

Бакалаврская работа на тему:

«Изомерные отношения в фотоядерных
реакциях на изотопах Pd, Cd и Sn»

ВЫПОЛНИЛА: СТУДЕНТКА 413 ГРУППЫ КАФЕДРЫ ОБЩЕЙ ЯДЕРНОЙ
ФИЗИКИ РАДЕВА Д.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: К.Ф.-М.Н., ДОЦЕНТ А.А. КУЗНЕЦОВ

Преимущества исследования ФЯР

- Взаимодействие γ -квантов с ядрами происходит посредством электромагнитного излучения, которое наиболее изучено. Оно является достаточно слабым, а потому к нему применима, например, теория возмущения.
- При использовании в качестве бомбардирующих частиц гамма-квантов преимущество в том, что не нужно учитывать энергию связи и кулоновский барьер. Таким образом, энергия возбуждения ядра соответствует энергии поглощенного гамма-кванта, а сечение реакции достаточно велико и при самых низких энергиях возбуждения.

Исследование изомерных состояний

- ❑ Развитие экспериментальных исследований гигантского E1 резонанса, являющегося наиболее изученным, связано в основном с изучением его различных каналов распада. В первую очередь тех, в которых возможно изучить заселение определенных, выделенных состояний ядер-продуктов. Например, изомерные состояния, у которых время жизни значительное, а спин изомера отличается от спина основного состояния на несколько единиц.
- ❑ Измеряя зависимость вероятности заселения изомера от энергии возбуждения, можно узнать, какие уровни участвуют в данном заселении и ряд их параметров: спины, четности, а также их статистические характеристики. Информацию о свойствах этих уровней обычно получают из сравнения измеренных вероятностей образования изомера с результатами теоритического расчета.

Эксперименты ФЯР

Особенностью фотоядерных экспериментов является то, что основная масса результатов в них получена на пучках тормозного гамма-излучения электронных ускорителей. В таких экспериментах измеряется выход фотоядерных реакций $\Upsilon(E_{\gamma max})$, связанный с ее сечением σ соотношением:

$$\Upsilon(E_{\gamma max}) = k \int_{E_{nop}}^{E_{\gamma max}} \sigma(E) \Phi(E, E_{\gamma max}) dE,$$

где k — нормировочный множитель, E_{nop} — порога фотоядерной реакции, $E_{\gamma max}$ — максимальная энергия тормозного спектра $\Phi(E, E_{\gamma max})$.

Из фотоядерных экспериментов по возбуждению изомеров получают данные двух видов: выходы Υ и сечения σ . Из эксперимента получают изомерные отношения выходов:

$$d = \frac{\Upsilon_m}{\Upsilon_g}$$

Цель исследования ФЯР и цель работы

- В работе ставится задача экспериментального изучения образования изомерных и основных состояний атомных ядер в результате фотоядерных реакций на ядрах Pd, Cd и Sn; расчета экспериментальных изомерных отношений для полученных изотопов; получения энергетической зависимости изомерных отношений и сравнения с результатами других работ.

Предмет исследования

В качестве предмета исследования были выбраны стабильные изотопы элементов Pd, Cd и Sn с $Z = 46, 48, 50$ соответственно.

- У рассматриваемых в работе изотопов изомерные состояния имеют спин-четность, отличающиеся от спинов-четностей основного состояния ядра на несколько единиц. Отсюда есть основания полагать, что изомерные отношения в большинстве случаев будут схожи и отличаться зависимостью по энергии.

Sn 112 0,97 $\alpha 0,16 \pm 0,40$	Sn 113 21,4 m 115,1 d $\alpha 0,12$	Sn 114 0,65 $\alpha 30$	Sn 115 0,34 $\alpha 0,0054 \pm 0,14$	Sn 116 14,53 $\alpha 0,004 \pm 0,21$	Sn 117 13,5 d 7,68 $\alpha 0,001 \pm 0,13$	Sn 118 24,23 $\alpha 0,004 \pm 0,21$	Sn 119 293 d 8,59 $\alpha 0,001 \pm 0,13$	Sn 120 32,59 $\alpha 0,001 \pm 0,13$	Sn 121 50 s 27,0 h $\alpha 0,15 \pm 0,001$	Sn 122 4,63 $\alpha 0,15 \pm 0,001$	Sn 123 40,1 m 129,2 d $\alpha 0,13 \pm 0,005$	Sn 124 5,79
In 111 7,6 m $\alpha 0,06 \pm 0,11$	In 112 2,81 d 20,8 m 14,4 m $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 113 99,49 m 4,3 $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 114 49,5 d 71,9 s $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 115 95,7 $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 116 2,2 s 54 m 14 s $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 117 1,94 h 43,1 m $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 118 8,5 s 4,4 m 5 s $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 119 10 m 2,3 m $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 120 47,3 s 46,2 s 3,1 s $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 121 3,6 m 23,1 s $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 122 47,8 s 5,98 s $\alpha 0,012 \pm 2,2$	In 123 5,98 s
Cd 110 12,49 $\alpha 0,06 \pm 0,11$	Cd 111 49 m 12,80 $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 112 24,13 $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 113 12,22 $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 114 28,73 $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 115 44,8 d 53,38 h $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 116 7,49 $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 117 3,31 h 2,42 h $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 118 50,3 m $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 119 2,2 m 2,7 m $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 120 50,8 s $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 121 8,3 s 12,8 s $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 122 5,5 s

Pd 102 1,020 $\alpha 4,8$	Pd 103 16,96 d $\alpha 4,8$	Pd 104 11,14 $\alpha 14$	Pd 105 22,33 $\alpha 14$	Pd 106 27,33 $\alpha 0,013 \pm 0,279$	Pd 107 21,3 s 6,5 $\alpha 0,013 \pm 0,279$	Pd 108 26,46 $\alpha 0,20 \pm 12$	Pd 109 4,89 m 13,43 h $\alpha 0,20 \pm 12$	Pd 110 11,72 $\alpha 0,20 \pm 12$
Rh 101 4,4 d $\alpha 4,8$	Rh 102 3,3 s 2,9 s $\alpha 4,8$	Rh 103 56,1 m 100 $\alpha 4,8$	Rh 104 4,4 m 42 s $\alpha 4,8$	Rh 105 45 s 35,5 h $\alpha 4,8$	Rh 106 2,2 h 30 s $\alpha 4,8$	Rh 107 21,7 m $\alpha 4,8$	Rh 108 5,9 m 18,3 s $\alpha 4,8$	Rh 109 80 s $\alpha 4,8$

Cd 106 1,25 $\alpha 0,20$	Cd 107 6,5 h $\alpha 0,20$	Cd 108 0,89 $\alpha 1,0$	Cd 109 462,6 d $\alpha 1,0$	Cd 110 12,49 $\alpha 0,06 \pm 11$	Cd 111 49 m 12,80 $\alpha 24$	Cd 112 24,13 $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 113 12,22 $\alpha 0,012 \pm 2,2$	Cd 114 28,73 $\alpha 0,04 \pm 0,30$	Cd 115 44,8 d 53,38 h $\alpha 0,04 \pm 0,30$	Cd 116 7,49 $\alpha 0,026 \pm 0,052$
Ag 105 7,2 m $\alpha 0,06 \pm 0,11$	Ag 106 41,29 d 8,3 d 24 m $\alpha 0,06 \pm 0,11$	Ag 107 44,3 s 51,839 $\alpha 0,37 \pm 36$	Ag 108 418 a 2,41 m $\alpha 0,37 \pm 36$	Ag 109 39,6 s 48,161 $\alpha 4,4 \pm 87$	Ag 110 249,9 d 24,6 s $\alpha 4,4 \pm 87$	Ag 111 65 s 7,45 d $\alpha 3$	Ag 112 3,12 h $\alpha 3$	Ag 113 1,1 m 5,37 h $\alpha 3$	Ag 114 4,5 s $\alpha 3$	Ag 115 18,0 s 20,0 m $\alpha 3$

Исследуемые изотопы

Помимо типа реакции, в таблицах также указаны основные характеристики исследуемых изотопов: спин-четность, период полураспада и пороговая энергия.

