНОГО ЯДРА», 1980, том II, вып 2.

УДК 539.1

### КВАЗИЧАСТИЧНО-ФОНОННАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА II. ФОНОННОЕ ПРОСТРАНСТВО Е х-ГИГАНТСКИЕ РЕЗОНАНСЫ В ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ

#### Л. А. Малов, В. Г. Соловьев

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

УДК 539.1

#### РЕЛАКСАЦИЯ ГИГАНТСКИХ РЕЗОНАНСОВ: ПОЛУМИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ (МЕТОДЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ)

М. Г. Урин<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия

Изложен полумикроскопический подход к совместному описанию основных мод релаксации гигантских резонансов в сферическаих ядрах. Подход основан на континуумной версии приближения случайной фазы и феноменологическом описании фрагментационного эффекта. Последний учитывается в "полюсном" приближении в терминах зависящей от энергии возбуждения мнимой части одночастичного эффективного оптического потенциала непосредственно в уравнениях указанного приближения. В практической реализации подхода используются взаимодействие Ландау-Мигдала в канале частица-дырка и феноменологическое среднее поле ядра, связанные условиями частичного самосогласования. Полученные в рамках подхода результаты расчетов интегральных и дифференциальных характеристик ряда гигантских резонансов в широком интервале энергий возбуждения используются для сравнения с имеющимися экспериментальными данными, а также для предсказаний результатов возможных экспериментов. Сформулирована частично-дырочная оптическая модель, которая служит как обоснованием существующей версии полумикроскопического подхода, так и базовым элементом описания возбуждений типа частица-дырка при произвольной (но достаточно большой) энергии.

![](_page_14_Picture_4.jpeg)

Available online at www.sciencedirect.com

![](_page_14_Picture_6.jpeg)

![](_page_14_Picture_7.jpeg)

Nuclear Physics A 811 (2008) 107-126

www.elsevier.com/locate/nuclphysa

#### Direct-decay properties of giant resonances

#### M.H. Urin<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Kernfysisch Versneller Instituut, University of Groningen, 9747 AA Groningen, The Netherlands
 <sup>b</sup> Moscow Engineering Physics Institute (State University), 115409 Moscow, Russia
 Received 22 November 2007; received in revised form 3 July 2008; accepted 4 July 2008
 Available online 23 July 2008

#### Abstract

A semi-microscopic approach, based on the continuum-RPA method and a phenomenological treatment of the spreading effect, is outlined and applied to describe direct-decay properties of a few isovector giant resonances. The ability of the approach to describe giant-resonance gross properties is also checked. © 2008 Elsevier B.V. All rights reserved.

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, 2006, том 69, № 2, с. 241-251

ЯДРА

#### О ПОЛУМИКРОСКОПИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ПРОСТЕЙШИХ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ГИГАНТСКОГО ДИПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА

#### © 2006 г. М. Л. Горелик, М. Г. Урин\*

Московский инженерно-физический институт (государственный университет), Россия Поступила в редакцию 10.12.2004 г.; после доработки 01.09.2005 г.

В рамках полумикроскопического подхода, основанного на приближении случайной фазы с точным учетом одночастичного континуума, а также на феноменологическом описании фрагментационного эффекта, предложена количественная интерпретация основных свойств гигантского дипольного резонанса. Вычисленные для ряда магических и полумагических ядер сечения фотопоглощения и парциальных "прямых + полупрямых" фотонейтронных реакций в окрестности указанного резонанса сравниваются с соответствующими экспериментальными данными.

