

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Б-817
4046/2-78

18/ix-78

P6 - 11608

Н.А.Бонч-Осмоловская, С.Бацев, Ц.Вылов,
К.Я.Громов, Ю.Ю.Лобанов

СХЕМА РАСПАДА ^{169}Lu

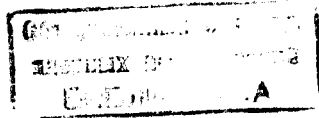
1978

P6 - 11608

Н.А.Бонч-Осмоловская, С.Бацев, Ц.Вылов,
К.Я.Громов, Ю.Ю.Лобанов

СХЕМА РАСПАДА ^{169}Lu

Направлено в "Известия АН СССР" /сер. физ./



Бонч-Осмоловская Н.А. и др.

P6 - 11608

Схема распада ^{169}Lu

На основе измерений спектров γ -лучей, электронов внутренней конверсии, γ - γ -совпадений, позитронного излучения проанализирована схема распада ^{169}Lu , известная из литературы, и построена новая часть схемы.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Bonch-Osmolovskaya N.A., et al.

P6 - 11608

Decay Scheme of ^{169}Lu

On the basis of measurements of spectra of γ -rays, electrons of internal conversion, γ - γ -coincidences, positron the ^{169}Lu the decay scheme was analysed, known from literature. A new section of the scheme was constructed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

В части первой настоящей работы были опубликованы^{/1/} экспериментальные результаты исследования спектров γ -лучей, электронов внутренней конверсии, спектров γ - γ -совпадений при распаде ^{169}Lu . Данные исследования позитронного излучения были приведены в^{/2/}.

Вторая часть настоящей работы посвящена построению схемы распада ^{169}Lu на основе полученных в^{/1,2/} экспериментальных сведений. Проанализирована схема распада ^{169}Lu , предложенная в^{/3-6/}, а также построена новая часть схемы, главным образом на базе измерений γ - γ -совпадений, уточненных значений энергий и мультипольностей γ -переходов.

В результате в области низковозбужденных состояний уточнены энергии уровней и способ их разрядки, а также введен уровень $7/2^+ 832$ кэВ /рис. 1/. В области выше 1,1 МэВ схема претерпела существенные изменения /рис. 2,3/. Из известных ранее состояний^{/3-5/} подтвердились только пять наиболее сильно заселяемых: 1449, 1463, 1689, 1781 и 1908 кэВ. Не нашли достаточных аргументов для подтверждения состояния 1204, 1311, 1353, 1429, 1616, 1909, 2096, 2136, 2237, 2246, 2286, 2296 кэВ вследствие противоречия данным по γ - γ -совпадениям, нарушения энергетического баланса, несовместимости мультипольностей γ -переходов, разряжающих определенный уровень.

В области выше 1,1 МэВ построена схема распада ^{169}Lu , включающая пятнадцать новых состояний. Построение схемы распада шло в два этапа. Сначала вводились уровни, следующие из результатов γ - γ -совпадений. Так, были введены состояния 1283, 1540, 1565, 1554,