Таблица 1: изотопы, полученные в реакции (γ, n)

Изотоп	J^P	$T_{1/2}$	Реакция	$E_{level}^{m.s.}$ МэВ	Порог, МэВ
Sn^{123}	$11/2^-$	129.2d	$Sn^{124}(\gamma, n)Sn^{123}$	-	8.49
Sn^{123m}	$3/2^+$	40.06min	$Sn^{124}(\gamma, n)Sn^{123m}$	0.025	8.51

Таблица 2: изотопы, полученные в реакции (γ, p)

Изотоп	J^P	$T_{1/2}$	Реакция	$E_{level}^{m.s.}$ МэВ	Порог, МэВ
In^{111}	$9/2^+$	2.8d	$Sn^{112}(\gamma, p)In^{111}$	-	7.01
In^{111}	$9/2^+$	2.8d	$Sn^{114}(\gamma, 1p2n)In^{111}$	-	25.06
In^{111m}	$1/2^-$	2.8d	$Sn^{112}(\gamma, p)In^{111m}$	-	7.55
In^{111m}	$1/2^-$	7.7min	$Sn^{114}(\gamma, 1p2n)In^{111m}$	0.537	25.60
In^{117}	$9/2^+$	43.2min	$Sn^{118}(\gamma, p)In^{117}$	-	10.03
In^{117}	$9/2^+$	43.2min	$Sn^{119}(\gamma, 1p1n)In^{117}$	-	16.18
In^{117m}	$1/2^-$	43.2min	$Sn^{118}(\gamma, p)In^{117m}$	-	10.33
In^{117m}	$1/2^-$	116.2min	$Sn^{119}(\gamma, 1p1n)In^{117m}$	0.315	16.48
In^{119}	$9/2^+$	2.4min	$Sn^{120}(\gamma, p)In^{119}$	-	10.38
In^{119}	$9/2^+$	2.4min	$Sn^{122}(\gamma, 1p2n)In^{119}$	-	25.36
In^{119m}	$1/2^-$	2.4min	$Sn^{120}(\gamma, p)In^{119m}$	-	10.69
In^{119m}	$1/2^-$	18min	$Sn^{122}(\gamma, 1p2n)In^{119m}$	0.311	25.67

Таблица 3: изотопы, полученные в реакции (γ, n)

Изотоп	J^P	$T_{1/2}$	Реакция	$E_{level}^{m.s.}$ МэВ	Порог, МэВ
Cd^{115}	$1/2^+$	53.46 h	$Cd^{116}(\gamma, n)Cd^{115}$	-	8.70
Cd^{115m}	$11/2^-$	44.6 d	$Cd^{116}(\gamma, n)Cd^{115m}$	0.181	8.88

Таблица 4: изотопы, полученные в реакции (γ, p)

Изотоп	J^P	$T_{1/2}$	Реакция	$E_{level}^{m.s.}$ МэВ	Порог, МэВ
Ag^{105}	$1/2^-$	41.29 d	$Cd^{106}(\gamma, p)Ag^{105}$	-	7.35
Ag^{105}	$1/2^-$	41.29 d	$Cd^{108}(\gamma, 2n1p)Ag^{105}$	-	25.62
Ag^{105m}	$7/2^+$	7.23 min	$Cd^{106}(\gamma, p)Ag^{105m}$	0.25	7.38
Ag^{105m}	$7/2^+$	7.23 min	$Cd^{108}(\gamma, 2n1p)Ag^{105m}$	0.25	7.38

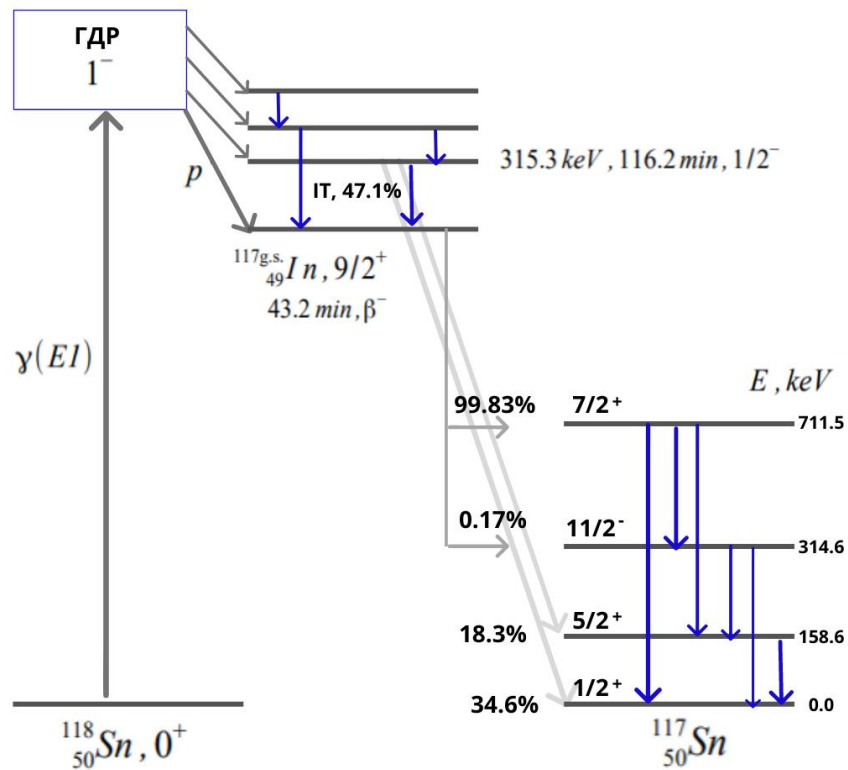
Таблица 5: изотопы, полученные в реакции (γ, n)

Изотоп	J^P	$T_{1/2}$	Реакция	$E_{level}^{m.s.}$ МэВ	Порог, МэВ
Pd^{109}	$5/2^+$	13.7 h	$Pd^{110}(\gamma, n)Pd^{109m}$	-	8.81
Pd^{109m}	$11/2^-$	4.7 min	$Pd^{110}(\gamma, n)Pd^{109m}$	0.189	9.00

Таблица 6: изотопы, полученные в реакции (γ, p)

