

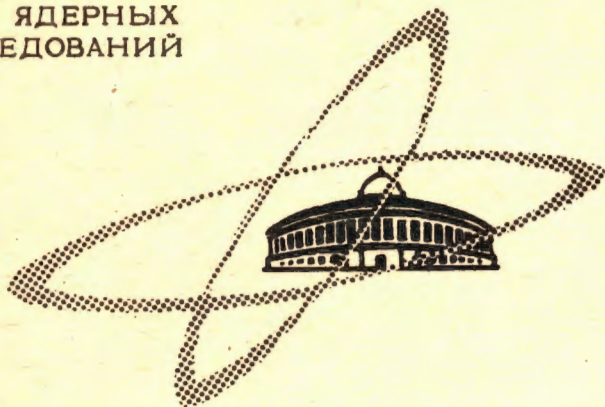
С 346.36

Б-903

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2735



Ю.Г. Будяшов, В.Г. Зинов, А.Д. Конин, А.И. Мухин

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ (2P—1S)-ПЕРЕХОДОВ
МЮОНОВ В АТОМАХ ОТ СЕРЫ ДО ХРОМА

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1966

P-2735

Ю.Г. Будяшов, В.Г. Зинов, А.Д. Конин, А.И. Мужик

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ (2P-1S) -ПЕРЕХОДОВ
МЮОНОВ В АТОМАХ ОТ СЕРЫ ДО ХРОМА

4301/3 нр.



Энергии $(2P \rightarrow 1S)$ -переходов отрицательных мюонов в мезоатомах различных ядер были тщательно и довольно подробно измерены в нескольких работах^{/1-4/}. Теоретические расчеты Кречко и Пустовалова^{/5,6/}, выполненные на основе фермиевской модели однородного распределения электрического заряда в ядре с параметрами, полученными из данных по рассеянию на них электронов, а также расчеты Пялига^{/7/} в общем дают хорошее согласие с экспериментом. Тем не менее, ряд экспериментальных значений $E(K_\alpha)$ - энергии $(2P-1S)$ -переходов заметно отличался от теоретических расчетов. Кроме того, наблюдалось расхождение результатов в измерениях разных авторов. В связи с этим нами были проведены измерения $E(K_\alpha)$ в атомах, начиная от серы до кальция, включая газообразный аргон, и в хrome.

Методика измерений

При точном измерении энергий мезоатомных переходов в ядрах с помощью NaI сцинтилляционного гамма-спектрометра наряду с обычными факторами - дрейф всей аппаратуры со временем и ее нелинейность - приходится еще учитывать и смещение положения фотопика в зависимости от загрузки кристалла. Применение системы стабилизации усиления с опорой на радиоактивный источник или на световую вспышку устраняет дрейф аппаратуры и в обычных условиях - смещение фотопика от загрузки. Таким способом проведены прецизионные измерения энергии многих гамма-переходов^{/8/}.

Синхротрон является, однако, импульсным источником излучения, и здесь недостаточно ориентироваться только на интегральную загрузку кристалла. В связи с этим, в отличие от других работ, измерение энергии мезорентгеновских переходов мюонов нами производилось при одновременной регистрации гамма-квантов от калибровочного источника в пределах длительности импульса частиц от ускорителя. Одновременная запись спектров калибровочного и мезорентгеновского излучения производилась при единой системе регистрации в разные участки памяти анализатора, что повышало надежность измерений.

В опытах использовался чистый пучок мюонов, получаемый с помощью мю-мезонного тракта^{9/} от синхротрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Геометрия опыта и блок-схема электроники приведены на рис. 1. Счетчики 1, 2, 3 и 4 выделяли остановки мюонов в мишени. Мезорентгеновское излучение регистрировалось счетчиком 5 с кристаллом NaJ, имевшим линейные размеры 6 76 x 76 мм. Одновременность поступления квантов мезорентгеновского излучения, зарегистрированных счетчиком 5, с остановками мюонов в мишени выделялась схемой совпадений "а", которая имела время разрешения $2\tau = 60$ нсек.