PACS: 24.30.Cz, 25.20.-x, 21.60.Jz

### МЕТОД ХРОНОЛОГИЧЕСКОГО РАСЦЕПЛЕНИЯ ДИАГРАММ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ К ОПИСАНИЮ ГИГАНТСКИХ РЕЗОНАНСОВ В МАГИЧЕСКИХ ЯДРАХ

С.П.Камерджиев, Г.Я.Тертычный

Государственный научный центр РФ «Физико-энергетический институт», Обнинск

#### В.И.Целяев

Научно-исследовательский институт физики Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург

Изложен микроскопический подход к анализу возбужденных состояний магических ядер, основанный на последовательном использовании метода квантовых функций Грина. В применении к теории гигантских мультипольных резонансов в подходе явно учтены три главных механизма формирования резонанса в конечном ядре: распад по частично-дырочным конфигурациям дискретного спектра, частично-дырочным конфигурациям с частицей в континууме и по более сложным конфигурациям типа «частица — дырка  $\otimes$  фонон». Обсуждаются результаты численной реализации подхода для описания гигантских резонансов в магических стабильных и нестабильных ядрах.

<u>Март 1990 г.</u>

<u>Том 160, вып. 3</u>

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

# Конфигурационное расщепление ГДР

539.14

#### КОНФИГУРАЦИОННОЕ РАСЩЕПЛЕНИЕ ДИПОЛЬНОГО ГИГАНТСКОГО РЕЗОНАНСА В АТОМНЫХ ЯДРАХ

Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, В. Г. Неудачин, В. Г. Шевченко, Р. А. Эрамжян, И. П. Юдин

(НИИЯФ Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова)

![](_page_16_Figure_8.jpeg)

Сечение фотопоглощения на ядре <sup>28</sup>Si. Точки, соединенные линиями, – эксперимент, столбики и плавная кривая – теоретический расчет.

![](_page_17_Figure_0.jpeg)

Вероятность

Конфигурационное расщепление ГДР ядер 1d2s-оболочки. Справа – одночастичные состояния модели оболочек.

![](_page_18_Figure_0.jpeg)

# Конфигурационное расщепление ГДР

Компоненты A (сплошные линии) и Б (пунктир) экспериментальных сечений фотопоглощения ядер <sup>23</sup>Na, <sup>24</sup>Mg, <sup>27</sup>AI и <sup>28</sup>Si. Стрелками указаны центры тяжести компонент.

## Изоспиновое расщепление ГДР

![](_page_19_Figure_1.jpeg)

Энергия максимумов сечений фотопротонной (ү, Хр) (темные точки) и фотонейтронной (ү, Хп) (светлые точки) реакций в зависимости от А. При A < 50 максимумы этих сечений совпадают.

Экспериментальная и предсказываемая статистической теорией зависимости от А относительного вклада сечений фотопротонных реакций в полное сечение поглощение γ-кванта.

### Изоспиновое расщепление ГДР

![](_page_20_Figure_1.jpeg)

$$\frac{C^2(T_>)}{C^2(T_<)} = \frac{1}{T_0} \left( \frac{1 - 1.5T_0 A^{-2/3}}{1 + 1.5A^{-2/3}} \right).$$
$$E(T_>) - E(T_<) = 60 \frac{T_0 + 1}{A} \text{ M} \text{ sB}.$$

![](_page_20_Figure_3.jpeg)

![](_page_21_Figure_0.jpeg)

### ГДР в тяжелых деформированных ядрах

![](_page_22_Figure_1.jpeg)

![](_page_23_Figure_0.jpeg)

Полные сечения фотопоглощения ядер 154 < A < 209

## полное поглощение

![](_page_24_Picture_1.jpeg)

![](_page_24_Figure_2.jpeg)

![](_page_24_Figure_3.jpeg)

![](_page_24_Figure_4.jpeg)

![](_page_25_Figure_0.jpeg)

![](_page_26_Figure_0.jpeg)

### Гигантский дипольный резонанс

Положение максимума ГДР $E \approx 78 A^{-1/3} \text{ MэB}$ 

Интегральное сечение ГДР  $\sigma_{\text{int}} = \int_{GDR} \sigma(E) dE \approx 60 \frac{NZ}{A} \text{ M3B} \cdot \text{M6}$ 

Расщепление максимума ГДР в деформированных ядрах  $E_a = 78 \frac{r_0}{a}$  МэВ,  $E_b = 78 \frac{r_0}{b}$  МэВ  $\Delta E = E_b - E_a = 78 A^{-1/3} \beta$  МэВ

Сечения реакций (ү,хп) в области энергий ГДР

Нужно ли продолжать изучать фотоядерные реакции в области энергий < 100 МэВ?