Изотоп	J^P	$T_{1/2}$	Реакция	$E_{level}^{m.s.}$ МэВ	Порог, МэВ
Rh^{102}	$1^-, 2^-$	207 d	$Pd^{104}(\gamma, 1p1n)Rh^{102}$	-	17.98
Rh^{102}	$1^-, 2^-$	207 d	$Pd^{105}(\gamma, 1p2n)Rh^{102}$	-	25.07
Rh^{102}	$1^-, 2^-$	207 d	$Pd^{106}(\gamma, 1p3n)Rh^{102}$	-	34.63
Rh^{102}	$1^-, 2^-$	207 d	$Pd^{108}(\gamma, 1p5n)Rh^{102}$	-	50.39
Rh^{99}	$1/2^-$	16.1 d	$Pd^{102}(\gamma, 1p2n)Rh^{99}$	-	25.78
Rh^{99}	$1/2^-$	16.1 d	$Pd^{10}(\gamma, 1p4n)Rh^{99}$	-	43.39
Rh^{99}	$1/2^-$	16.1 d	$Pd^{105}(\gamma, 1p5n)Rh^{99}$	-	50.48

Протекание фотопротонной реакции на олове



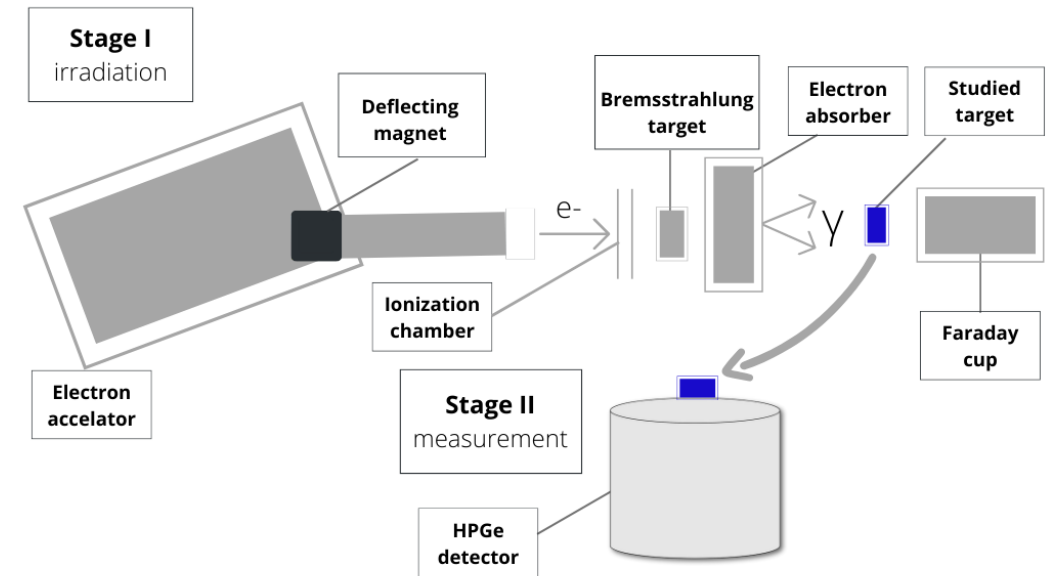
- После вылета протона в ходе реакции (γ, p) образуются различные уровни рассматриваемого ядра In^{117} . Возбужденное состояние снимается путем испускания гамма-кванта с переходом в более низкое по энергии состояние.
- Изомеры могут распадаться как на основное, так и на изомерное состояние. Изомерное состояние распадается путем гамма-переходов на основное состояние с периодом полураспада 116.2 минуты с вероятностью 47%.
- В основном состоянии ядро In^{117} испытывает β -распад с периодом полураспада 43.2 минуты. Но изомер In^{117m} испытывает также и β -распад с вероятностью 53% на уровни олова, в том числе возбужденные, которые распадаются путем вылета гамма-квантов.
- Эти возбужденные состояния распадаются путем вылета гамма-квантов, которые и измеряются в дальнейшем гамма-спектрометром.

Методика эксперимента и обработка данных

- ❑ Все измерения проводились на пучке тормозных электронов с максимальной энергией 55.6 МэВ импульсного разрезного микротрона РТМ55 НИИЯФ МГУ.
- ❑ Для измерения выходов и изомерных отношений продуктов реакций с оловом было проведено 2 измерения с использованием гамма-активационной методики.
- ❑ Для измерения выходов и изомерных отношений продуктов реакций с кадмием было проведено 3 измерения с использованием гамма-активационной методики.
- ❑ Для измерения выходов и изомерных отношений продуктов реакций с палладием было проведено 4 измерения с использованием гамма-активационной методики.
- ❑ Созданные гамма-кванты потом попадали на мишени из естественной смеси олова, кадмия и палладия соответственно.

Схема эксперимента и метод наведенной активности

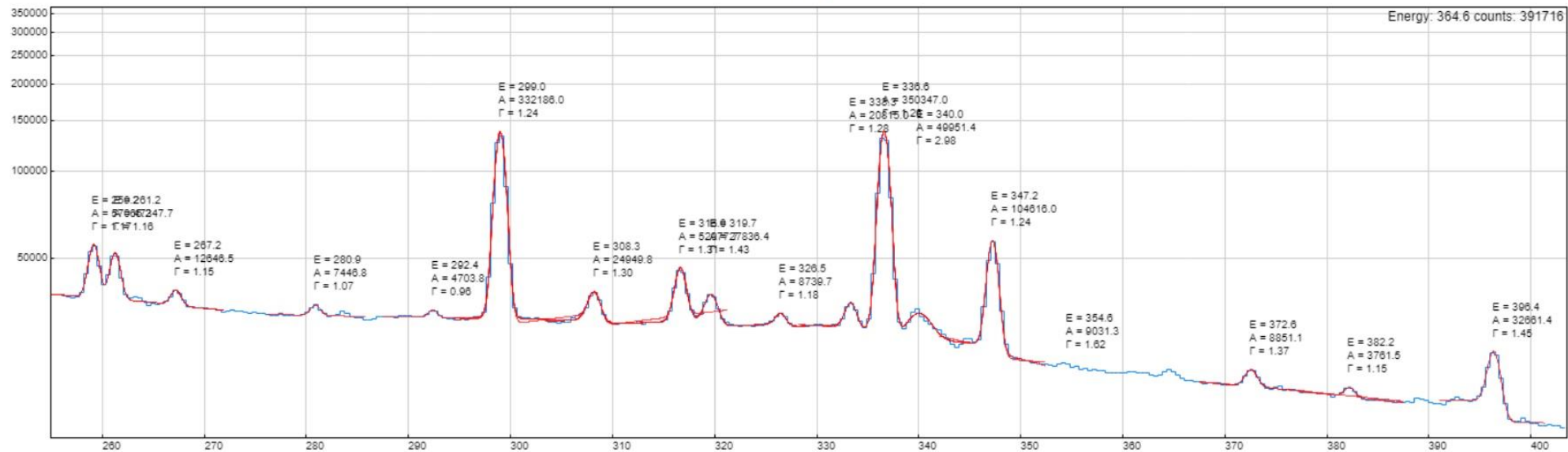
- ❑ Метод наведенной активности основан на использовании полупроводниковых γ -спектрометров высокого разрешения, для того чтобы можно было выделить из общей активности вклад непосредственно отдельных реакций.
- ❑ По спектру фотонов, которые испускаются в результате β -распада, можно точно определить распадающееся ядро, а по числу этих фотонов (по площади соответствующей линии в спектре), имея период полураспада, можно определить наведенную активность.
- ❑ В этом методе осуществляется измерение активности распадов нестабильных ядер, образовавшихся в результате рассматриваемых реакций. Из полученной таким способом активности может быть определен уже выход соответствующей ядерной реакции в ходе облучения.
- ❑ На рисунке приведена схема проведения эксперимента, выполненного с помощью гамма-активационной методики.