На небольшом расстоянии от кристалла NaJ вне пучка стоял счетчик 6 с маленьким пластическим сцинтиллятором, на котором закреплялся калибровочный источник. В качестве калибровочных выбирались источники бета-излучения, дающие переходы на возбужденные уровни дочерних ядер с последующим быстрым переходом в основное состояние. Бета-частицы регистрировались счетчиком 6. Дополнительная схема совпадений "б", близкая по всем характеристикам к схеме "а", позволяла выделить случаи бета-гамма совпадений в счетчиках 6 и 5 (NaJ).

Сигнал с диода фотоумножителя счетчика 5 усиливался промышленным спектрометрическим усилителем УИС-2, имеющим фронт нарастания 0,5 мксек. Двухполярный импульс с выхода усилителя поступал непосредственно на сигнальный вход 256-канального анализатора^{10/}. Память анализатора была разбита на две группы по 128 каналов. Это давало нам возможность с помощью системы внешнего управления вести одновременную и независимую запись двух спектров импульсов.

Общая последовательность работы электроники была следующей. При совпадении по времени гамма-кванта, зарегистрированного кристаллом NaJ, с остановкой мюона в мишени схема совпадений "а" вырабатывает два импульса. Один из них через сумматор поступает на главный вход внешнего управления анализатора и разрешает провести анализ амплитуды импульса со счетчика 5. Другой сигнал со схемы совпадений "а" одновременно с первым поступает на дополнительный вход внешнего управления анализатора и разрешает запомнить анализируемый импульс во второй группе памяти из 128 каналов. Бета-гамма совпадение сигналов счетчиков 6 и 5 (NaJ) от калибровочного источника приводит к срабатыванию схемы совпадений "б". Импульс с ее выхода через сумматор поступает на главный вход внешнего управления анализатора. На дополнительный вход внешнего управления при этом ничего не подается, что означает, что анализируемый импульс будет запоминаться в первой группе памяти из 128 каналов. В качестве опорных источников применялись Na^{22} и Sc^{46} . В большинстве случаев использовался Na^{22} , дающий две хорошо разделенные

гамма-линии - 1274 кэв^{18/} и аннигиляционную - с энергией 511 кэв. Источники выбирались слабыми, чтобы не очень сильно дополнительно увеличивать загрузку кристалла NaJ. Расстояние между источником и кристаллом подбиралось такое, чтобы скорости записи в память анализатора спектров измеряемого и калибровочного были близки. Использование бета-гамма совпадений позволяло получать на анализаторе чистый спектр калибровочных гамма-линий при наличии большого фона в экспериментальном зале ускорителя.

Влияние импульсного характера фонового излучения на положение фотопиков изучалось отдельно. Для этого схема внешнего управления анализатором была изменена так, что спектр калибровочного источника Na^{22} записывался в первую группу памяти из 128 каналов в моменты импульсов тока частиц от синхроциклотрона, а во вторую - в моменты пауз. Оказалось, что в этих условиях фотопики сдвинуты друг относительно друга примерно на 0,5 процента. Поэтому во всех рабочих измерениях запись поступающих сигналов в память анализатора проводилась только в момент импульса частиц от ускорителя.

Необходимо еще раз отметить, что одновременная запись гамма-линий калибровочного источника и исследуемого спектра является очень полезной. Оказывается сильно подавленным эффект нестабильности аппаратуры, так как все гамма-кванты одновременно проходят через общий тракт, начиная с кристалла NaJ, усиления сигналов и кончая их сортировкой по каналам анализатора. Здесь нужно обращать внимание только на то, чтобы схемы совпадений "а" и "б" имели одинаковое время разрешения и одинаковое согласование по времени приходящих на их входы сигналов. В противном случае излишне "хорошее" время разрешения может привести к падению эффективности регистрации некоторых участков спектра и, таким образом, к его искажению. Многократные повторные измерения, выполненные в разные дни, показали, что результаты воспроизводятся с точностью $2 \cdot 10^{-3}$.

