

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



С343а

И-678

P4 - 7874

2815/2-74

Е.В.Инопин, В.С.Кинчаков, В.К.Лукьянов, Ю.С.Поль

ОСОБЕННОСТИ  
ПОВЕДЕНИЯ ЗАРЯДОВЫХ ФОРМФАКТОРОВ  
АЛЬФА-КЛАСТЕРНЫХ ЯДЕР

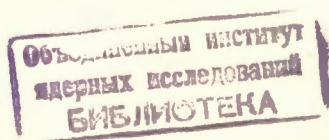
**1974**

ЛАБОРАТОРИЯ  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Е.В.Инопин,<sup>1</sup> В.С.Кинчаков,<sup>2</sup> В.К.Лукиянов, Ю.С.Поль<sup>3</sup>

ОСОБЕННОСТИ  
ПОВЕДЕНИЯ ЗАРЯДОВЫХ ФОРМФАКТОРОВ  
АЛЬФА-КЛАСТЕРНЫХ ЯДЕР

Направлено в сб. "Ядерные реакции  
при высоких энергиях"



---

<sup>1</sup> Физико-технический институт АН УССР, Харьков.

<sup>2</sup> Дальневосточный государственный университет,  
Владивосток.

<sup>3</sup> Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва.

Инопин Е.В., Кинчаков В.С., Лукьянов В.К., Поль Ю.С. P4 - 7874

Особенности поведения зарядовых формфакторов альфа-кластерных ядер

В альфа-кластерной модели с проектировкой исследуется зависимость зарядовых формфакторов ядер  $^{12}\text{C}$  и  $^{24}\text{Mg}$  от исходных параметров пробных функций. Установлена кластерно-структурная природа поведения формфакторов альфа-кластерных ядер при больших переданных импульсах.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1974

Inopin E.V., Kinchakov V.S., Lukianov V.K., Pol Yu.S. P4 - 7874

Peculiarities in the Behaviour of Charge Form Factors of Alpha-Clustering Nuclei

In the framework of the alpha-cluster projection model (the Brink model) the dependence of the charged form factors of  $^{12}\text{C}$  and  $^{24}\text{Mg}$  on the basic trial nucleon wave function parameters is investigated. An interpretation of the peculiarities of the form factor behaviour of the alpha-clustering nuclei is made. The cluster-structural nature of their behaviour at large momentum transfer  $q > 3 \text{ fm}^{-1}$  is found.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1974

1. Ранее было показано /1/, что поведение формфакторов при малых переданных импульсах  $q$  и положение их первых минимумов хорошо воспроизводятся для всех четно-четных ядер, начиная с  $^4\text{He}$ , с помощью феноменологического распределения плотности заряда /рпз/ в виде двухпараметрической симметризованной ферми-функции

$$\rho_{SF}(r) = \rho_0 \left( \text{ch} \frac{R}{b} + \text{ch} \frac{r}{b} \right)^{-1}, \quad /1/$$

где  $R$  - "радиус полуспада" плотности, а  $b$  - параметр диффузности поверхностного слоя ядра. Эта функция, имеющая гауссоподобное поведение при  $r \rightarrow 0$  и экспоненциальную асимптотику, удачно параметризует поведение рпз в области поверхности ядра /для средних и тяжелых ядер она переходит в традиционную ферми-плотность/. Поэтому естественно назвать первый минимум в формфакторах ядер "размерным", связанным с фактом конечных размеров ядра, и интерпретировать его как результат дифракции электронной волны на ядре, имеющем характерный спад рпз в районе ядерной поверхности. Как было установлено /1/, рассчитанные для /1/ формфакторы удачно согласуются с экспериментальными лишь в области переданных импульсов  $q < q_0 = 7,7 \text{ A}^{-1/3} \text{ Ф}^{-1}$ . Однако в настоящее время накоплен большой экспериментальный материал при переданных импульсах за пределами указанной области. Так, для ядер  $p$ - и  $sd$ -оболочек в области  $q > q_0$  наблюдаются интересные особенности в поведении формфакторов: минимумы или необычное пологое поведение, что, по-видимому, связано уже с индивидуальными для каждого

ядра деталями поведения рпз. В принципе можно усложнить вид феноменологической функции рпз и добиться таким образом согласия с экспериментом для всей области  $q$ . Однако параметрам такой функции уже трудно придать конкретный физический смысл. Поэтому более естественным в этом случае представляется расчет рпз на основе какой-либо модели ядра.

В предыдущих работах <sup>/2,3/</sup> для этой цели использовалась альфа-кластерная модель с проектировкой /АКМП/<sup>/4/</sup>. Было получено согласие с экспериментальными формфакторами ядер  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{32}\text{S}$  и  $^{40}\text{Ca}$  при всех измеренных в настоящее время переданных импульсах вплоть до  $q \approx 3,75 \text{ Ф}^{-1}$ . При этом пришлось отказаться от обычно используемых в этой модели гауссовских пробных функций нуклонов и ввести вместо них другие, симметризованные ферми-функции с экспоненциальной асимптотикой.

Цель настоящей работы - выяснить в рамках АКМП, какие черты структуры ряда ядер /р-и sd-оболочек/ ответственны за указанные выше особенности поведения формфакторов при больших переданных импульсах. Аналогичная попытка <sup>/5/</sup> была сделана в рамках более простой, альфа-частичной модели ядра /АЧМ/, когда особенности формфакторов ядер  $^{12}\text{C}$  и  $^{16}\text{O}$  связывались с фактом существования минимума в экспериментальном формфакторе альфа-частицы при  $q \approx 3,3 \text{ Ф}^{-1}$ . При этом в известном выражении <sup>/6/</sup> для формфакторов ядра в АЧМ формфактор альфа-частицы брался прямо из эксперимента.

Ниже мы будем пользоваться борновским приближением /точные расчеты формфакторов в высокоэнергетическом приближении были сделаны в <sup>/3/</sup>/. Оно позволяет четко проследить основные черты поведения формфакторов в зависимости от изменения параметров АКМП.

