

С 341.1Г

ФФ - 7/6

У/Г - 62

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P7 - 3065



Г.Н. Флеров, Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков,
А.А. Плева, С.М. Поликанов, Х. Юнгклауссен

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

ИЗОМЕРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ,
ПРИВОДЯЩИХ К ИЗОТОПАМ ^{190}Ir , ^{196}Au И ^{242}Am

1966

P7 - 3065

Г.Н. Флеров, Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков,
А.А. Плева, С.М. Поликанов, Х. Юнгклауссен

ИЗОМЕРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ,
ПРИВОДЯЩИХ К ИЗОТОПАМ ^{100}Ir , ^{196}Au И ^{242}Am



46937, чд.

В настоящее время известен целый ряд спонтанно делящихся изомеров с периодами полураспада от нескольких минут до 10^{-7} сек ^{/1-8/}. Спонтанное деление пока остается их единственным обнаруженным видом распада. Попытки наблюдать α - и γ -переходы, конкурирующие со спонтанным делением, дали отрицательный результат ^{/9,10/}. Это обстоятельство не позволяет прямо определить энергию и спин изомерного уровня, а тем самым затрудняет выяснение природы спонтанно делящихся изомеров.

Некоторым выходом из создавшегося положения могут служить исследования ядерных реакций, приводящих к этим состояниям. Так, по разнице энергетических порогов реакций, ведущих к образованию основного и изомерного состояний, можно судить об энергии изомерного уровня. Поведение изомерных отношений, полученных для данного ядра в реакциях с различными частицами, может дать определенные сведения о величине спина.

Наиболее изучены реакции, связанные с получением спонтанно делящегося изомера ^{242}Am . Впервые изомерные отношения для этого ядра в зависимости от энергии дейтронов были экспериментально получены в реакции $^{242}\text{Pu}(d, 2n)^{242}\text{Am}$ ^{/11/}. Средний угловой момент, вносимый дейтроном в составное ядро при энергии $E_d = 10-14$ Мэв составлял $(3-5)\hbar$. Величина изомерного отношения оказалась слабо зависящей от энергии и равнялась в среднем $4 \cdot 10^{-4}$. (Изомерным отношением α мы называем здесь отношение сечений образования ядра в изомерном и основном состояниях, т.е. $\alpha = \frac{\sigma_{\text{изом.}}}{\sigma_{\text{осн.}}}$).

К примерно такому же изомерному отношению для ^{242}Am приводили реакции с протонами ^{/12/} и нейтронами с энергией 14 Мэв ^{/2/}.

Для объяснения такого малого значения α можно было предположить, что спин изомерного уровня ^{242}Am имеет достаточно большую величину.

В рамках такого предположения неожиданными были результаты изучения реакции $^{238}\text{U} + ^1_0\text{n}$ ^{/13/}, приводящей к тому же ядру ^{242}Am , где средний

угловой момент, вносимый частицей бора при энергии 60 Мэв, уже равен $15 \hbar$. Изомерное отношение a оказалось такого же порядка, что и в реакциях с легкими частицами и составляло $\approx 4 \cdot 10^{-4}$.

Получалось, что изомерные отношения мало зависят от среднего момента, вносимого налетающими частицами, и эти опытные данные противоречили предположению о большом значении спина изомерного уровня ядра ^{242}Am .

Чтобы сделать более определенные выводы о величине спина, представлялось интересным сравнить поведение изомерных отношений в случае спонтанно делящегося изомера ^{242}Am и в случае обычных изомеров, полученных в различных реакциях и у которых известен спин изомерного уровня.

Важно было также проверить влияние деформации ядра на изомерные отношения, поскольку на их поведение в зависимости от углового момента бомбардирующей частицы могут сказаться правила отбора по проекции спина ядра на его ось симметрии (отбор по квантовому числу K).

В качестве таких изомеров нами были выбраны ядра ^{190}Ir и ^{196}Au . Ядро ^{196}Au относится к области сферических ядер, ^{190}Ir — к области деформированных.

На рис. 1 и 2 даны характеристики отдельных состояний этих ядер и представлены неполные схемы их распадов.

Изомер иридия $^{14,15/}$ имеет спин 11^- , периоды полураспада изомерного и основного состояний составляют соответственно 3,2 часа и 12,3 дня. Оба эти состояния в результате K — захвата переходят на уровни ядра ^{190}Os .