Имеющаяся возможность одновременной записи амплитудных спектров в две группы анализатора облегчает проверку линейности аппаратуры в реальных условиях опыта. Связано это с тем, что для калибровки нужно записать, как правило, 3-4 реперные гамма-линии. Дальнейшая аккуратная расшифровка такого суммарного спектра встречается, однако, затруднения, связанные со сложным характером спектра каждой линии и их взаимным перекрытием. С помощью же простой управляющей системы гамма-спектры от разных источников могут быть одновременно записаны в разные группы памяти амплитудного анализатора, что исключает взаимные помехи. Так было сделано нами для источников Na^{22} и Sc^{46} .

Линейность системы, начиная с усилительного тракта, проверялась также с по-

мощью ртутного генератора точной амплитуды ($NZ = 250$), позволявшего проводить градуировку с точностью до 0,1%.

Общая нелинейность всей системы не превышала 0,5 процента.

Результаты измерений

Энергии ($2P-1S$) -переходов мюонов определялись в атомах S, Cl, Ar, K, Ca и Sr. Толщина мишеней (кроме аргона) выбирались равной 3-5 г/см². В опыте с хлором использовалась мишень из LiCl, а с калием - из KOH. Измерения энергии переходов мюонов в аргоне выполнены со специальной газовой мишенью. Давление газа изменялось от 80 до 10 атм. Для каждой мишени было сделано от 3 до 11 серий измерений. Измерения проводились в разные дни. Каждая серия набиралась около 20 минут.

Основная проблема при обработке полученных спектров - достаточно корректно выделить фотопик. Способ, принятый нами, аналогичен работе^{/3/} и наглядно демонстрируется на рисунках 2 и 3. Мы думаем, что при измерении энергии гамма-квантов с помощью кристалла NaJ в нашем случае более громоздкие способы обработки едва ли сильно повысят точность результатов. Важно, что положение калибровочных гамма-линий и рентгеновских переходов определялось одинаковым способом. Правда, рентгеновские спектры переходов отрицательных мюонов в атомах имеют существенно более сложную структуру. Так, у хрома интенсивность высших переходов составляет около 30% всех переходов. Вклад этих линий грубо оценивался и вычитался. После выделения чистого фотопика K_{α} -линия, центр тяжести его находился с помощью обычной математической процедуры.

Результаты отдельных серий измерений $E(K_{\alpha})$ собраны во второй колонке таблицы 1. В третьей колонке дан среднеквадратичный разброс значений энергии от средней величины σ , а в четвертой - поправка на нелинейность анализатора - δ . Все величины приведены в кэв.

Учитывая энергетическое разрешение нашего кристалла NaJ, точность графических расчетов, точность калибровки шкалы анализатора и реальный разброс серий, точность измерений энергии $E(K_{\alpha})$ мы оцениваем около 0,3%. Статистическая точность индивидуальных измерений высокая и в окончательную ошибку вклада не дает.

Окончательные результаты измерений энергий переходов мюонов в атомах представлены в таблице 2 совместно с экспериментальными данными других работ и теоретическими расчетами. Видно, что результаты настоящей работы и работ^{/3,4/} хорошо согласуются между собой и с теоретическими расчетами. Хочется, однако, обратить внимание, что в настоящее время экспериментальная точность определения энергии мезорентгеновских переходов превышает точность расчетов, которая не лучше 0,5%

и ограничена неопределенностью исходных параметров распределения заряда внутри ядра, полученных из опытов по рассеянию электронов^{/11/}. В связи с этим, вероятно, более целесообразно в настоящее время эти параметры получать из совместного анализа данных по электронному рассеянию и по энергии мезорентгеновских переходов, которые в дальнейшем легко будет уточнить при использовании германиевых детекторов.