2. Основные предположения АКМП состоят в следующем <sup>/4/</sup>. В ядре выделяются центры расположения альфа-кластеров  $\vec{R}_i$  ( $i = 1, 2, \dots$  - индекс кластера,  $N$  - полное число кластеров в ядре с  $A = 4N$ ). Характерный пример выбора альфа-конфигураций показан на рис. 1 для ядер  $^{12}\text{C}$  и  $^{24}\text{Mg}$ . Относительно каждого из этих центров четыре



Рис. 1. Альфа-конфигурации для ядер  $^{12}\text{C}$  и  $^{24}\text{Mg}$ , используемые в расчетах формфакторов.

нуклона находятся в  $s$ -состояниях с волновыми функциями

$$u_a(\vec{r} - \vec{R}_i) = \chi_\sigma \chi_\tau u(|\vec{r} - \vec{R}_i|). \quad /2/$$

Здесь  $a = i, \sigma, \tau$  - индекс одночастичного состояния. На основе <sup>/2/</sup> пробная многочастичная антисимметризованная функция

$$U(\vec{r}_1 \dots \vec{r}_A; \vec{R}_1 \dots \vec{R}_N) = \sum_p \epsilon_p \prod_{a=1}^A u_a(p a), \quad /3/$$

из которой с помощью операторов проектирования по четности  $\hat{P}_\pi$  и угловому моменту  $\hat{P}_{MK}^J$  и условий симметрии, соответствующих выбранной альфа-конфигурации ядра, строится волновая функция ядра с заданными квантовыми числами  $|JM_\pi\rangle$ .

Обычно <sup>/2/</sup> выбираются в виде гауссовских пробных функций

$$u_G(|\vec{r} - \vec{R}_i|) = \exp\left[-\frac{(\vec{r} - \vec{R}_i)^2}{2b_{a_i}^2}\right], \quad /4/$$

где  $b_a$  - параметр, характеризующий быстроту убывания функции.

В работе /2/ в качестве пробных функций /2/ были использованы симметризованные ферми-функции с экспоненциальным спадом

$$u_{SF}(|\vec{r}-\vec{R}_i|) = \left[ \operatorname{ch} \frac{R_{a_i}}{b_{a_i}} + \operatorname{ch} \frac{|\vec{r}-\vec{R}_i|}{b_a} \right]^{-1} \quad /5/$$

Здесь параметры  $R_a$  и  $b_a$  определяют радиус "полуспада" и ширину области спада функции при  $r \approx R_a$ .

Формфакторы рассеяния электронов в борновском приближении

$$F_L^2(q) = G(q) \left| 4\pi(2L+1) \int_0^{\infty} j_L(qr) \rho_L(r) r^2 dr \right|^2 \quad /6/$$

выражаются через радиальную плотность перехода  $\rho_L(r)$ , которая вычисляется с помощью полученных в АКМП ядерных функций  $|JM\pi\rangle$ ,  $G(q)$  - фактор, учитывающий размеры протона и движение центра масс ядра /7/. Таким образом, в рамках АКМП формфактор ядра зависит от параметров  $R_j$ , определяющих центры расположения альфа-кластеров и параметров пробных функций нуклонов  $/b_{a_i}$  для функции /4/ и  $R_{a_i}$  и  $b_{a_i}$  для функций /5//.

3. На основе функций /2/ можно построить рпз ядра  ${}^4\text{He}$ . В этом случае следует положить  $R_i=0$  и  $N=1$ , тогда

$$\rho_{4He}(r) = c^2 u^2(r; R_i=0), \quad /7/$$

где  $c$  - нормировочная постоянная.

Введение этой плотности интересно по следующим причинам.

С гауссовскими пробными функциями /4/ при условии  $b_i = b_j = b$  борновский формфактор ядра в АКМП можно факторизовать, так же как и в АЧМ, на структурный и формфактор альфа-кластера

$$F_G = F_a(q, b) F_A(q, R, b). \quad /8/$$

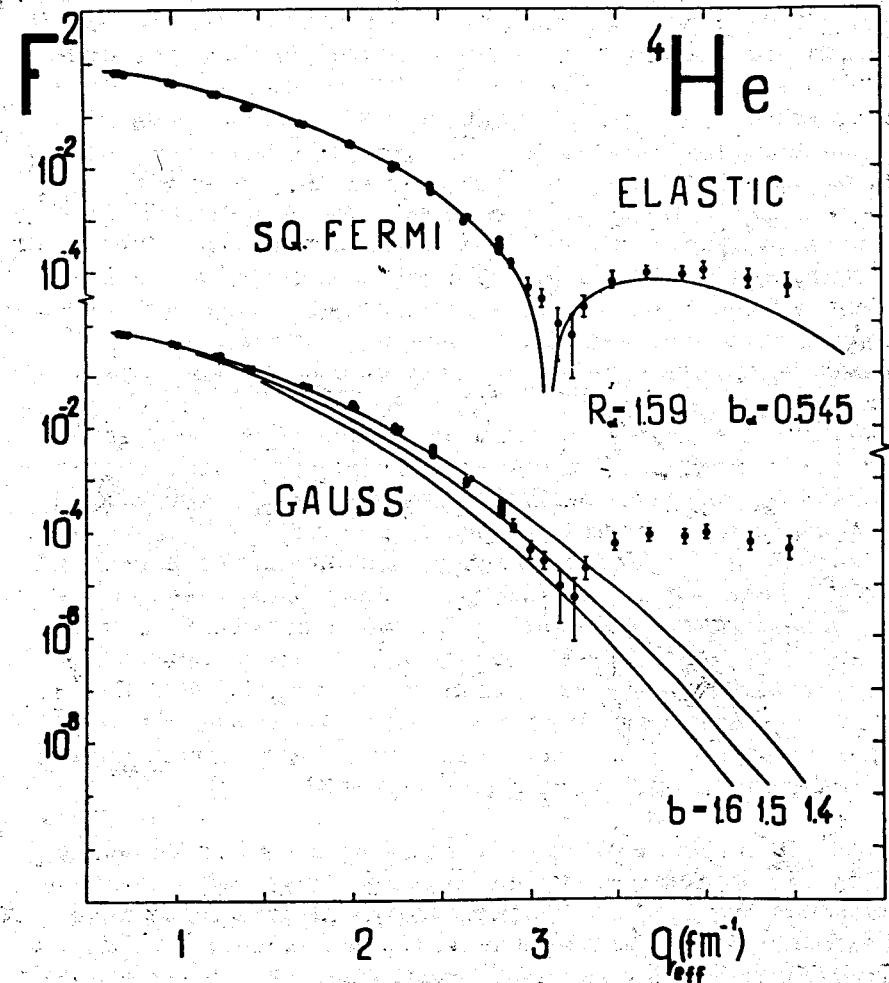


Рис. 2. Формфакторы упругого рассеяния электронов на  ${}^4\text{He}$  для пробных гауссовских и симметризованных ферми-функций нуклонов.

