

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗ46.4д

A-853

18/VIII-75

P4 - 8835

3023/2-75

Д.А.Арсеньев, Г.Г.Бунатян

ВОЛНОВЫЕ ФУНКЦИИ И УРОВНИ ЭНЕРГИИ

π -МЕЗОАТОМОВ

1975

P4 - 8835

Д.А.Арсеньев,* Г.Г.Бунатян

ВОЛНОВЫЕ ФУНКЦИИ И УРОВНИ ЭНЕРГИИ
 π -МЕЗОАТОМОВ

* Радиотехнический институт АН СССР

В предыдущей работе /1/ мы рассчитали экспериментально наблюдавшиеся энергии переходов и ширины уровней π -мезоатомов, используя для описания взаимодействия π -мезона с ядром эффективный квазипотенциал V , полученный из теории многократного рассеяния /2/, /3/. Как правило, результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментом (см. табл. I из /1/).

Как известно, взаимодействие π -мезона с ядром может быть использовано для изучения структуры ядра. Для этого необходимо получить характеристики (т.е. E_{ne} , Γ_{ne} , $\Phi_{ne}(r)$) всех состояний π -мезона в мезоатоме, а не только тех круговых орбит, т.е. состояний с $n = e - 1$, переходы между которыми в настоящее время наблюдаются экспериментально. Этому и посвящена настоящая работа. Все расчеты выполнялись совершенно аналогично работе /1/ и были проведены для π -мезоатомов ${}^6\text{Li}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{40}\text{Ca}$, ${}^{120}\text{Sn}$, ${}^{208}\text{Pb}$, ${}^{238}\text{U}$. Результаты расчетов представлены в таблицах I-6. Поскольку интересно выяснить, к каким эффектам приводят разные члены, входящие в V , мы проводили расчеты, последовательно включая кулоновский потенциал распределенного заряда V_c , поляризацию вакуума V_p и сильное взаимодействие π -мезона с ядром. (В таблицах соответствующие результаты помечены индексами c , vp , w). Как видно из таблиц, вклады в E_{ne} , Γ_{ne} , возникающие в результате учета этих эффектов, не аддитивны, так что их нельзя учитывать по теории возмущений. Сравнивая результаты, приведенные в колонках 2, 3 и 4, 6, получаем вклад поляризации вакуума в E_{ne} без учета и с учетом ядерного взаимодействия; вклад ядерного взаимодействия $\Delta E_N = E_{nc+vp} - E_c + v_p$ приведен в колонке 8. Влияние поляризации вакуума на величину Γ видно из сравнения результатов в колонках 5 и 7. От-

носительное влияние вакуумной поляризации возрастает с ростом e для данного n по сравнению с ролью ядерного взаимодействия π -мезона. Отметим, что для состояний, энергия связи которых сильно отличается от энергии связи для точечного кулоновского заряда, $n = Re\lambda$ далеко от целого. Поэтому n в колонке I следует понимать как главное квантовое число соответствующего уровня точечного кулоновского заряда.

2. Из таблиц видно, что ширина Γ_{ne} и ядерный сдвиг ΔE_{ne} для малых e медленно убывает с ростом n и очень быстро меняется с изменением e . Так, например, для ${}^6\text{Li}$ $\Gamma_{2p} \ll \Gamma_{5s}$ и $\Delta E_{5s} \gg \Delta E_{2p}$, аналогично для ${}^{12}\text{C}$ $\Gamma_{8s} \gg \Gamma_{2p}$ $|\Delta E_{8s}| \gg |\Delta E_{2p}|$. В этих ядрах, очевидно, поглощение π -мезона происходит из состояний S и P , но с различными n . Для средних ядер, например ${}^{40}\text{Ca}$ (см. таблицу 3), поглощение может происходить из состояний S, P, d с большими значениями n . Для тяжелых ядер, например ${}^{120}\text{Sn}, {}^{208}\text{Pb}, {}^{238}\text{U}$ (см. таблицы 4, 5, 6 и рис. I), поглощение может происходить из состояний S, P, d, f, g , при этом заметим, что, например, $\Gamma_{2d} \gg \Gamma_{5g}, \Gamma_{2d} > \Gamma_{4f}, \Gamma_{2f} > \Gamma_{5g}$, а ядерные сдвиги таковы, что $E_{4s} \approx E_{5d}$. Такая зависимость ширины Γ и ядерного сдвига ΔE_N от n, e для различных мезоатомов объясняется видом волновых функций $\Phi_{ne}(r)$ для этих ядер. В легких мезоатомах с ядром заметно перекрываются лишь волновые функции S -состояний Φ_{ns} и меньше - P -состояний Φ_{np} . С возрастанием атомного веса увеличивается перекрытие с ядром волновых функций Φ_{ne} со все более высокими e . Это видно из рис. 2 и рис. 3, на которых приведены $|\Phi_{ne}(r)|^2$ для различных состояний ${}^6\text{Li}, {}^{40}\text{Ca}, {}^{208}\text{Pb}$. Обратим внимание на вид $|\Phi_{ne}(r)|^2$ для