Т а б л и ц а 1

Элемент	E(K _α)					σ	δ
S	517,8	517,7	517,2			0,3	0,1
Cl	572,9	573,4	573,3	572,1	573,8	0,6	1,0
Ar	643,2 640,3	642,1 642,6	642,5 641,5	642,2 642,9	644,0 642,5	643,4	1,0 2,1
K	708,1	706,5	708,7	711,0	709,4	709,2	1,5 2,0
Ca	781,9	782,2	780,9				0,3 3,3
Cr	1083	1089	1088	1086 ^{х)}			2,7 1,5

х) Для калибровки использовался Sc⁴⁶ - (888,3 ± 0,4) кэВ.
 (1119,2 ± 0,6) кэВ^{/12/},
 в остальных случаях Na²² - (511,0 ± 0,0) кэВ; (1274,3 ± 1,3) кэВ^{/8/}.

Т а б л и ц а 2

Элемент	Эта работа	Пустовалов /6/	Андерсен и др. /1,2/	Квитманн и др. /3/	Бьеркланд и др. /4/
S	517,8±1,5	515	522,0±1,2	517,2±3	
Cl	573,1±1,7	578	582,8±1,3		
Ar	642,5±1,9	643			
K	708,8±2,2	711	721,5±5,7	714,1±4	
Ca	781,7±2,3	783	790,8±1,6	782,8±3	780,7±0,8
Cr	1086±3,2	1086	1084,4±4,3		

Л и т е р а т у р а

1. C.S. Johnson, E.P. Hincks and H.L. Anderson. Phys. Rev. 125, 2102 (1962).
2. H.L. Anderson, C.S. Johnson and E.P. Hincks. Phys. Rev., 130, 2468 (1963).

3. D. Oultmann, R. Engfer, U. Hegel, P. Brix, G. Backenstoss, K. Goebel and B. Stadler. Nucl. Phys., 51, 609 (1964).
4. J.A. Bjorkland, S. Raboy, C.C. Trill, R.D. Ehrlich, and R.J. Powers. Nucl. Phys., 69, 161 (1965).
5. G.E. Pustovalov and M.S. Krechko. Nucl. Phys., 19, 337 (1960).
6. Г.Е. Пустовалов. ЖЭТФ, 43, 2171 (1962).
7. P. Pallt. Phys. Lett., 11, 82 (1964).
8. K.W. Marlow. Nucl. Phys., 61, 13 (1965).
9. Ю.М. Грашин, Б.А. Долгошеин, Б.Г. Кириллов-Угрюмов, А.А. Кропин, В.С. Роганов, А.В. Самоёлов, С.В. Сомов. АЭ, 18, 384 (1965).
10. В.А. Казаков, В.В. Монсеева, А.Н. Синаев, Цао Го-чжен. Препринт ОИЯИ 1843, Дубна 1965.
11. R. Hofstadter, Rev. Mod. Phys., 28, 214 (1956).
12. A.A. Bartlett, J.R. Keith and W.D. King. Bull. Am. Soc., 8, Q 10 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел
7 мая 1966 г.