Гауссовская функция /4/ дает гауссовское рпз /7/ и приводит к гауссовскому же поведению формфактора /6/, который в принципе не может описать наблюдаемый на эксперименте минимум формфактора ядра  ${}^4\text{He}$  при  $q \approx 3,3 \text{ Ф}^{-1}$ . /рис. 2/. В этом случае все особенности формфактора ядра должны бы определяться структурной частью  $F_A$ . Однако мы уже отмечали выше, что без выделения подструктур в феноменологическом рпз вида /1/ невозможно добиться согласия с экспериментом при больших  $q$ . С другой стороны, из рис. 2 видно, что экспоненциальная функция /5/ дает рпз для альфа-частицы, которое при значении параметров  $R_\alpha = 1,59 \text{ Ф}$  и  $b_\alpha = 0,545 \text{ Ф}$  правильно объясняет "размерный" минимум и весь ход формфактора свободной альфа-частицы. И хотя условия факторизации формфактора в виде /8/ для экспоненциальных функций не выполняются, все же в данном случае есть основания считать, что наблюдаемые в эксперименте дополнительные минимумы и особенности формфакторов ряда ядер  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{24}\text{Mg}$ ,  ${}^{28}\text{Si}$ ,  ${}^{32}\text{S}$ ,  ${}^{40}\text{Ca}$ , при  $q \approx 3,1 \div 3,4 \text{ Ф}^{-1}$  связаны с наличием в этих ядрах альфа-кластеров. В то же время указанные особенности нельзя интерпретировать как точные "копии" минимумов в формфакторе альфа-частицы при  $q \approx 3,3 \text{ Ф}^{-1}$ , как это делалось в /5/. Действительно, методический расчет в АКМП показывает /табл. 1/, что для одинаковых  $R_\alpha$  и  $b_\alpha$  минимумы в формфакторах свободной альфа-частицы и ядер  ${}^{12}\text{C}$  и  ${}^{24}\text{Mg}$  не совпадают по своим положениям, однако направления их "движения" с изменением  $R_\alpha$  и  $b_\alpha$  соответствуют друг другу. Для ядра  ${}^{24}\text{Mg}$  расчеты производились при следующих значениях структурных параметров:  $R_1 = 0,9 \text{ Ф}$ ,  $R_2 = 2,0 \text{ Ф}$ ,  $\theta = 0,314$ .

4. Перейдем к обсуждению результатов методических расчетов формфакторов на примере двух ядер: из р-оболочки ядра  ${}^{12}\text{C}$  с альфа-конфигурацией в виде равно-стороннего треугольника и из sd-оболочки ядра  ${}^{24}\text{Mg}$  - битетраэдр из альфа-кластеров /рис. 1/. Первое характеризуется одним структурным параметром расстояния от центра ядра до центров альфа-кластеризации  $R$ , для ядер sd-оболочки приходится вводить уже три

Таблица 1  
Сравнение положений минимумов формфакторов ядер  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C}$  и  ${}^{24}\text{Mg}$  при больших переданных импульсах для одинаковых параметров пробных ферми-функций нуклонов альфа-частицы и альфа-кластеров внутри ядра

${}^{12}\text{C}$						
Рисунок 7 № кривой	6	5	4	7	8	9
$q_{\min}({}^{12}\text{C})$	3.8	3.6	3.4	2.75	2.75	2.75
$q_{\min}({}^4\text{He})$	3.45	3.25	3.1	2.45	2.45	2.45
${}^{24}\text{Mg}$						
Значения альфа- кластерных параметров	$R_{\alpha 1} = R_{\alpha 2} = 1.7$ $b_{\alpha 1} = b_{\alpha 2} = 0.8$		$R_{\alpha 1} = R_{\alpha 2} = 1.7$ $b_{\alpha 1} = b_{\alpha 2} = 0.9$		$R_{\alpha 1} = R_{\alpha 2} = 1.8$ $b_{\alpha 1} = b_{\alpha 2} = 0.8$	
$q_{\min}({}^{24}\text{Mg})$	3.70		3.70		3.30	
$q_{\min}({}^4\text{He})$	2.90		2.90		2.75	

параметра:  $R_1$  и  $R_2$  - расстояния до внутренних и внешних альфа-кластеров соответственно и угол  $\theta$  направления на внешние кластеры. Вводятся также параметры пробных функций  $b$  для /4/ и  $R_\alpha$  и  $b_\alpha$  для /5/. Последние могут быть разными для внутренних и внешних кластеров и, вообще говоря, не должны совпадать с их значениями для свободных альфа-частиц. Значения параметров, соответствующих кривым на рис. 3-8, приведены в табл. 2 и 3.

5. Вначале рассмотрим результаты методических расчетов с гауссовскими пробными функциями. На рис. 3 показана зависимость формфакторов ядра  $^{12}\text{C}$  от изменения структурного параметра R. Размеры ядра как целого растут с ростом R, и это проявляется в сдвиге первого, "размерного" минимума формфактора упругого рассеяния влево - в сторону меньших  $q$ . Альфа-кластерный параметр  $b$  определяет характер спада рпз на границе

Таблица 2  
Параметры расчетов формфакторов ядра  $^{12}\text{C}$  и соответствующие среднеквадратичные радиусы

Рис. №	кривая №	R	$R_\alpha$	$b_\alpha$	$\bar{R}(\alpha)$	$\bar{R}(^{12}\text{C})$
Рис. 3	1	1.8	-	1.3	1.59	2.425
	2	1.6	-	1.3	1.59	2.31
	3	1.4	-	1.3	1.59	2.21
Рис. 4	1	1.0	-	1.6	1.96	2.47
	2	1.0	-	1.2	1.47	1.92
	3	1.0	-	0.8	0.98	1.43
Рис. 7	1	1.8	1.6	0.573	1.66	2.482
	2	1.5	1.6	0.573	1.66	2.32
	3	1.3	1.6	0.573	1.66	2.233
	4	1.0	1.6	0.8	2.047	2.53
	5	1.0	1.5	0.8	2.01	2.483
	6	1.0	1.4	0.8	1.98	2.439
	7	1.7	2.0	0.7	2.05	2.80
	8	1.7	2.0	0.6	1.91	2.65
	9	1.7	2.0	0.5	1.77	2.52