${}^{208}\text{Pb}$: перекрытие с ядром $|\Phi_{4p}|^2$ и $|\Phi_{4d}|^2$ больше, чем $|\Phi_{4s}|^2$.

Именно таким поведением волновых функций объясняется то, что ширина Γ_{4p} и Γ_{4d} больше, чем Γ_{4s} . Подчеркнем, что аналогичная ситуация имеет место для всех n в тяжелых мезоатомах, так, например, $\Gamma_{2s} < \Gamma_{2d}$.

Из вида волновых функций (см. рис. I, 2) следует, что поглощение π -мезонов в связанных состояниях (n, e) происходит на поверхности ядра, при $r \approx R$, особенно для тяжелых ядер. Это должно приводить к ряду особенностей в поглощении π -мезонов в тяжелых π -мезоатомах. В частности, π -мезоны поглощаются нуклонами с большими моментами e , так как волновые функции таких нуклонов имеют максимум именно на границе ядра.

Характерный вид волновых функций π -мезоатомов определяется видом V (см. рис. 2 из /1/). Из-за ядерного взаимодействия, в частности присутствия в V мнимой части, волновые функции $\Phi_{ne}(r)$ малы внутри ядра для всех состояний, включая и $1S$ -состояние, что особенно заметно для тяжелых ядер. Для ${}^{208}\text{Pb}$ все волновые функции заметно отличны от 0 лишь для $r \sim R$. Именно при $r \sim R$ потенциал имеет наиболее сложный вид, причем для $r > R$ ядерный потенциал является притягивающим, тогда как для $r < R$ - отталкивающим. Этим объясняется знак и величина сдвига различных уровней ΔE_N , обусловленного ядерным взаимодействием. В результате получается характерный вид спектра уровней E_{ne} π -мезоатомов, приведенный в таблицах I-6 и на рис. I. Отметим здесь, что в ряде работ /4/, /5/ предлагаются для описания экспериментальных данных различные ядерные потенциалы, существенно отличные от использованного нами. Выбирая путем подгонки параметры этих потенциалов, удается описать экспериментальные результаты для определенной группы переходов в π -мезоатомах, так что для данной группы ре-

результаты будут близки к нашим. Однако для других групп переходов различия будут большими. Особенно большие различия будут в относительном положении уровней E_{ne} и значениях их ширин Γ_{ne} при различных n, ℓ . Из-за существенно иной координатной зависимости потенциалы, предложенные в /4/ или /5/, ни при каком выборе их параметров не могут привести к обсуждавшимся выше особенностям в величинах ядерных сдвигов ΔE_{ne} и ширин Γ_{ne} .

3. Как видно из приведенных результатов, поглощение может с большой вероятностью происходить из состояний с малыми ℓ , но очень большими n , например, $12S$ у ^{208}Pb . Полученные положения уровней E_{ne} , их ширины Γ_{ne} и волновые функции Φ_{ne} позволяют вычислить "расписание поглощения" π -мезона аналогично тому, как это сделано для μ -мезонов в работах /6/. Экспериментальное изучение поглощения π -мезонов из состояний с большими n , но малыми ℓ представляет большой интерес, так как дает сведения о Φ_{ne} в этих состояниях. Состояния π -мезона с большой энергией связи в тяжелых мезоатомах, волновые функции $\Phi_{ne}(r)$ (рис. 2, 3), энергии E_{ne} и ширины Γ_{ne} которых мы вычислили, могут изучаться экспериментально в ряде процессов, например, при фото- и электророждении π -мезонов в связанном состоянии, прямом захвате π -мезона в такое состояние и т.д.