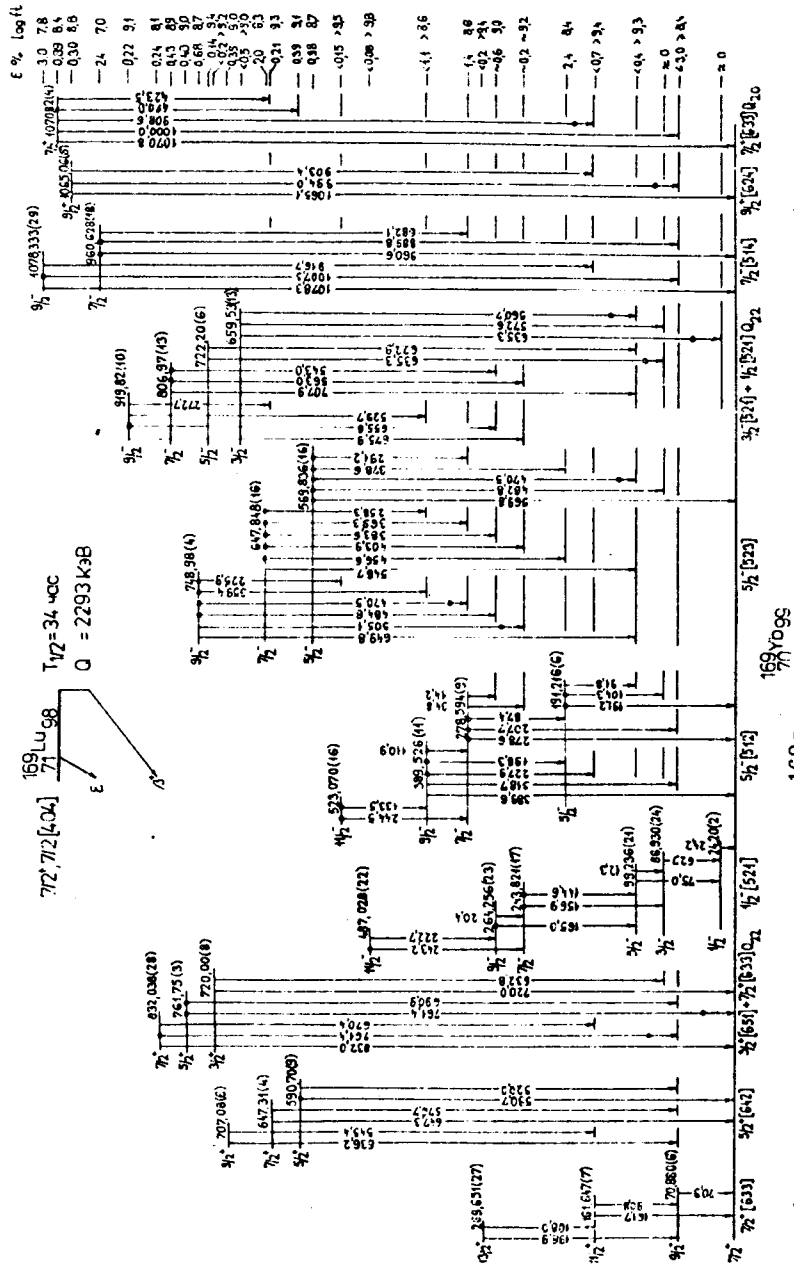


Рис. 1. Фрагмент схемы распада ^{169}Lu /энергий уровней до 1,1 МэВ/. Круги на линии уровня означают, что данный γ -переход наблюдается в каскадах γ - γ -совпадений; кружок на линии γ -перехода соответствует двойному расположению γ -перехода.

1658, 1707, 1708, 1716, 1954, 2100 кэВ, которые вместе с уровнями, приведенными на рис. 1, и подтвержденными γ - γ -совпадениями известными состояниями 1449, 1463, 1689, 1781, 1908 кэВ составили опорную часть схемы. Далее, используя массив опорных уровней и массив неразмещенных γ -переходов /а также γ -переходов, чье размещение было сомнительно/, мы приступили ко второму этапу построения схемы с помощью ЭВМ ЕС-1040 по программе "Decay", составленной одним из авторов данной статьи /Ю.Ю.Лобановым/. Входные данные "Decay" включают в себя массив опорных уровней с указанием их спинов и энергий с погрешностями и массив γ -переходов с указанием их интенсивностей, мультипольностей и энергий с погрешностями. Поскольку оба массива /опорных уровней и γ -переходов/ были велики, мы получили в результате второго этапа работы очень большое количество /около ста/ "кандидатов" в уровни ^{169}Yb . Из них мы отобрали только пять /1199, 1466, 1732, 1973, 2138 кэВ/, близкие по энергиям к которым наблюдаются в тех или иных ядерных реакциях (d, p), (d, t) ^{7/}; (p, t) ^{8/}; (n, γ) ^{9-12/} и которые имеют не менее четырех связей γ -переходами с опорными уровнями. В целом в схеме распада ^{169}Lu остались неразмещенными γ -переходы, суммарная интенсивность которых не более 7% на распад ^{169}Lu .