## Проблема парциальных сечений фотоядерных реакций

Различие в данных экспериментов на пучках тормозных фотонов и в данных экспериментов на пучках квазимонохроматических фотонов

## Саклэ и Ливермор

![](_page_29_Figure_0.jpeg)

Результаты расчетов дифференциальных (под углом 90°) сечений DSD-реакций <sup>208</sup>Pb(ү,n) с заселением однодырочных состояний ядра-продукта

![](_page_30_Figure_0.jpeg)

Фотонейтронные реакции различной множественности на изотопе <sup>181</sup>Та

![](_page_31_Figure_0.jpeg)

Образование и распад радиоактивного изотопа <sup>197</sup>Hg в реакции <sup>198</sup>Hg(γ,n)<sup>197</sup>Hg

### s-и r-процессы в звёздах

![](_page_32_Figure_1.jpeg)

## Траектория s-процесса изотопов A=72-89

![](_page_33_Figure_1.jpeg)

## Образование р-нуклида <sup>180</sup>Та

![](_page_34_Figure_1.jpeg)

### Основные источники у-квантов

![](_page_35_Figure_1.jpeg)

Число фотонов в единице объема спектра равновесного излучения.

![](_page_35_Figure_3.jpeg)

Широкий спектр диффузного внегалактического излучения от рентгеновского до гамма-диапазона по данным различных экспериментов. Кривые линии представляют теоретические оценки вкладов: 1 - сейфертовых галактик 1-го типа; 2 - Н-го типа; 3 - квазаров; 4 - сверхновых 1-го типа; 5 – блазаров для степенного спектра с показателем -1,7 при энергиях ниже 4 МэВ и -2,15 при более высоких энергиях. Утолщенная сплошная линия соответствует сумме всех вкладов.

## Изучение пигми-резонанса

- Новое коллективное движение
- Новые свойства ядер, удаленных от полосы β-стабильности
- Структура основных состояний ядер

1	Moscow State University, Nuclear Physics Institute, Moscow,	Bremsstrahlung, microtron
	Russia	
2	Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia	Bremsstrahlung, microtron
3	Uzhgorod State University, Ukraine	Bremsstrahlung, betatron
4	Kharkovskii Fiziko-Tekhnicheskii Institute, Kharkov, Ukraine	Bremsstrahlung, linear accelerator
5	University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA	Laser Compton Scattering (LCS)
		γ-rays
6	Triangle Universities Nuclear Lab., USA	Laser Compton Scattering (LCS)
		γ-rays
7	Tohoku University, Sendai, Japan	Tagged bremsstrahlung, Storage
		Ring
8	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	Laser Compton Scattering (LCS)
	(AIST), Tsukuba, TERAS, Japan	γ-rays
9	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD), Dresden,	Bremsstrahlung, linear accelerator
	Germany	
10	University of Mainz, Germany	Tagged bremsstrahlung, microtron
11	Kyoto University, Kyoto, Japan	Bremsstrahlung, linear accelerator
12	Universite Joseph Fourier, Grenoble, ESRF, France	GRAAL,Storage Ring
13	Tech. Universitaet, Darmstadt, S-DALINAC, Germany	Bremsstrahlung, linear accelerator
14	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD), Dresden, ELBE,	Bremsstrahlung, linear accelerator
	Germany	
15	Lund University + Tech. University, Sweden	Tagged bremsstrahlung, microtron
16	Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea	Bremsstrahlung, linear accelerator
17	Bhabha Atomic Res. Centre, Trombay, India	Bremsstrahlung, linear accelerator
18	Mangalore University, Mangalagangotri, Konaje, India	Bremsstrahlung, microtron
19	Australian Radiat. Protect. & Nucl. Safe. Agency, Melbourne,	Bremsstrahlung, linear accelerator
	Australia	

![](_page_38_Picture_0.jpeg)

## Нужно ли продолжать изучать фотоядерные реакции в области энергий < 100 МэВ?

## Благодарю за внимание!