Таблица 3  
Параметры расчетов формфакторов ядра  $^{24}\text{Mg}$  и соответствующие среднеквадратичные радиусы

Рис №	кривая №	$R_1$	$R_{\alpha 1}$	$b_{\alpha 1}$	$R_2$	$R_{\alpha 2}$	$b_{\alpha 2}$	$\vartheta$	$\bar{R}(\alpha_1)$	$\bar{R}(\alpha_2)$	$\bar{R}(^{24}\text{Mg})$
Рис. 5	1	1.0	-	1.6	2.2	-	1.5	.314	1.96	1.84	2.91
	2	1.0	-	1.6	2.2	-	1.6	.314	1.96	1.96	3.00
	3	1.0	-	1.6	2.2	-	1.7	.314	1.96	2.07	3.09
	4	1.0	-	1.6	2.2	-	1.5	.314	1.96	1.84	2.906
	5	1.0	-	1.6	2.2	-	1.5	.628	1.96	1.84	2.890
	6	1.0	-	1.6	2.2	-	1.5	.942	1.96	1.84	2.888
Рис. 6	1	1.0	-	1.6	2.2	-	1.5	.314	1.96	1.84	2.906
	2	1.0	-	1.6	2.0	-	1.5	.314	1.96	1.84	2.83
	3	1.0	-	1.6	1.6	-	1.5	.314	1.96	1.84	2.71
	4	1.0	-	1.5	2.0	-	1.5	.314	1.84	1.84	2.79
	5	1.3	-	1.5	2.0	-	1.5	.314	1.84	1.84	2.82
	6	1.8	-	1.5	2.0	-	1.5	.314	1.84	1.84	2.89
	7	1.0	-	1.6	2.0	-	1.5	.314	1.96	1.84	2.83
	8	1.0	-	1.5	2.0	-	1.5	.314	1.84	1.84	2.79
	9	1.0	-	1.4	2.0	-	1.5	.314	1.71	1.84	2.76
Рис. 8	1	1.3	1.4	.7	2.4	1.5	.7	.314	1.79	1.834	2.92
	2	1.3	1.5	.7	2.4	1.5	.7	.314	1.834	1.834	2.936
	3	1.3	1.6	.7	2.4	1.5	.7	.314	1.875	1.834	2.948
	4	1.3	1.5	.7	2.4	1.4	.7	.314	1.834	1.79	2.91
	5	1.3	1.5	.7	2.4	1.5	.7	.314	1.834	1.834	2.936
	6	1.3	1.5	.7	2.4	1.6	.7	.314	1.834	1.875	2.96

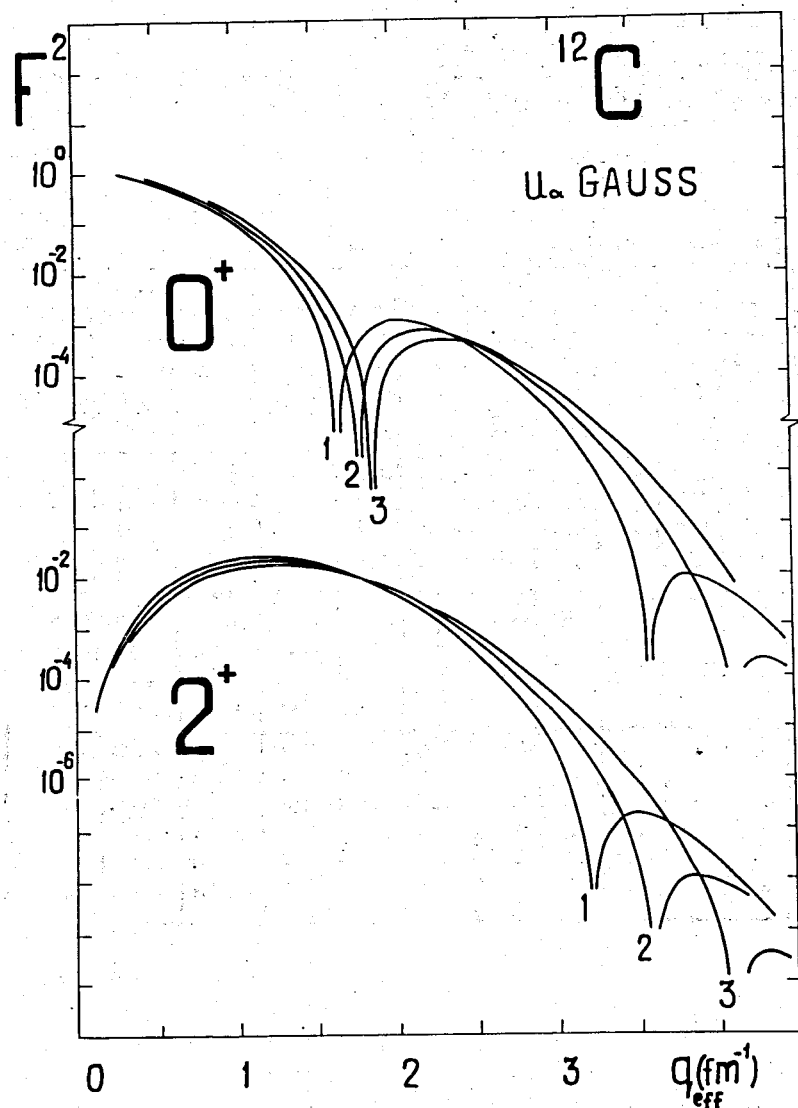


Рис. 3. Зависимость формфакторов ядра  $^{12}\text{C}$  в АКМП, рассчитанных с гауссовскими пробными функциями, от параметра  $R$  /табл. 2/.

ядра; в гауссовской модели он также сильно связан с размером ядра как целого. Видно, что с ростом  $b$  наклон кривых формфакторов увеличивается /рис. 4/. Такая зависимость формфактора от параметров модели  $R$  и  $b$  имеет наглядную интерпретацию, и ее можно назвать "нормальной". Несколько необычно для гауссовских функций появление вторых "размерных" минимумов в формфакторах /рис. 3, кривые 1,2/, которые, правда, возникают лишь для нереально больших для данного ядра значений  $R$ .