Построив схему распада ^{169}Lu , мы вычислили заселенность уровней ^{169}Yb и вероятность β -переходов на них /рис. 1-3/. Полная интенсивность /100%/ распада ^{169}Lu определялась двумя способами: по измерениям рентгеновского излучения /табл. 1^{1/}/ и на основе схемы распада ^{169}Lu . В первом случае мы получили величину 505 ± 50 ед. I γ , во втором случае сумма интенсивностей γ -переходов, идущих на основное состояние ^{169}Yb с учетом позитронного распада и К-захвата на него, оказалась равной 470 ± 50 ед. I γ . За сто процентов распада ^{169}Lu было принято значение 500 ± 50 ед. I γ . Согласно измерениям позитронного излучения ^{2/} разность масс $^{169}\text{Lu} - ^{169}\text{Yb}$ была принята равной 2293 ± 3 кэВ.

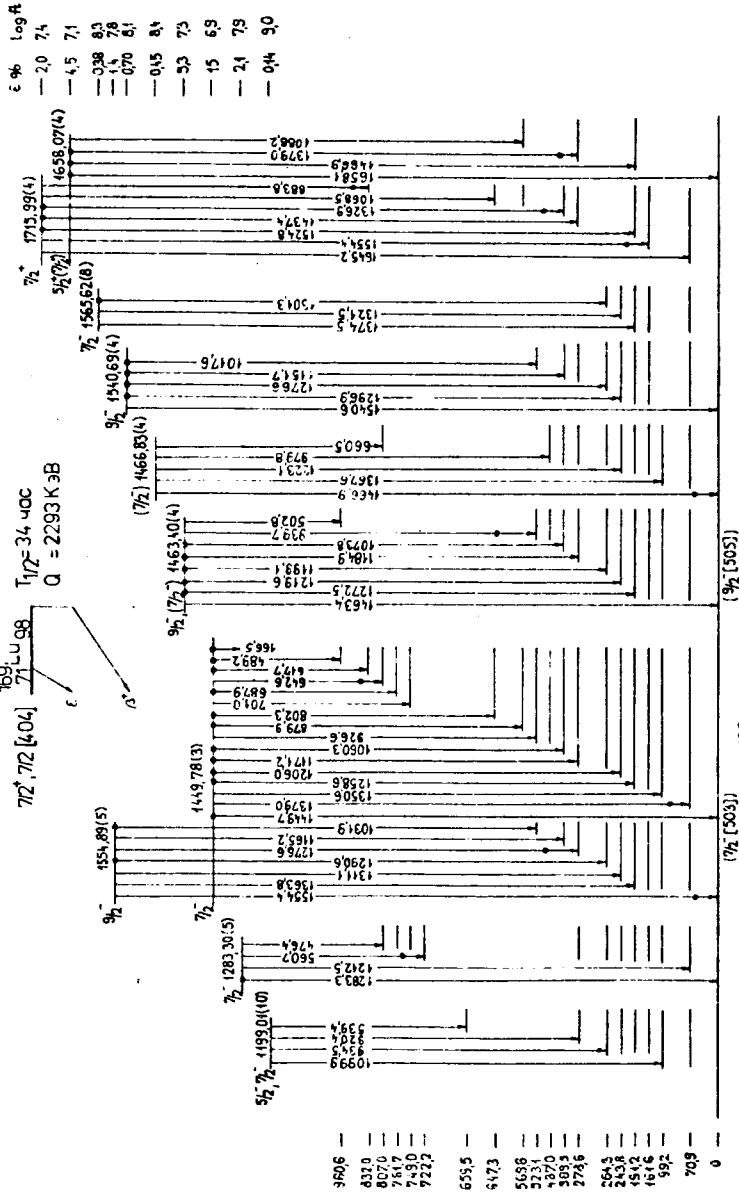


Рис. 2. Фрагмент схемы распада ^{169}Lu /энергии уровней выше 1,1 МэВ/. Обозначения кружков на линии уровня и на линии γ -перехода те же, что и на рис. 1.