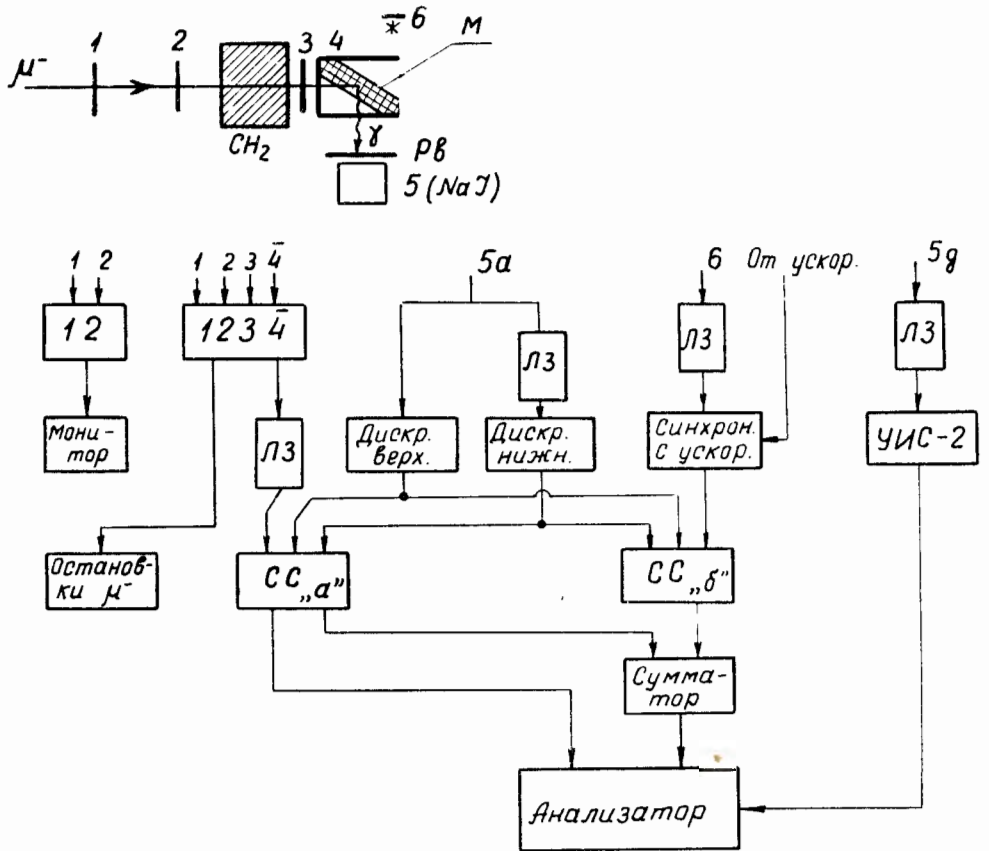


Рис. 1. Геометрия опыта и блок-схема электроники.