Перейдем к ядру  $^{24}\text{Mg}$ . Прежде заметим, что у всех ядер  $sd$ -оболочки в формфакторе появляется еще один, второй, минимум, который располагается при значениях переданного импульса ниже области альфа-кластерных особенностей формфактора. Чтобы понять его природу, обратимся к методическим расчетам на рис. 5 и 6. Из кривых 1,2,3 рис. 5 и 1,2,3 рис. 6 видно, что с изменением параметров внешнего кластера  $R_2$  и  $b_2$ , ход формфактора следует сформулированной выше нормальной зависимости. Однако интереснее то, что наиболее сильно эта зависимость проявляется не в области первого минимума, как это было в ядрах  $p$ -оболочки, а в области второго минимума: с ростом  $R_2$  второй минимум "ползет" влево, с ростом  $b_2$  наклон кривой формфактора увеличивается. Далее любопытно, что при аналогичных изменениях параметров внутренних кластеров  $R_1$  и  $b_1$  формфактор в области второго минимума следует "аномальной зависимости": с ростом  $R_1$  второй минимум сдвигается вправо по  $q$  /кривые 4,5,6 рис. 6/, а с ростом  $b_1$  наклон кривой формфактора уменьшается /кривые 7,8,9 рис. 6/. Это связано с перераспределением заряда внутри ядра при заданных значениях параметров внешних кластеров. В то же время движение первых минимумов формфактора следует "нормальной" зависимости от  $R_1$  и  $b_1$ : с их ростом, то есть с ростом размеров внутренней области ядра, минимум сдвигается по  $q$  влево. Зависимость от параметра  $\theta$  - угла "разворота" внешних альфа-кластеров оказывается весьма слабой, что согласуется с выводами простой альфа-частичной модели<sup>8/</sup>. Действительно, изменение  $\theta$  в три раза почти не меняет поведения формфактора /кривые 4,5,6 рис. 5/. Итак, вторые



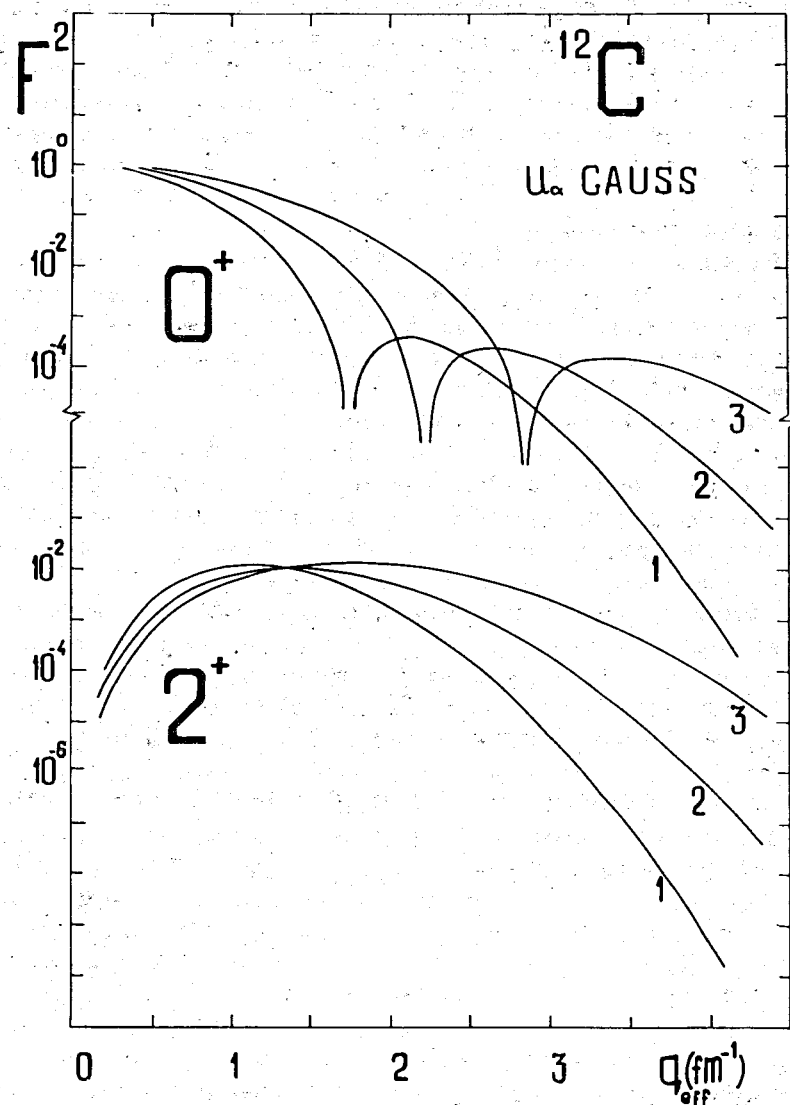


Рис. 4. Зависимость формфакторов ядра  $^{12}\text{C}$  в АКМП, рассчитанных с гауссовскими пробными функциями, от параметра  $b$  /табл. 2/.