Изомер золота $^{14,16/}$, как видно из рис. 2, живет 9,7 часа, имеет спин 12^- и каскадом γ -лучей переходит в основное состояние со спином 2^- , время жизни которого по отношению к β -распаду на уровни изотопа ^{196}Pt , составляет 6,2 дня.

Целью экспериментов было получение изотопов ^{190}Ir и ^{196}Au в реакциях с различными частицами и определение зависимости изомерных отношений от величины углового момента, вносимого налетающей частицей.

В опытах использовались нейтроны с энергией 14 Мэв, протоны, дейтоны и ионы бора ^{11}B . В качестве мишеней были выбраны золото ^{197}Au , обогащенные изотопы платины ^{196}Pt , осмия ^{190}Os и ^{192}Os . Работа проводилась на нейтронном генераторе НГ-200, на 150 см и 300 см циклотронах Лаборатории

ядерных реакций ОИЯИ. Облученные мишени служили источником γ -лучей, для регистрации которых использовался спектрометр с кристаллом NaJ с известной эффективностью. В случае реакции $^{192}\text{Os} + ^{11}\text{B}$ из-за сложности суммарного γ -спектра вначале проводилось химическое выделение образующегося золота, а уже затем счет γ -квантов.

В качестве примера, на рис. 3 представлен γ -спектр, полученный в реакции $^{190}\text{Os} + d$ с образованием ^{190}Ir . На рис. 4 показан спектр γ -лучей ^{196}Au из реакции $^{192}\text{Os} + ^{11}\text{B}$.

Выделение интересующих нас изотопов ^{190}Ir и ^{196}Au производилось по известным линиям их спектров, а также по соответствующим периодам полураспада.

Идентификация основного и изомерного состояний в случае иридия производилась по одной γ -линии спектра 186 кэв.

Это возможно было сделать благодаря тому, что подавляющая доля распада ($\approx 94\%$) этих состояний идет по цепочке γ -переходов, приводящей к уровню 186 кэв в ^{190}Os (рис. 1), а также благодаря большой разнице в периодах полураспада обоих состояний.

В случае золота изомерное состояние выделялось по γ -линии 148 кэв, а основное состояние - по сумме линий 330 и 355 кэв (эти линии в нашем спектре не разрешены). Вычисление изомерных отношений производилось с учетом особенностей схем распада, коэффициентов внутренней конверсии и эффективности γ -спектрометра.

Основные результаты измерений и их обработки занесены в таблицу. В ней представлены типы реакций, энергия и средний момент, вносимый налетающими частицами, а также полученные в опытах изомерные отношения. Точность результатов оценивается в 10%.

Для сравнения с полученными данными по изотопам ^{190}Ir и ^{196}Au в таблицу занесены величины изомерных отношений для спонтанно делящегося изомера ^{242}Am .

Из приведенных данных видно, что величина $\frac{\sigma_{\text{ИЗОМ.}}}{\sigma_{\text{ОСН.}}}$ заметно растет для Ir и Au с ростом среднего момента \bar{l} , вносимого частицей. Так, для золота при изменении \bar{l} , от 5 \hbar до 15 \hbar изомерное отношение увеличивается на порядок.

Т а б л и ц а

Реакция	Энергия частиц, Мэв	Средний вносимый момент \bar{l}	Изомерное отношение $\alpha = \frac{\sigma_{\text{изом.}}}{\sigma_{\text{осн.}}}$			
			^{190}Ir эксп.	^{196}Au эксп.	^{196}Au теор.	^{242}Am эксп.
p, n	7	1	$\leq 0,7 \cdot 10^{-2}$		$0,1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-4/12/}$
	11	2				
d, 2n	10	3	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-4/11/}$	
	12	4	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4/11/}$		
	14	5	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$		
n, 2n	14	7	$7,9 \cdot 10^{-2}$		$3 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4/1/2/}$
	50		$28 \cdot 10^{-2}$			
$^{11}\text{B}, \alpha 3n$	55		$31 \cdot 10^{-2}$			
	60	15	$36 \cdot 10^{-2}$	$80 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4/13/}$	
	65		$34 \cdot 10^{-2}$			

Для деформированного ядра ^{190}Ir также наблюдается характерный рост α при увеличении среднего момента \bar{l} .