Метод наведенной активности

В методе наведенной активности процесс наблюдения за итогами взаимодействий происходит отдельно от процесса облучения. Сначала происходит облучение мишени, в течение этого времени регистрация продуктов реакций не производится, а уже после облучения переносится на детектор.

- При осуществлении облучения для контроля за током пучка в ходе процесса применялась ионизационная камера, расположенная непосредственно перед тормозной мишенью. Напряжение на пластинах ионизационной камеры измерялось с помощью платы АЦП и записывалось на ПК.
- Для измерения γ -спектров наведенной активности использовался германиевый детектор Canberra GC3019. Он является детектором n-типа в форме коаксиального цилиндра. Во время измерений он находится в специальном помещении за пределами ускорительного зала. Для дополнительного улучшения фоновых условий детектор помещен в свинцовую низкофоновую защиту с измерительной камерой, внутри которой располагается во время измерений облученная мишень.



Расчет изомерных отношений

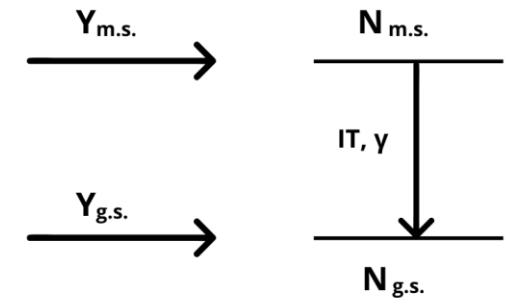
Образующиеся в результате фотоядерных реакций изотопы β - радиоактивны и приводят к образованию ядер в возбужденном состоянии. Возбужденные уровни образованного ядра распадаются с испусканием γ - квантов. Образование исследуемых изотопов может происходить и в ходе фотоядерной реакции, и в результате распада другого изотопа.

На рисунке показан процесс образования радиоактивного изотопа в случае этих каналов.

Сам же выход рассчитывался по следующей формуле:

$$Y(E_{exp}^m) = \frac{N_{10}}{e^{-\lambda t_1} \int_0^{t_1} I(t) e^{\lambda t} dt}, \text{ где } N_{10} = \frac{S}{k(e^{-\lambda_1(t_2-t_1)} - e^{-\lambda_1(t_3-t_1)})}$$

где S – площадь фотопика, соответствующего гамма- переходу при распаде конечного ядра за время измерения, t_1 – время облучения; t_2 – время начала измерения, t_3 – время окончания измерения; λ_1 – постоянная распада; $k = I_\gamma E_\gamma$ – коэффициент, зависящий от эффективности регистрации γ -квантов с определенной энергией E_γ и их квантового выхода I_γ .



➤ После определения выходов рассчитывались изомерные отношения:

$$IR = \frac{Y_{m.s.}}{Y_{g.s.}}$$

Изомерные отношения в фотоядерных реакциях на Sn, Pd и Cd

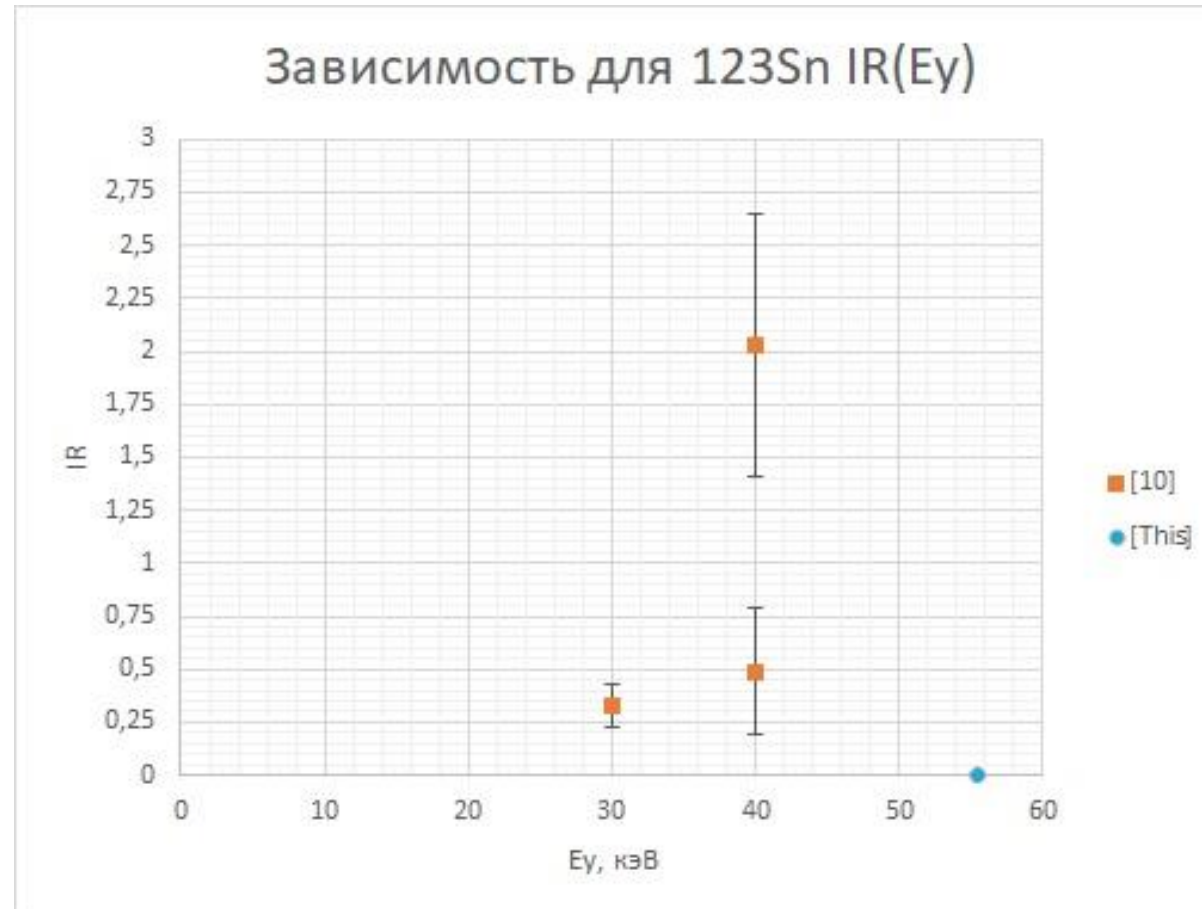
В ходе работы рассчитывались изомерные отношения выходов фотопротонных и фотонейтронных реакций на исследуемых ядрах.

➤ В таблице приведены полученные изомерные отношения в ходе эксперимента с использованием мишеней из естественной смеси, которые, в дальнейшем сравнивались с результатами работ других авторов.