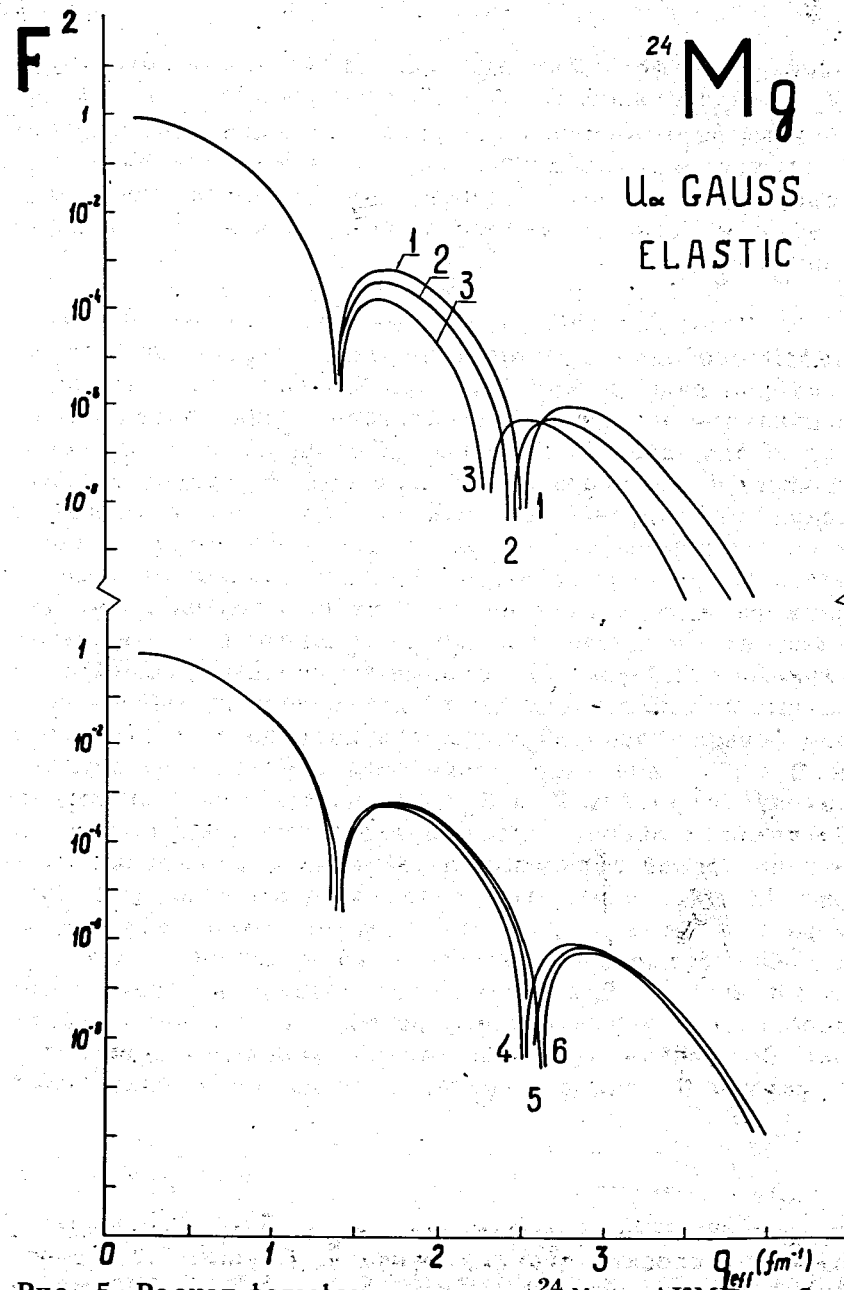
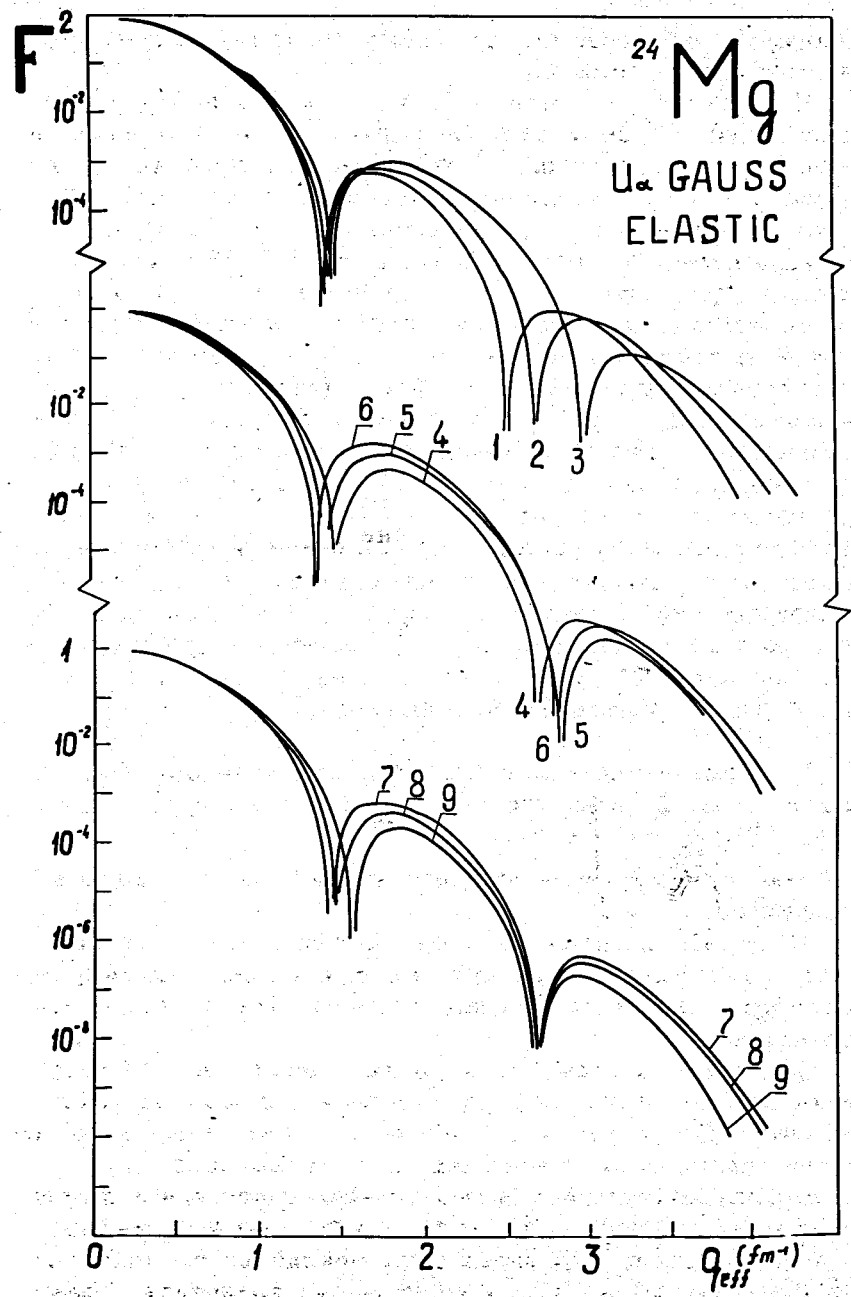


Рис. 5. Расчет формфакторов ядра  $^{24}\text{Mg}$  в АКМП на базе гауссовских пробных функций. Кривые 1,2,3 соответствуют изменению параметра  $b_2$ , кривые 4,5,6 - изменению угла  $\theta$  /табл. 3/.