В таблице приведены также результаты теоретических оценок величины изомерного отношения для ^{196}Au . Расчеты проводились методом каскадной статистики /17/. Для параметра, характеризующего зависимость плотности уровней от спина, было выбрано значение $\sigma = 5$. Проницаемость T_0 при расчете реакции $^{192}\text{Os} + ^{11}\text{B}$ вычислялась по приближенной формуле /18/. Здесь не ставилась цель получения цифрового согласия с экспериментом, чего можно было бы добиться соответствующим подбором параметров. Основным является то, что приведенные расчеты убедительно указывают на закономерный рост изомерного отношения с увеличением среднего момента \bar{l} , и это согласуется со статистическими представлениями о механизме реакций, приводящих к изомерному состоянию ядра с большим спином (спин 12 для ^{196}Au).

В отличие от этого, при образовании изомера ^{242}Am , как видно из рис. 5 и таблицы, величина $\frac{\sigma_{\text{изом.}}}{\sigma_{\text{осн.}}}$ практически не зависит от типа реакции, т.е. от \bar{l} .

Для объяснения этого экспериментального факта напрашивается вывод, что спин изомерного уровня ^{242}Am невелик, и тогда становится естественным поведение изомерного отношения. При этом малое значение α (10^{-4}), как показано в работе /19/, можно объяснить высокой энергией (≈ 3 Мэв) изомерного состояния ядра при малой величине спина.

Такое значение энергии возбуждения находится в хорошем согласии с $E_{\text{из}} = 2,9 \pm 0,4$ Мэв для реакции $^{243}\text{Am}(n, 2n)^{242}\text{Am}$, где энергия оценивалась по измеренной разнице в порогах реакций, ведущих к образованию основного и изомерного состояний. При изучении реакции $^{241}\text{Pu}(p, 2n)^{240}\text{Am}$, /21/, приводящей к образованию известного спонтанно делящегося изомера ^{240}Am , дается значение $E_{\text{из}} = 3,0 \pm 0,3$ Мэв.

В настоящее время остается неизвестной причина большого запрета (не менее 10^{12}) по отношению к испусканию γ -квантов из изомерных состояний. Возможно, что этот запрет обусловлен большой разницей в деформациях ядра в основном и изомерном состояниях.

Авторы благодарны Б.А. Гвоздеву за работу по химическому выделению золота, а также И.Ф. Харисову за помощь к проведению экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. С.М. Поликанов, В.А. Друин, В.А. Карнаухов, В.Л. Михеев, А.А. Плеве, Н.К. Скобелев, В.Г. Субботин, Г.М. Тер-Акопян, В.А. Фомичев. ЖЭТФ, 42, 1464 (1962).
2. A.F.Linev, B.N.Markov, A.A.Pleve, S.M.Polikanov. Nucl.Phys, 63, 173 (1965)
3. Ю.В. Лобанов, В.И. Кузнецов, В.П. Перельгин, С.М. Поликанов, Ю.Ц. Оганесян, Г.Н. Флеров. Ядерная физика, 1, 87 (1955).
4. A.Ghiorso, E.Hyde. Частное сообщение.
5. В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Б.В. Фефилов, В.И. Кузнецов, Ю.В. Лобанов, Ю.Ц. Оганесян. Препринт ОИЯИ, Р-1851, Дубна 1964.
6. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. Ядерная физика, 4, 279 (1966).
7. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ Р-2862, Дубна 1966.
8. Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков, С.М. Поликанов, Х. Юнгклауссен. Препринт ОИЯИ Р-2841, Дубна 1966.
9. R.V.Leachman, B.H.Erkkila. Bull. Amer. Phys. Soc. II, 10, 1204 (1965).

10. F.Stephens,R.Diamond. Частные сообщения.
11. G.N.Flerov,E.Ivanov,N.Martalogy,A.A.Pleve,S.M.Polikanov,D.Poenaru
N.Vilcov Revue Roumaine de physique,10, 2, 217 (1965).
12. N.Vilcov et al. Revue Roumaine de physique, в печати.
13. Ю.П. Гангрский, Б.Н. Марков, С.М. Поликанов, Х. Юнгклауссен. Препринт
ОИЯИ Р-2895, Дубна 1966.
14. Б.С. Джелепов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. Схемы распада радиоактивных
ядер. Изд-во АН СССР (1963).
15. В.Harmatz, T.H.Handley.Nucl,Phys., 56, 1, 37 (1964).
16. Т.Yamazaki. Nucl. Phys., 44, 3, 353 (1963).
17. J.R.Huizega. R.Vandebosch. Phys.Rev., 120, 4, 1313 (1960).
18. В. Бабиков. ЖЭТФ, 38, 274 (1960).
19. В.П. Зоммер, А.И. Прокофьев. Ядерная физика, 3, 3 (1966).
20. N.Vilcov et al. to be published.
21. S.Bjorneholm, J.Borgreen,L.Westgaard,V.A.Karnaukhov Nucl. Phys.,
in press.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 декабря 1966 г.