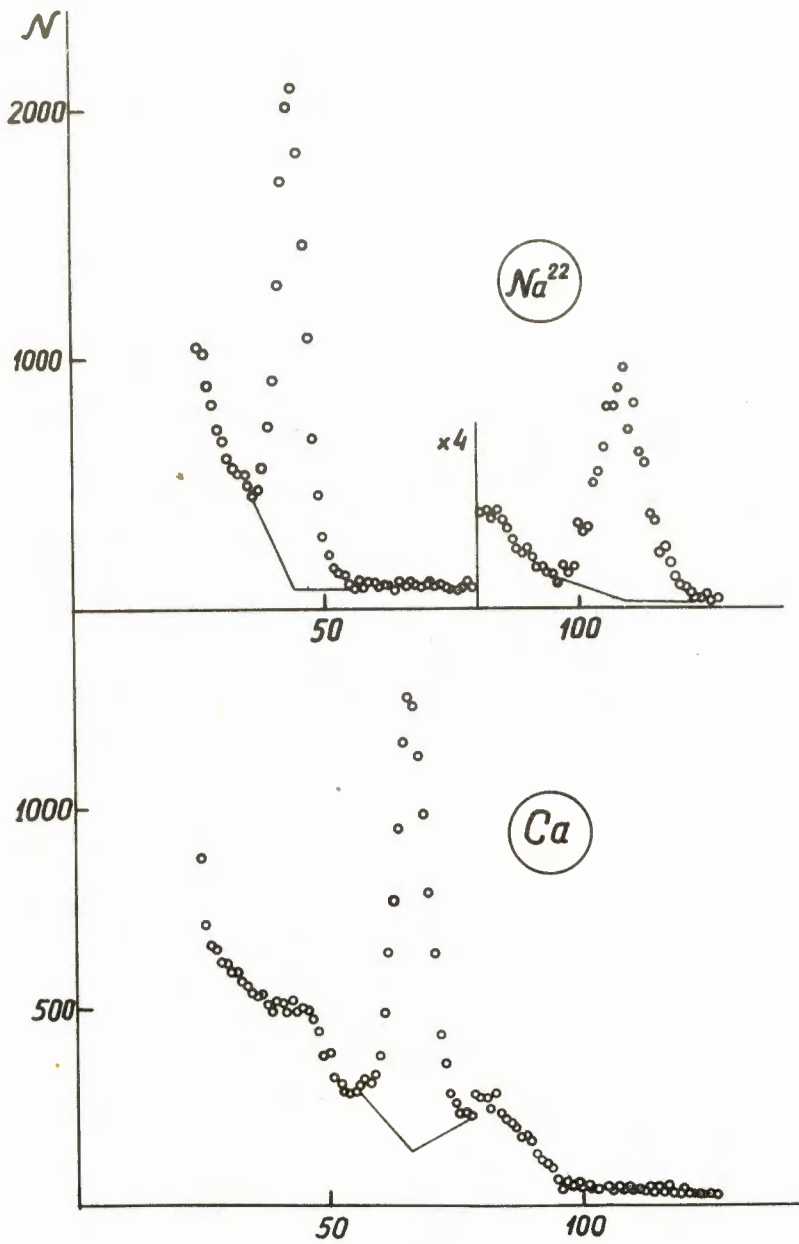


Рис. 2. Спектр К-серии кальция и калибровочный спектр Na^{22} .

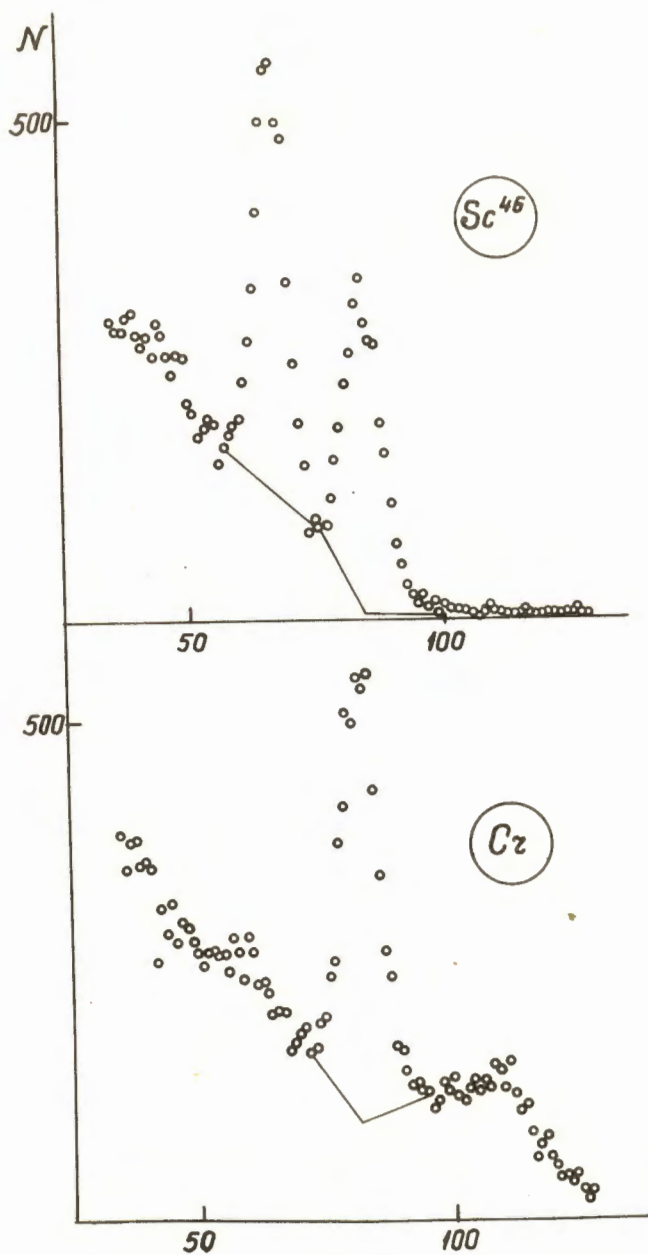


Рис. 3. Спектр К-серии хрома и калибровочный спектр Sc^{46} .