Изотоп	Тип основной реакции	IR	$J^P(\text{g.s., m.s.})$
In^{111}	$Sn^{112}(\gamma, p)In^{111}$	$0,1328 \pm 0,0014$	$\frac{9^+}{2}, \frac{1^-}{2}$
In^{117}	$Sn^{118}(\gamma, p)In^{117}$	$5,82 \pm 0,13$	$\frac{9^+}{2}, \frac{1^-}{2}$
In^{119}	$Sn^{120}(\gamma, p)In^{119}$	$0,166 \pm 0,006$	$\frac{9^+}{2}, \frac{1^-}{2}$
Sn^{123}	$Sn^{124}(\gamma, n)Sn^{123}$	$0,00030 \pm 0,00001$	$\frac{11^-}{2}, \frac{3^+}{2}$
Cd^{115}	$Cd^{116}(\gamma, n)Cd^{115}$	$0,130 \pm 0,003$	$\frac{1^+}{2}, \frac{11^-}{2}$
Ag^{105}	$Cd^{106}(\gamma, p)Ag^{105}$	$2,07 \pm 0,09$	$\frac{1^-}{2}, \frac{7^+}{2}$
Pd^{109}	$Pd^{110}(\gamma, n)Pd^{109}$	$0,178 \pm 0,002$	$\frac{5^+}{2}, \frac{11^-}{2}$
Rh^{99}	$Pd^{101}(\gamma, pn)Rh^{99}$	$0,721 \pm 0,005$	$\frac{1^-}{2}, \frac{9^+}{2}$
Rh^{102}	$Pd^{104}(\gamma, pn)Rh^{102}$	$0,34 \pm 0,05$	$1^-, 2^-; \frac{9^+}{2}$

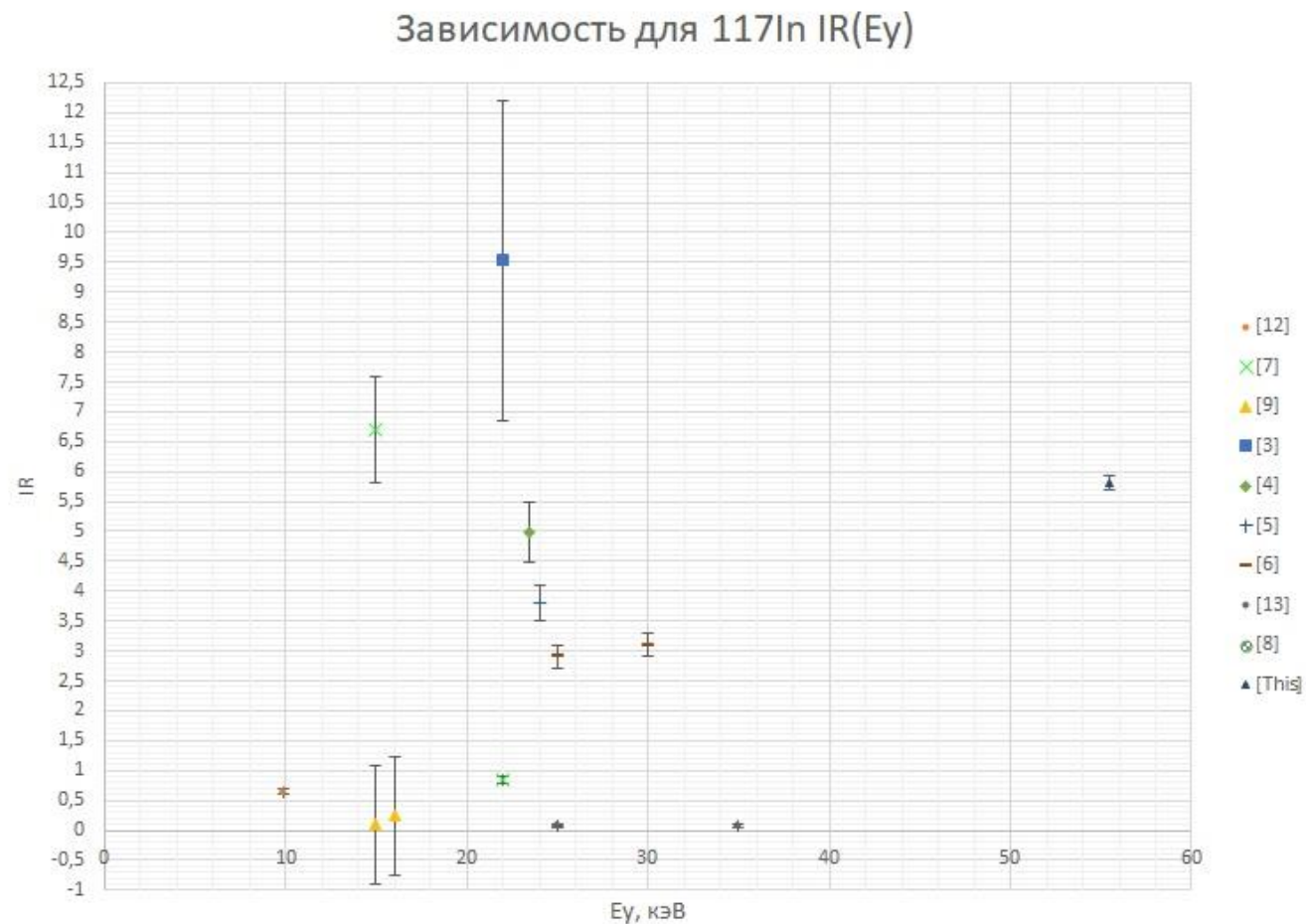
Экспериментальная зависимость для $Sn^{123g.m.}$

Для зависимости изомерного отношения от энергии тормозного излучения на ядрах этого изотопа трудно сделать однозначный вывод, поскольку экспериментальные данные находятся в плохом согласии и их слишком мало, чтобы сделать качественные выводы о поведении зависимости изомерного отношения от энергии облучения. У Sn^{123} $J_m^P = \frac{3}{2}^+$, а $J_g^P = \frac{11}{2}^-$, отсюда ожидается уменьшение изомерного отношения с увеличением энергии.