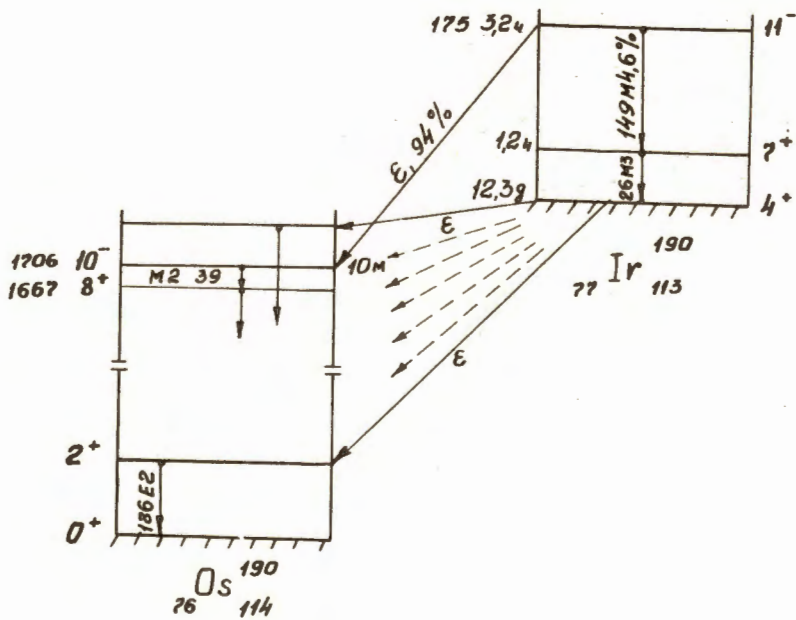


Рис. 1. Схема распада ядра ^{190}Ir . Указаны характеристики отдельных состояний.

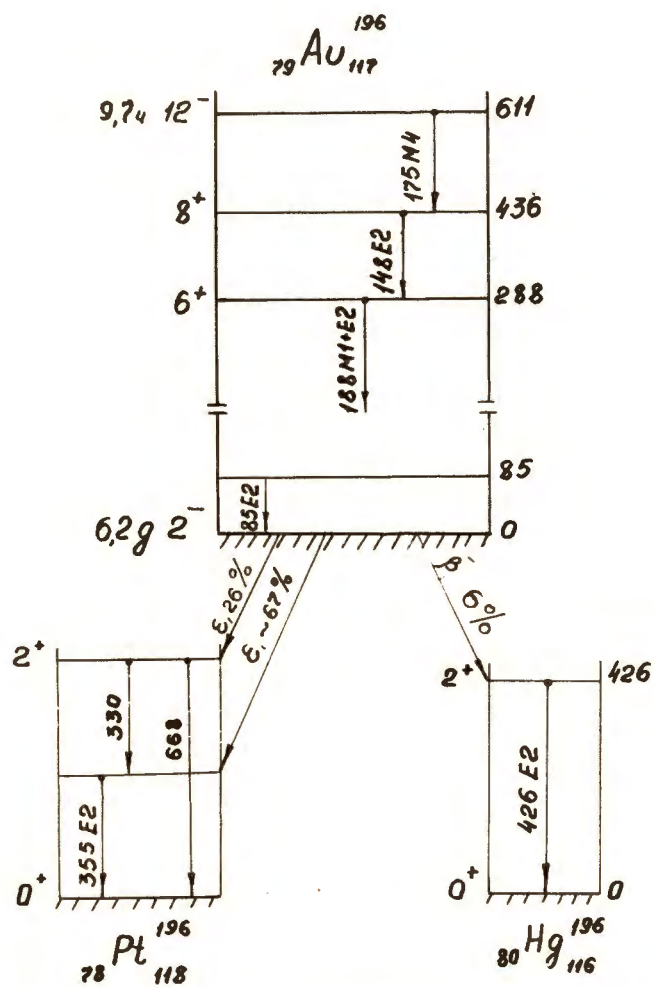


Рис. 2. Схема распада ядра ^{196}Au . Указаны характеристики отдельных состояний.