минимумы в формфакторах ядер sd -оболочки естественно интерпретировать как "структурные". Они сильно зависят от относительного расположения в ядре внешних и внутренних альфа-кластеров и этим отличаются от первых "размерных" минимумов, которые связаны с размером ядра как целого и мало зависят от его внутренней структуры.

6. Обсуждая табл. 1, мы уже отмечали, что в рамках АКМП особенности поведения экспериментальных формфакторов ряда легких ядер при больших  $q$  связываются с наличием в ядре альфа-кластеров. Действительно, из рис. 7 для ядра  $^{12}\text{C}$  /кривые 4,5,6/ видно, что изменение параметра размера альфа-кластера  $R_\alpha$  - радиуса полуспада его пробной функции /5/ приводит в основном к сдвигу в формфакторе только альфа-кластерного минимума. С другой стороны, изменение основного параметра размера ядра - расстояния  $R$  от его центра до альфа-кластера - изменяет положение только первого минимума /кривые 1,2,3 рис. 7/. Вообще же пробные симметризованные ферми-функции дают более содержательное описание формфакторов. Зависимость последних от изменения  $R$ ,  $R_\alpha$  и  $b_\alpha$  для ядер p -оболочки следует нормальному закону: с ростом  $R$  и  $R_\alpha$  соответствующие минимумы сдвигаются влево, с ростом параметра диффузности  $b_\alpha$  наклон кривой формфактора увеличивается /кривые 7,8,9 рис. 7/. Интересно, что при достаточно больших размерах ядра, то есть с ростом  $R$ , у формфактора появляется второй "размерный" минимум /для кривой 2 это при  $q=3,8 \text{ Ф}^{-1}$  /. При этом могут возникать характерные особенности в поведении формфактора, как например, на рис. 7, кривая 1, когда третий максимум сдвигается с ростом  $R$  влево и налагается на альфа-кластерный

Рис. 6. Расчет формфакторов ядра  $^{24}\text{Mg}$  в АКМП на базе гауссовских пробных функций. Кривые 1,2,3 соответствуют изменению параметра  $R_2$ ; 4,5,6 - параметра  $R_1$ ; 7,8,9 - параметра  $b_1$  /табл. 3/.



минимум, что приводит к общему пологому ходу формфактора в этой области  $q$ .

Именно такое пологое поведение в области альфа-кластерных особенностей формфактора наблюдается на эксперименте для ядра  $^{24}\text{Mg}$ . На рис. 8 показана зависимость такого поведения от изменения параметра размеров внутреннего  $R_{\alpha 1}$  и внешнего  $R_{\alpha 2}$  альфа-кластеров /соответственно кривые 1,2,3 и 4,5,6/. При этом положения "размерного" и "структурного" минимумов почти не меняются, но меняется характер кривых в районе альфа-кластерного минимума  $q \approx 3,8 \text{ Ф}^{-1}$ . И опять, как и в случае гауссовских пробных функций, увеличение параметров  $R_{\alpha 1}$  и  $R_{\alpha 2}$  действует в противоположные стороны: в первом случае этот минимум исчезает с ростом  $R_{\alpha 1}$ , во втором - с ростом  $R_{\alpha 2}$  появляется. Здесь проявляется также отмечавшийся уже факт неполной факторизации формфактора ядра на структурный и альфа-кластерный для пробных ферми-функций. В самом деле, из кривых рис. 8 видно, что альфа-кластерный минимум не может проявить себя там, где имеется "структурный" или "размерный", как в случае ядер  $p$ -оболочки /кривая 1 рис. 7/, максимум формфактора.

7. В заключение отметим, что аналогичным образом ведут себя формфакторы и других кластерных ядер:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{32}\text{S}$  и  $^{40}\text{Ca}$ .

Резюмируя полученные здесь результаты, подчеркнем следующее:

а/ Первые минимумы в формфакторах всех ядер являются "размерными", они чувствительны лишь к размерам всего ядра как целого и слабо зависят от его внутренней структуры.

б/ Вторые минимумы в формфакторах ядер  $sd$ -оболочки можно считать "структурными"; в модели АКМП их положение весьма чувствительно к взаимному расположению внутренних и внешних альфа-кластеров ядра.

в/ Особенности поведения формфакторов при больших переданных импульсах  $q = 3,1 \div 3,4 \text{ Ф}^{-1}$  АКМП связывает с наличием в этих ядрах образований альфа-кластерной природы; из-за этого здесь могут возникать характерные альфа-кластерные минимумы /на эксперименте