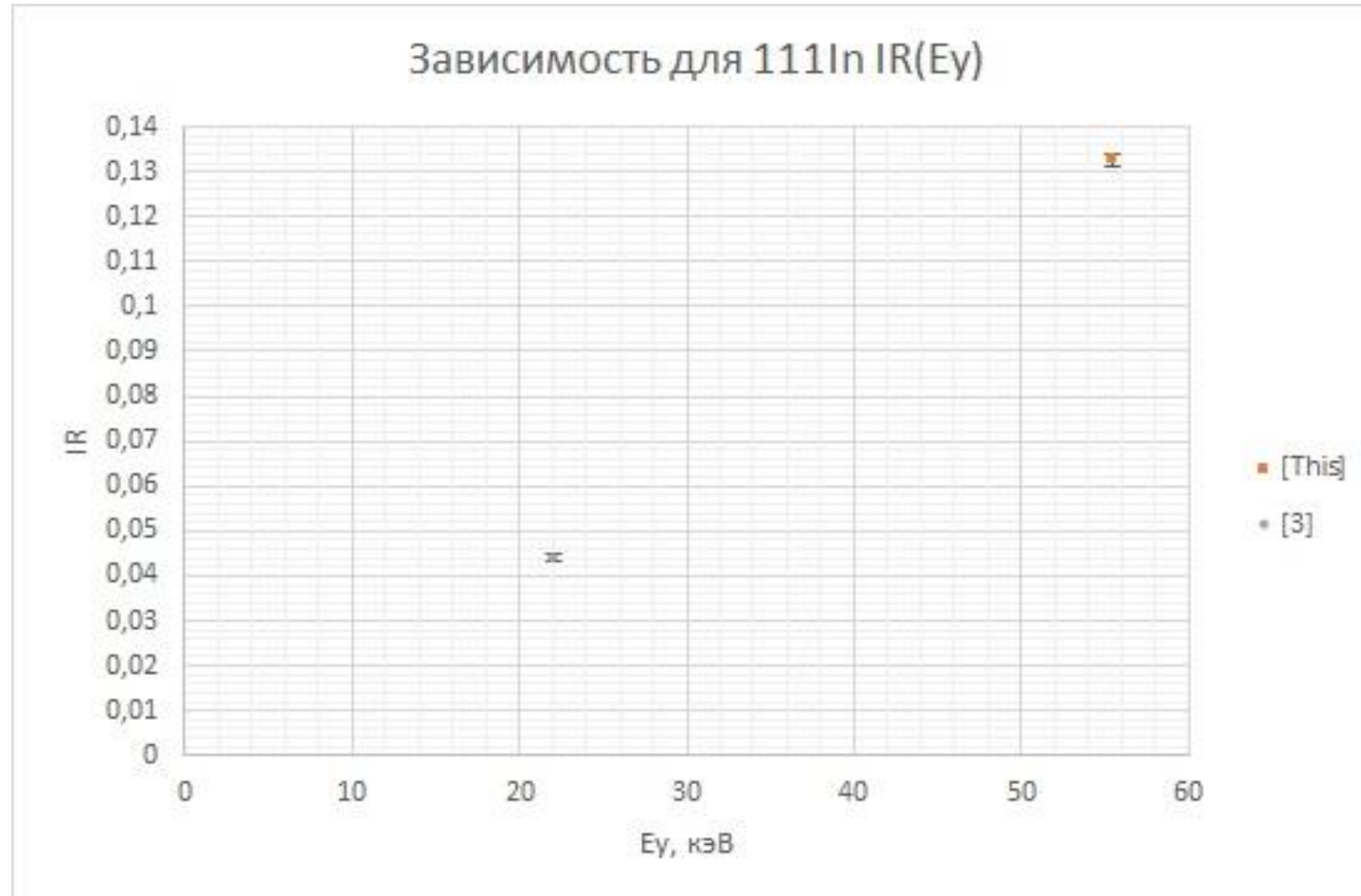
Экспериментальная зависимость для $In^{117g.m.}$

- Экспериментальные данные по изомерным отношениям, имеющиеся в литературе для этого изотопа, сильно отличаются и также плохо согласуются друг с другом.
- Если отдельно рассматривать данные других работ, также можно заметить, что для них характерен неспадающий характер $IR(E\gamma)$. И в целом такая картина сохраняется для целого ряда работ. Есть основания полагать, что такая зависимость связана с вовлечением в процесс все новых каналов этого изотопа с большей пороговой энергией.
- Также стоит отметить, что для естественной смеси вклад в образование In^{117} вносит не только основная реакция, но также и реакция $Sn^{119}(\gamma, 1p1n)In^{117}$, где пороговая энергия 16.5 МэВ, поэтому наблюдается такое плохое согласие результатов между собой.



Экспериментальная зависимость для In^{111}

Для этого изотопа наблюдается расхождение нашего результата на порядок в сравнении с данными работы [3] даже с учетом погрешностей измерений, но стоит отметить, что для качественного исследования характера поведения $IR(E\gamma)$ экспериментальных данных мало.



Экспериментальная зависимость для $In^{119g.m.}$

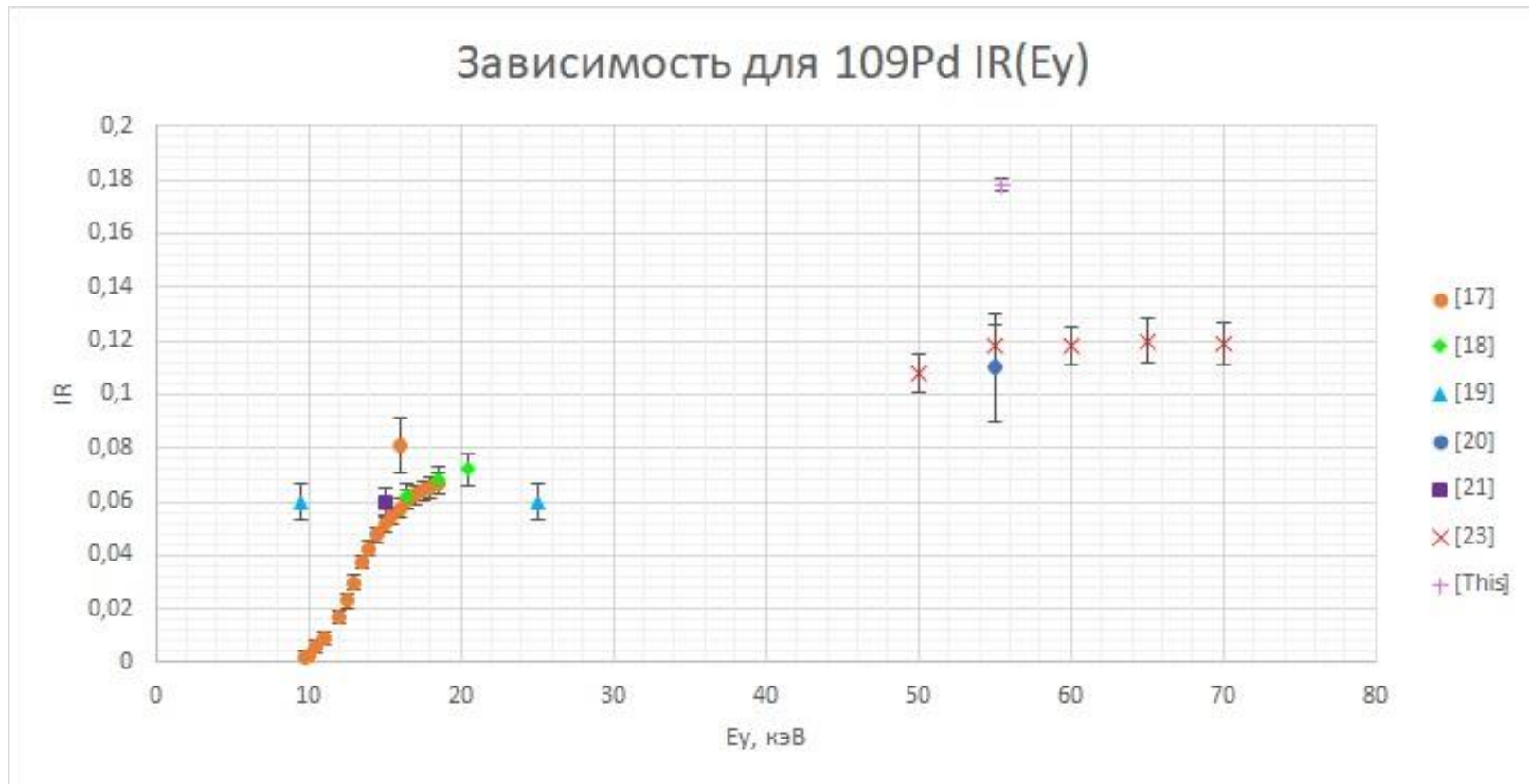
- Для этого изотопа наблюдается хорошее согласие с результатами других работ.
- Существенное разногласие с работой [5] может быть объяснено использованием в ней обогащенного образца, в то время как в нашей работе и, например, работе [13], с которой хорошее согласие нашего результата, используется мишень из естественной смеси изотопов.