ОБСУЖДЕНИЕ СХЕМЫ

Уровни с энергией меньше 1,1 МэВ

В этой области возбужденных состояний ^{169}Yb известно большое число ротационных полос различной структуры /рис. 1/, которые исследовались как в ядерных реакциях (d, p) , $(d, t)^{7/}$; $(p, t)^{8/}$; $(n, \gamma)^{9-12/}$; $(\alpha, 2n)^{13/}$, так и при β -распаде ^{169}Lu . Мы вводим в схему распада ^{169}Lu уровень $7/2^+ 832,038$ кэВ, проявляющийся в γ - γ -совпадениях, который наблюдался ранее только в (n, γ) -реакции $^{12/} // 7/2^+ 831,8$ кэВ/ и который предполагался ротационным в полосе $3/2^+ [651] + 7/2^+ [633] Q_{22}$. Действительно, разрядка его, как и нижних состояний $3/2^+$ и $5/2^+$, осуществляется на уровни основной полосы. Параметр инерции при этом получается близким к значениям для полос с положительной четностью /табл. 1/. Некоторое отличие значения $A_{2,3}$ от значения $A_{1,2}$ для полосы $3/2^+ [651] + 7/2^+ [633] Q_{22}$ /как, впрочем, и для полосы $5/2^+ [642]$ / может быть отнесено за счет сильного кориолисова взаимодействия полос подболочки $j = 13/2$, которой принадлежит данные состояния.

Для состояний других ротационных полос мы уточнили энергии уровней, подтвердили способ их разрядки γ - γ -совпадениями, а также уточнили и дополнили данные об этой разрядке. Так, например, уровень $11/2^-, 1/2 [521] 487$ кэВ, который ранее вводился в схему β -распада ^{169}Lu условно $^{3/}$, теперь подкрепляется еще одним γ -переходом: 243 кэВ, проявляющимся в γ - γ -совпадениях. Дополнены сведения о разрядке уровней: 389 кэВ / γ 227 и 318 кэВ/; 748 кэВ / γ 470, 649 кэВ/; 806 кэВ / γ 542 кэВ/; 919 кэВ / γ 272 и 529 кэВ/; 960 кэВ / γ 682 кэВ/; 1070 кэВ / γ 423 и 908 кэВ/. Некоторые γ -переходы, направленные в $^{3-6/}$ с уровней рассматриваемых полос, не подтверждаются нашими данными. Так, например, при мультипольности γ -перехода 920 кэВ, определенной нами как E_2 , этот переход не может разряжать уровень $9/2^- 919$ кэВ на основное состояние и т.д.