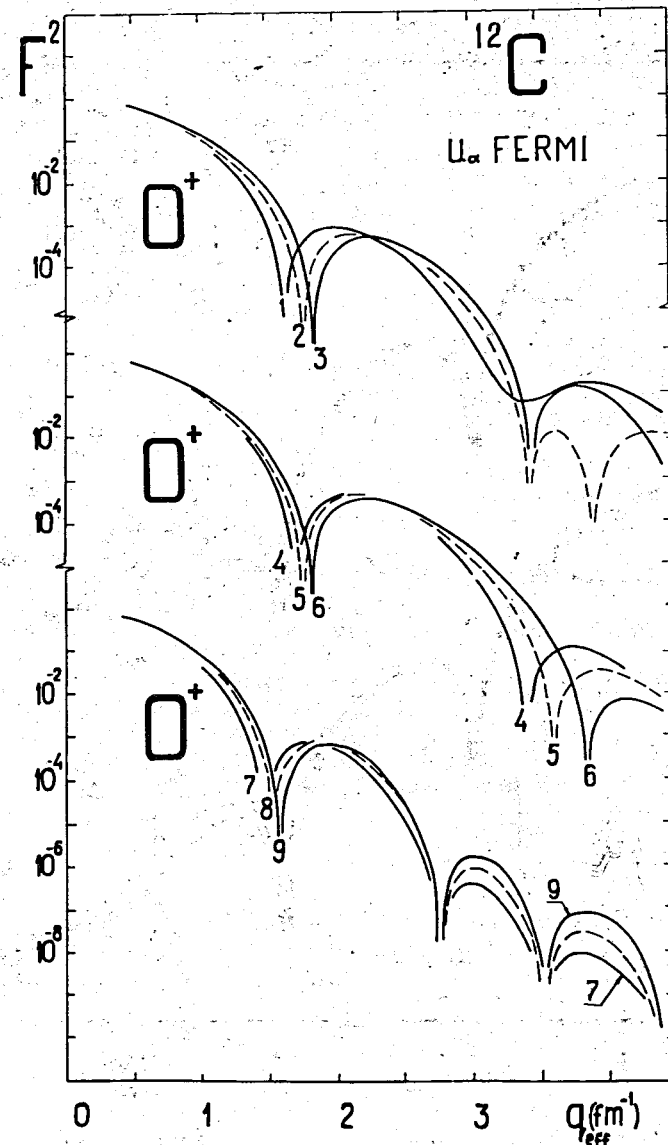


Рис. 7. Расчет формфакторов ядра  $^{12}\text{C}$  в АКМП на базе пробных симметризованных ферми-функций. Кривые 1,2,3 соответствуют изменению параметра  $R$ ; 4,5,6 - параметра  $R_{\alpha}$ ; 7,8,9 - параметра  $b_{\alpha}$  /табл. 2/.

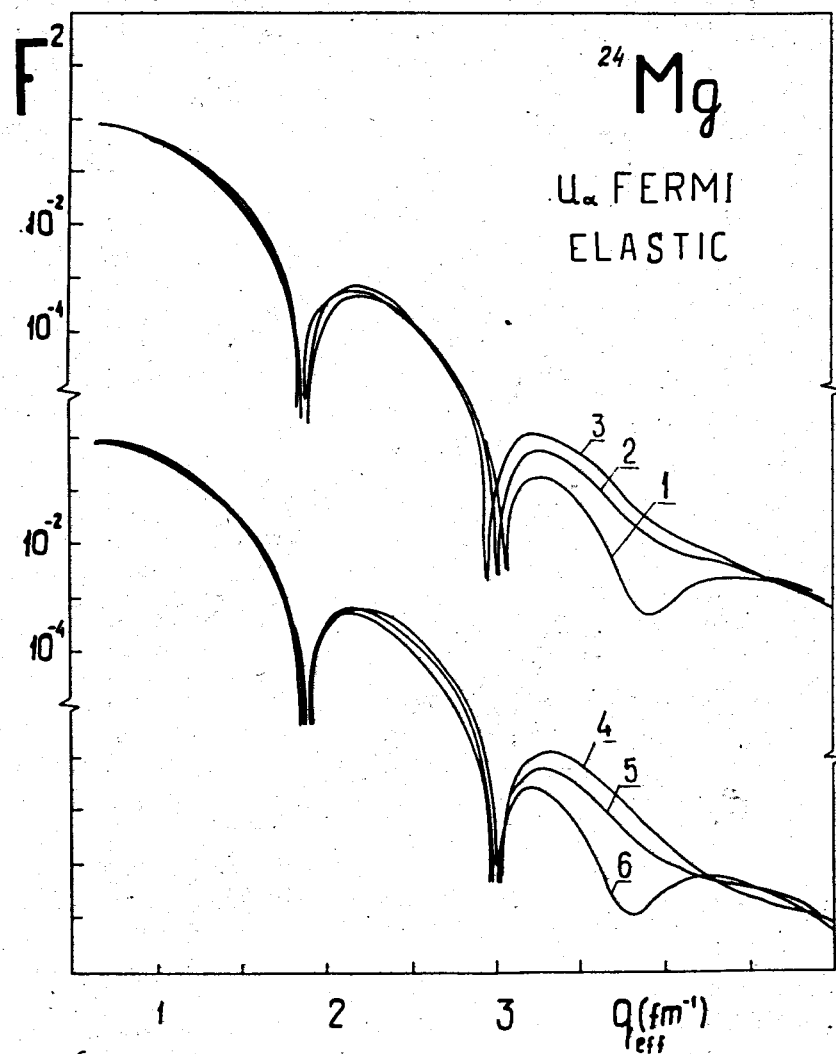


Рис. 8. Расчет формфакторов ядра  $^{24}\text{Mg}$  в АКМП на базе пробных симметризованных ферми-функций. Кривые 1,2,3 соответствуют изменениям  $R_{\alpha 1}$ ; 4,5,6 - параметра  $R_{\alpha 2}$  /табл. 3/.

они наблюдаются в ядрах  $^{16}\text{O}$ ,  $^{32}\text{S}$ ,  $^{40}\text{Ca}$  /или пологое поведение формфакторов /как в ядрах  $^{12}\text{C}$ ,  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{28}\text{Si}$  /, связанное с "наложением" размерных или структурных максимумов на альфа-кластерные минимумы.

г/ Все детали такого поведения при больших  $q$  могут быть объяснены и поняты только при использовании пробных симметризованных ферми-функций с правильной, экспоненциальной асимптотикой на больших расстояниях.

#### Литература

1. Ю.Н.Елдышев, В.К.Лукьянов, Ю.С.Поль. ЯФ, 16, 506 /1972/.
2. Е.В.Инопин, В.К.Лукьянов, Ю.С.Поль. Препринт ОИЯИ, Р4-7350, Дубна, 1973.
3. Е.В.Инопин, В.С.Кинчаков, В.К.Лукьянов, Ю.С.Поль. Препринт ОИЯИ, Р4-7741, Дубна, 1974.
4. D.M.Brink. Intern. School of Phys. "Enrico Fermi" XXXVI, 247 (1966).
5. L.J.McDonald, H.Uberall, S.Numrich. Nucl.Phys., A147, 541 (1970); L.J.McDonald, H.Uberall. Phys.Rev., C1, 2156 (1970).
6. Е.В.Инопин, А.А.Креснин, Б.И.Тищенко. ЯФ, 2, 802 /1965/.
7. T. De Forest, J.D.Walecka. Adv. in Phys., 15, No. 57, 1 (1966).
8. P.S.Hauge, S.A.Williams, G.H.Duffey. Phys.Rev., C4, 1044 (1971).
9. H.Crannel. Phys.Rev., 148, 1107 (1966); I.Sick, J.S.McCarthy. Nucl.Phys., A150, 631 (1970); G.C.Li, I.Sick, M.R.Yearian. HEPL 691, Stanford (1973).

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 апреля 1974 года.