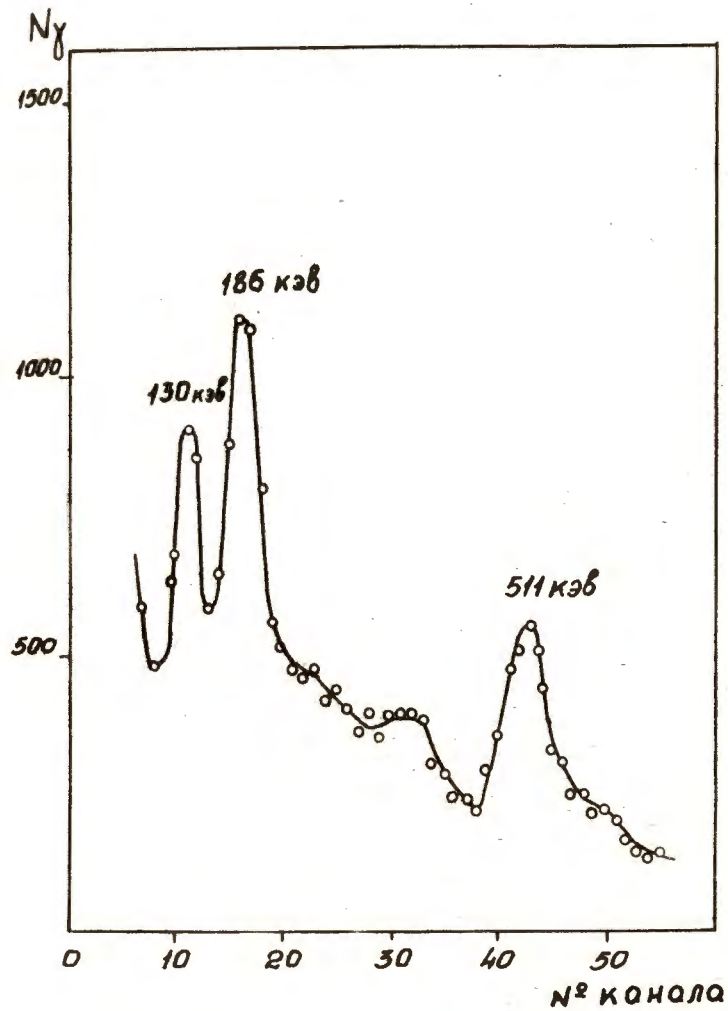


Рис. 3. Спектр γ -лучей ^{190}Ir , полученный в реакции $^{190}\text{Os} + d$
 N_{γ} - число зарегистрированных γ -квантов в канале.