Уровни с энергией выше 1,1 МэВ

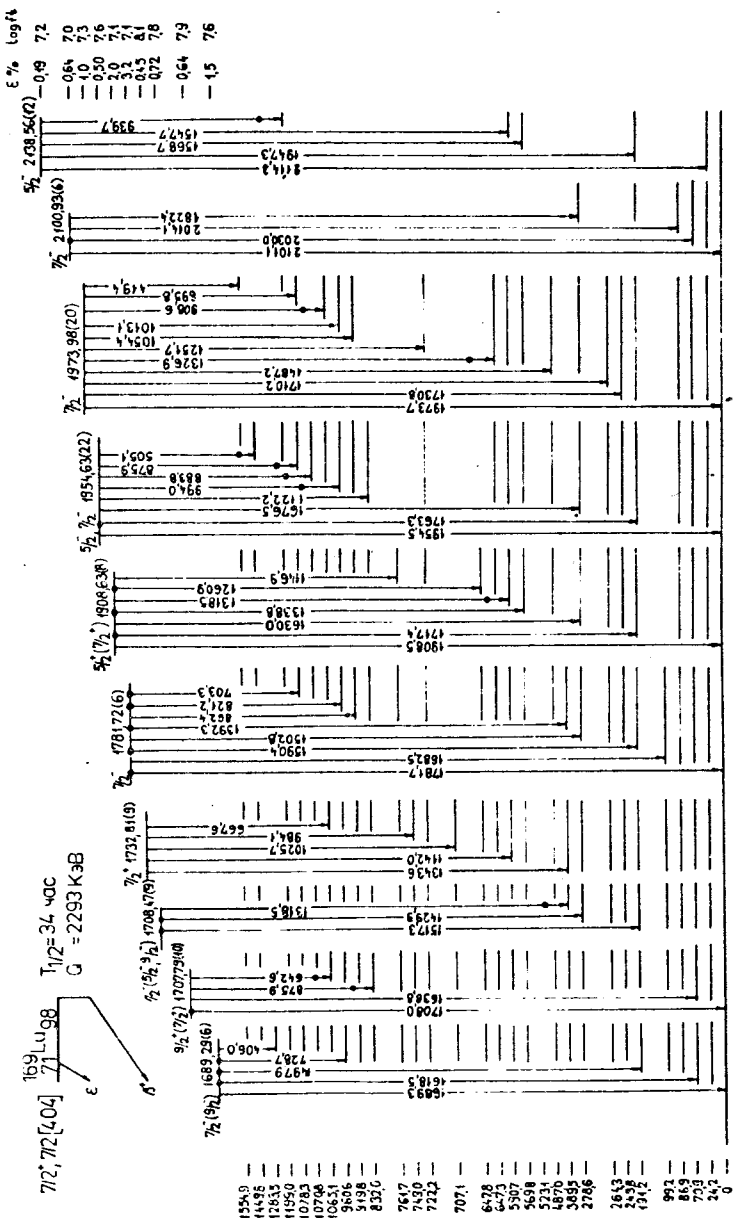


Рис. 3. Фрагмент схемы распада ^{169}Lu /энергии уровней выше 1,1 МэВ/. Обозначения кружков на линии уровня и на линии γ -перехода те же, что и на рис. 1.

Схема распада ^{169}Lu , которую мы предлагаем, содержит двадцать возбужденных состояний с энергией, большей 1,1 МэВ /рис. 2,3/. Пять известных ранее уровней $^{3-5}/1449, 1463, 1689, 1781$ и 1908 кэВ/ подтверждаются γ - γ -совпадениями. Для них уточнены энергии, спины и способ разрядки. Так, например, с уровня 1449 кэВ направлено дополнительно шесть γ -переходов, пять из которых проявляются в совпадениях. Спин уровня 1449 кэВ теперь однозначно определен как $7/2^-$, так как с него наблюдается несколько $M1$ -переходов на состояния $5/2^-$. Спин уровня 1463 кэВ по-прежнему остается неопределенным: $9/2^-$ или $7/2^-$, но более вероятно, что он $9/2^-$ так как разрядка его идет, в основном, на состояния $7/2^-$, $9/2^-$. На состояние $5/2^-$ с него наблюдается лишь один γ -переход мультипольности $E2$. Спин уровня 1781 кэВ определяется теперь как $7/2^-$, а не $5/2^-$, поскольку $M1$ -переход 1694 кэВ, направленный с него ранее на состояние $3/2^-$ 86 кэВ, не удовлетворяет балансу энергий. Кроме того, с уровня 1781 кэВ, согласно данным по γ - γ -совпадениям, направлен $M1$ -переход 703 кэВ на уровень $9/2^-$ 1078 кэВ.

Спин уровня 1908 кэВ также изменился. Поскольку с него согласно γ - γ -совпадениям направлены два интенсивных $E1$ -перехода: 1338 и 1260 кэВ, на уровни $5/2^-$ и $7/2^-$ полосы $5/2^- [523]$, спин его может быть $5/2^+$ или $7/2^+$, но не $9/2^+$, как предполагалось в $^{3-5}/$. Из прежних данных о разрядке уровня 1908 кэВ $^{3-5}/$ подтвердились только два γ -перехода /1908 и 1318 кэВ/, остальные семь γ -переходов расположены здесь впервые.