Экспериментальная зависимость для $Pd^{109g.m.}$

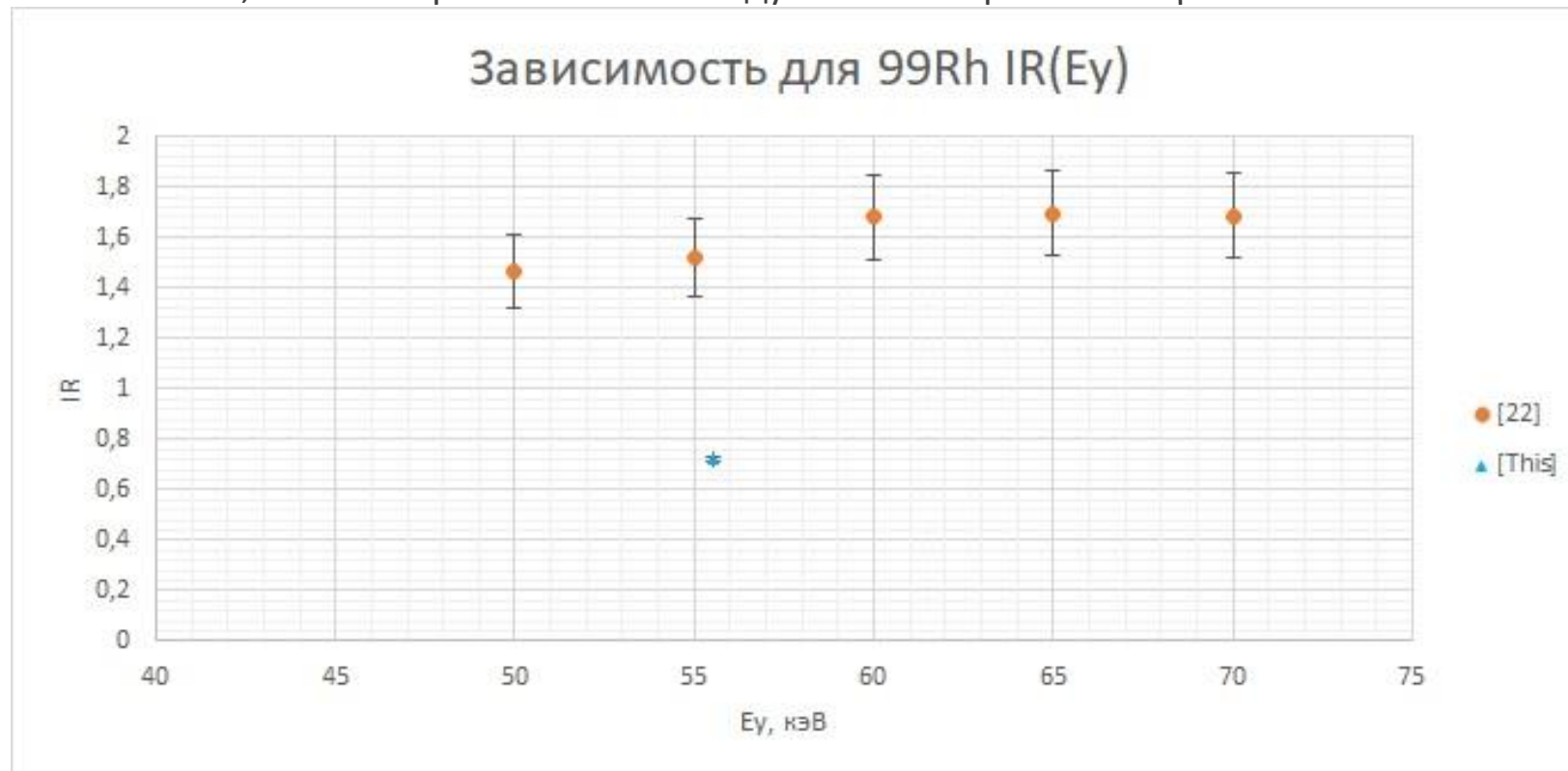
□ При расчете выхода Pd^{109} в основном состоянии необходимо учитывать также распад и Rh^{109} , образующегося в реакции (γ, p) на Pd^{109} и испытывающего β –распад с образованием Pd^{109} . Однако его период полураспада всего 80 секунд, а потому наблюдать его в спектре не представилось возможным. Значит, можно утверждать, что его выход включен в выход Pd^{109} , что могло незначительно, но повлиять на итоговый результат, поэтому наблюдается небольшое расхождение. На выход изомера при этом это не влияло.

Наблюдаемые на графиках выходы на плато выше энергий ГДР можно объяснить возрастающим вкладом прямых процессов.



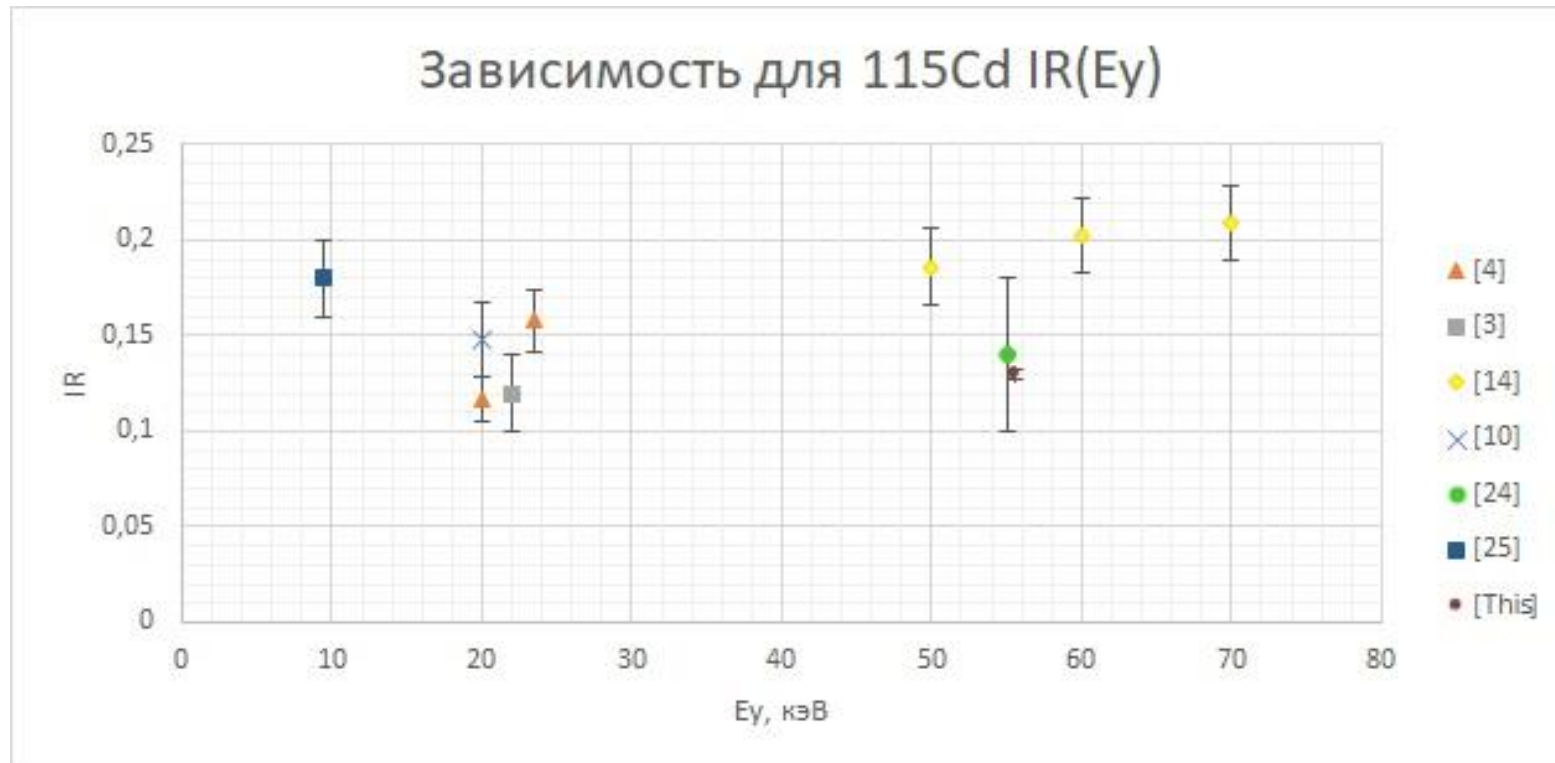
Экспериментальная зависимость для $Rh^{99g.m.}$