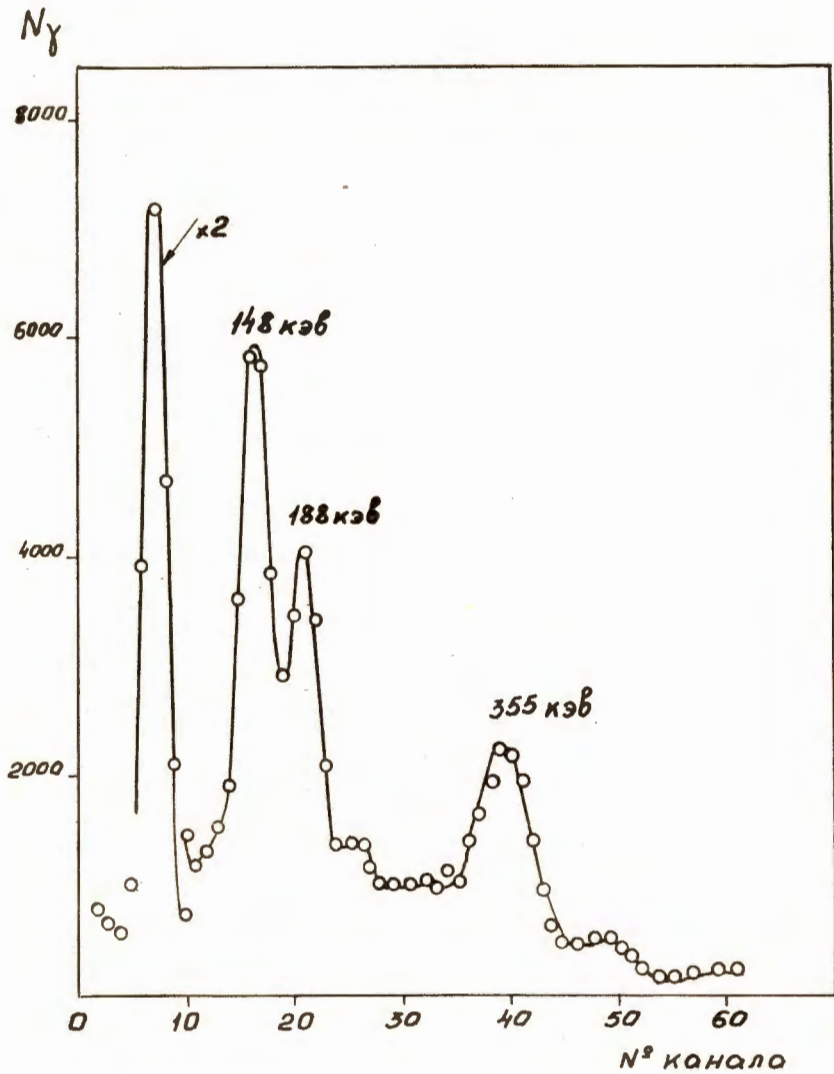


Рис. 4. Спектр γ -лучей ^{196}Au , полученный в реакции $^{192}\text{Os} + ^{11}\text{B}$
 N_γ - число зарегистрированных γ -квантов в канале.

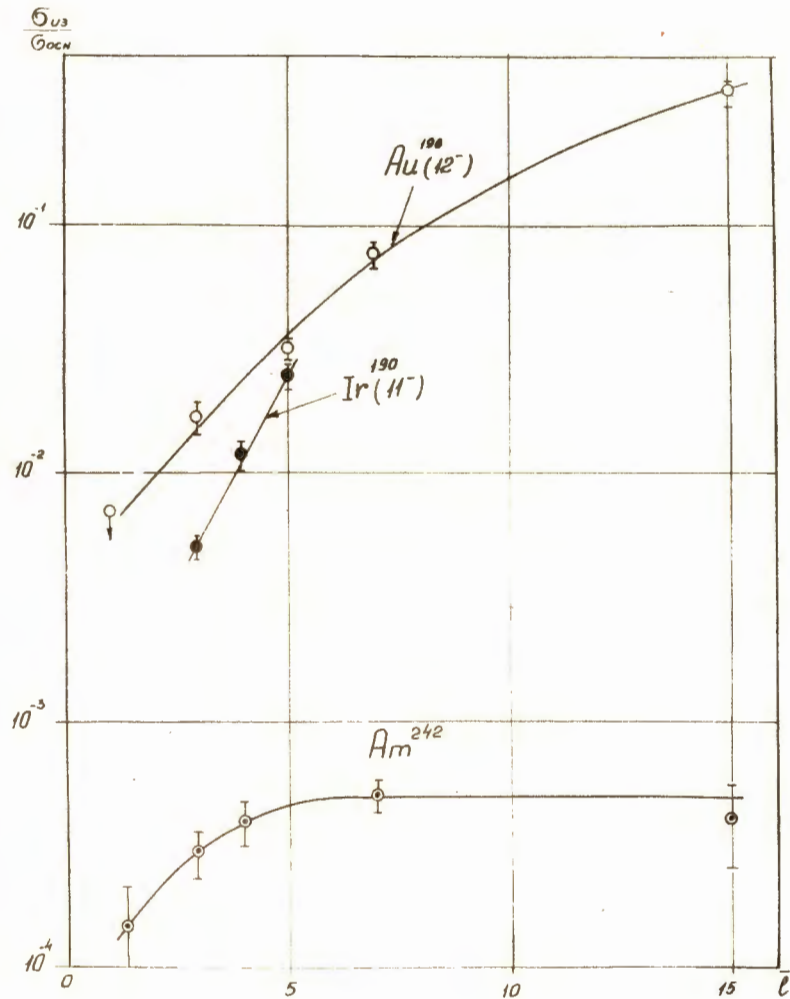


Рис. 5. Зависимость изомерного отношения $\frac{\sigma_{\text{изом.}}}{\sigma_{\text{осн.}}}$ от среднего углового момента \bar{l} (см. таблицу).