Новые уровни ^{169}Yb , введенные на основании результатов γ - γ -совпадений: $7/2^-$ 1283 кэВ; $9/2^-$ 1540 кэВ; $9/2^-$ 1554 кэВ; $7/2^-$ 1565 кэВ; $5/2^+ / 7/2^+ /$ 1658 кэВ; $9/2^+ / 7/2^+ /$ 1707 кэВ; $7/2^- / 5/2^-$, $9/2^- /$ 1708 кэВ; $7/2^+ / 1716$ кэВ; $5/2^-$, $7/2^-$ 1954 кэВ и $7/2^-$ 2100 кэВ /рис. 2,3/ разряжаются тремя и более γ -переходами с хорошим балансом энергий /как правило, в пределах 1σ /. Для всех состояний наблюдается характерная разрядка на низколежащие ротационные полосы. В ядер-

Таблица 1

$\pi^{\Pi} [\mathcal{N} n_2 \Lambda]$	$A_{I,2}$ (кэВ)	$A_{I,3}$	$A_{I,4}$	$A_{2,3}$	$A_{2,4}$	$A_{3,4}$
$7/2^+ [633]$	7,88	8,08	8,17	8,25	8,28	8,31
$5/2^+ [642]$	8,09	9,27	-	6,64	-	-
$3/2^+ [651]^+ +$ $7/2^+ [633] Q_{22}$	8,35	9,34	-	10,04	-	-

ных реакциях наблюдаются состояния, энергии которых близки к энергиям некоторых введенных нами уровней: 1285 кэВ (d,p) (d,t)^{/7/}; 1553 и 1567 кэВ (d,p)^{/7/}, 1715 /5/ кэВ (p,t)^{/8/}. Уровень 9/2⁻1554 кэВ, возможно, является ротационным на состоянии 7/2⁻1449 кэВ, так как разрядки обоих состояний сходны и параметр инерции $A_{1,2} = 11,68$ кэВ хорошо согласуется со значениями A для полос отрицательной четности /табл. 2/.

Возможно, что уровни 5/2⁺1658 кэВ и 7/2⁺1716 кэВ также составляют ротационную полосу, так как и в этом случае мы имеем подобные способы разрядки обоих уровней и согласие параметра инерции $A_{1,2} = 8,27$ кэВ со значениями A для полос положительной четности /табл. 1/.

Новым уровням 5/2⁻, 7/2⁻1199 кэВ; 7/2⁺1732 кэВ и 7/2⁻1973 кэВ, не проявляющимся в γ - γ совпадениях, соответствуют близкие по энергиям уровни в ядерных реакциях: 1198 кэВ (d,p) (d,t)^{/7/}; 1733 кэВ (d,p)^{/7/} и 1971 /7/ кэВ (p,t)^{/8/}. Кроме того, все они имеют немалое количество связей с опорными уровнями: с уровня 1199 кэВ направлено четыре γ -перехода /и на него идет γ -переход сверху/, уровень 1732 кэВ разряжается пятью γ -переходами, уровень 1973 кэВ - одиннадцатью.

В реакции (p,t)^{/8/} наблюдали состояние 7/2⁻1463 /10/ кэВ, в реакции (n, γ) - 7/2⁻, 1/2[510] 1466 кэВ^{/8/}/головной уровень-1/2⁻1317 кэВ/. Мы полагаем, что при β -распаде ¹⁶⁹Lu этому уровню соответствует состояние /7/2⁻/ 1466 кэВ, основная разрядка которого идет тремя γ -переходами на ротационную полосу 1/2⁻[521] с очень хорошим энергетическим балансом /кроме того, он подкрепляется еще двумя γ -переходами/. Значение $\log ft = 8,4$ для β -перехода на него не противоречит типу "1h".