Для Rh^{99} наблюдается небольшое расхождение результата, полученного в ходе данной работы, и результатов другой работы. Некое отклонение можно связать с тем, что в работе, с которой производится сравнение, использовалась нестандартная свинцовая тормозная мишень, оптимизированная по выходу высокоэнергетичных γ -квантов.



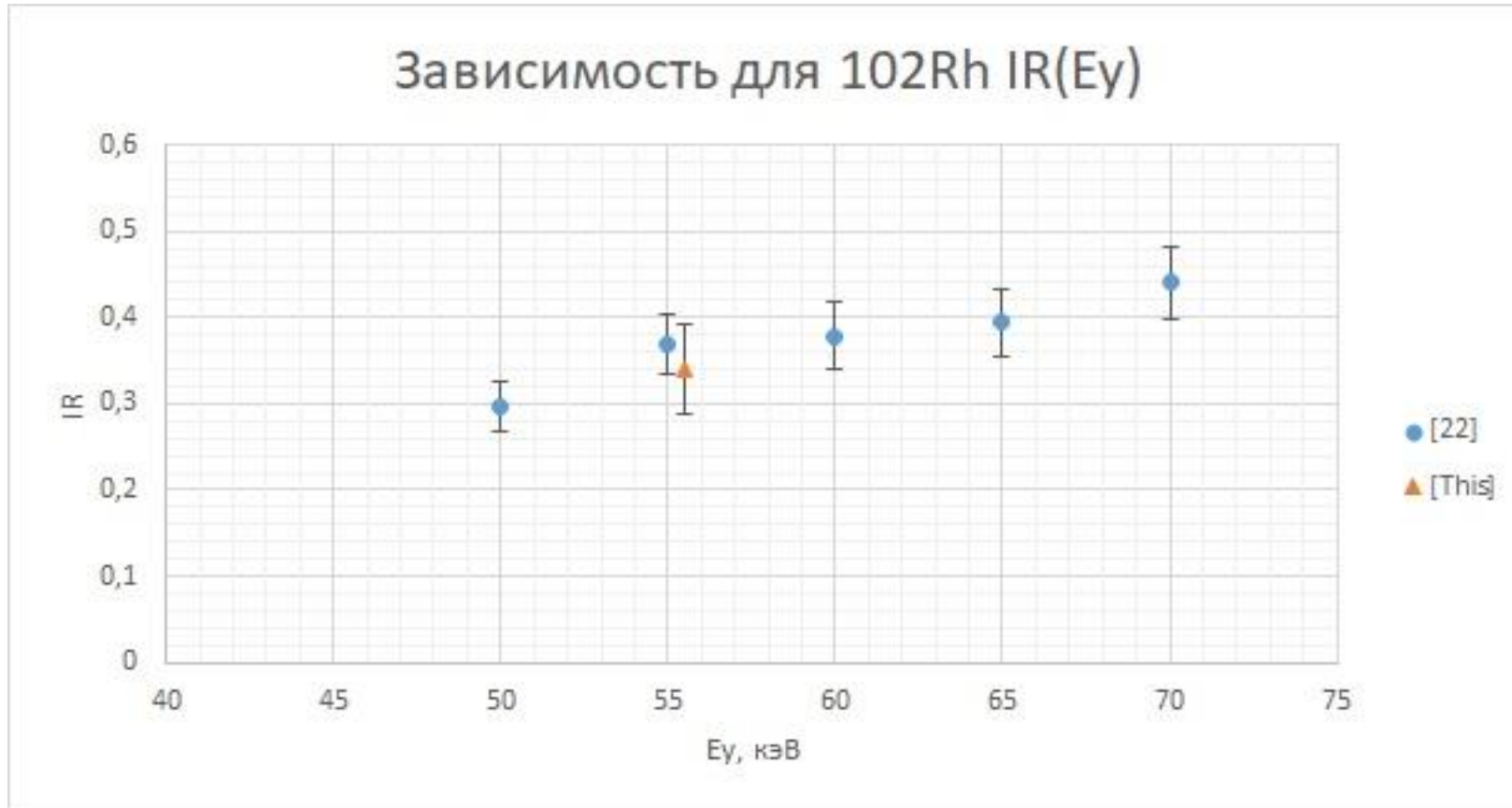
Экспериментальная зависимость для $Cd^{115g.m.}$

Для изотопов Pd^{109} и Cd^{115} отчетливо прослеживается увеличение изомерного отношения с увеличением энергии тормозного излучения. И в одном, и в другом случае спин-четность основного состояния превосходит спин-четность изомерного состояния. То есть, с ростом энергии облучения заселяются высоколежащие уровни, имеющие больший спин. А поскольку спин изомера больше спина основного состояния, то увеличивается и вероятность распада возбужденных уровней на изомерное состояние.



Экспериментальная зависимость для $Rh^{102g.m.}$

Для Rh^{102} наблюдается хорошее согласие результатов, полученных в нашей работе, с результатом другой работы.



Заключение

- ❑ Сравнение данных для разных изотопов отражает, что практически всегда изомерные отношения составляют величину больше единицы, когда основное состояние имеет более высокий спин, чем изомерное, и меньше единицы, если спин изомерного состояний значительно больше спина основного. Отсюда видно, что вероятность заселения состояний с более высоким спином ниже, чем вероятность заселения состояний с более низким спином, и растет с увеличением энергии тормозных гамма-квантов.
- ❑ Сделан вывод, что на большинстве изотопов прослеживается закономерность к увеличению выхода состояний с большим спином, что объясняется также ростом энергии вылетевших частиц. Данные, полученные в эксперименте, по большей части согласуются с предыдущими экспериментальными результатами.