Уровень 5/2⁻2138 кэВ разряжается пятью γ -переходами. Поскольку разрядка его идет на состояния с малыми спинами, не исключено, что ему соответствует наблюдаемый в реакциях (p,t)^{/8/} уровень 2129 /12/ кэВ.

Что касается структуры высоковозбужденных состояний ¹⁶⁹Yb, то здесь трудно провести идентифика-

Таблица 2

$K^{\pi} [N\eta zA]$	$A_{I,2}$ (кэВ)	$A_{I,3}$	$A_{I,4}$	$A_{2,3}$	$A_{2,4}$	$A_{3,4}$
$5/2^- [512]$	I2,48	I2,39	I2,29	I2,33	I2,22	I2,14
$5/2^- [523]$	II,14	II,20	-	II,24	-	-
$3/2^- [521]$	I2,53	I2,29	I2,40	I2,11	I2,35	I2,54
$7/2^- [514]$	I3,08					

цию. Очевидно, что при большой плотности состояний смешивание должно быть велико и определение квантовых чисел "K" по правилам Алаги лишается смысла. Согласно схеме Нильссона в ^{169}Yb имеется только три состояния: $7/2^- [514]$, $7/2^- [503]$, $9/2^- [505]$, на которые с основного состояния ^{169}Lu $7/2^+ [404]$ /возможны β -переходы первого порядка запрещения незадержанные ("1u"). Мы, однако, имеем около десяти β -переходов на состояния $7/2^-$, $9/2^-$ ^{169}Yb в этой области энергий со значениями $\log ft = 6,9-7,9$, что согласно систематике^{/14/} отвечает β -переходам "1u". По-видимому, структура $7/2^- [514]$, $7/2^- [503]$, $9/2^- [505]$ "размазана" по многим состояниям. Поскольку состояние $7/2^- [514]$ согласно схеме Нильссона, расположено по энергии ниже, чем $7/2^- [503]$, наиболее заселяемому /24%/ при β -распаде ^{169}Lu уровню $7/2^-$ 960 кэВ приписывается основная структура $7/2^- [514]$. Уровень $7/2^-$ 1449 кэВ является вторым по заселяемости /15%/ среди состояний со спинами $7/2^-$, на которые идут β -переходы типа "1u". Весьма вероятно, что ему принадлежит наибольшая часть компонента $7/2^- [503]$. Из этих же соображений можно предположить, что уровню $9/2^-$, 1463 кэВ, как наиболее заселяемому /5%/ среди состояний $9/2^-$, принадлежит наибольшая часть компонента $9/2^- [505]$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бацев С. и др. ОИЯИ, Р6-11607, Дубна, 1978.
2. Бонч-Осмоловская Н.А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1977, 41, №6, с.1149.
3. Бонч-Осмоловская Н.А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1973, 37, №5, с.972.
4. Балалаев В.А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1970, 34, №1, с.2.
5. Желепов Б.С. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1972, 36, №1, с.56.
6. Желепов Б.С., Тер-Нерсисянц В.Е. Тезисы докладов XXVI Совещания по ядерной спектроскопии. "Наука", Л., 1976, с.120.
7. Burke D.G. e.a. Fys.Medd.Kongl.Dan.Vid.Selsk., 1956, 35, No. 2.

8. Oothoudt M.A., Hints N.M. *Nucl.Phys.*, 1973, 213A, p.221.
9. Shera E.B., e.a. *Phys.Rev.*, 1968, 170, p.1108.
10. Бондаренко В. и др. *Изв. АН Латв.ССР*, 1969, №1, с.3.
11. Michaelis W. e.a. *Nucl.Phys.*, 1968, 119A, p.609.
12. Greenwood R.C. (*priv.comm.* 1973), Wimmer L. (*priv.comm.*, 1972). *Nucl.Data Sheets*, 1973, 10, No. 4, p.359.
13. Selin E., Hjorth S.A., Ryde H. *Phys.Scr.*, 1970, 2, p.181.
14. Громов К.Я. и др. *ЭЧАЯ*, 1975, т.6, вып.4, с.971.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 мая 1978 года.