Представляет интерес экспериментальное изучение каскадов в π -мезоатомах, идущих не по круговым орбитам. Для ^{208}Pb возможно наблюдение каскадов, начинающихся, например, с уровней с $n = 12$, а $\ell \geq 4$; нижайшими из них будут $7h - 6g$, $6g - 5f$, $7g - 3f$, как это видно из таблицы 5 и рис. 1. Обратим внимание (см. таблицы 5, 6) на то, что расщепление уровней мезоатома по ℓ достаточно велико вследствие чего,

например, $E_{4s} \approx E_{5d}$. Разности энергий E_{ne} с различными ℓ и одним и тем же $n = 4+5$ сравнимы с энергиями возбуждения низколежащих состояний тяжелых деформированных ядер, что может быть интересно для ряда задач ядерной физики, так как приводит к смешиванию π -мезоатомных и ядерных состояний.

Таким образом, мы подробно изучили различные состояния π -мезоатомов, и полученные результаты могут быть использованы для исследования вопросов взаимодействия π -мезонов с ядрами.

Авторы благодарны Р.А.Эрамжану, Р.А.Саккаеву за внимание к работе и полезные обсуждения.

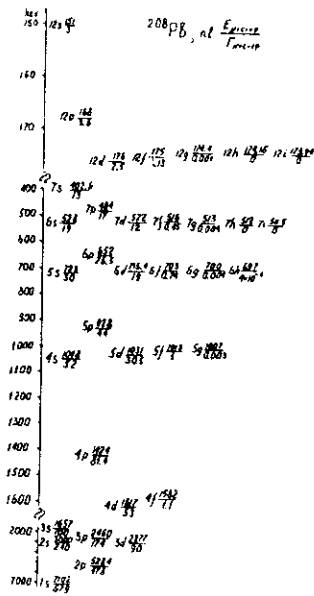


Рис. 1

Спектр уровней π -мезотома ^{208}Pb . Над каждой горизонтальной чертой указана энергия E_{ne} соответствующего уровня, а под чертой - его ширина Γ_{ne} (в кэВ). Слева указаны ne .

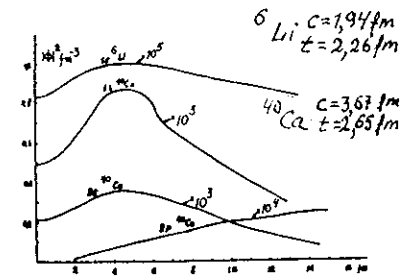


Рис. 2

Распределение плотности $(|\Phi_{ne}(r)|^2)$ для π -мезона для различных состояний ne π -мезотома ^6Li и ^{40}Ca .

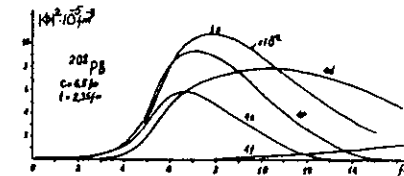


Рис. 3

Распределение плотности $(|\Phi_{ne}(r)|^2)$ π -мезона для различных состояний ne π -мезотома ^{208}Pb .

Таблица 1

Энергии E_{ne} и ширины уровней Γ_{ne} π -мезоатома ${}^6\text{Li}$ в кэВ.

В первой колонке указаны состояния $n\ell$. Энергии связи π -мезона в кулоновском поле ядра конечных размеров приведены в колонках (2) - без учета поляризации вакуума V_{vp} и (3) - с учетом V_{vp} . Энергии и ширины уровней с учетом ядерного взаимодействия приведены в колонках (4), (5) без учета V_{vp} , а в колонках (6), (7) - с учетом V_{vp} . В колонке 8 приведены сдвиги уровней, вызванные ядерным взаимодействием:

$$\Delta E_N = E_{n\ell+c+vp} - E_{c+vp}$$

Звездочка (*) означает, что для всех состояний с данным n и большими ℓ влияние ядерного взаимодействия пренебрежимо мало.

$n\ell$ 1	$-E_c$ 2	$-E_{c+vp}$ 3	$-E_{n\ell+c}$ 4	$\Gamma_{n\ell+c}$ 5	$-E_{n\ell+c+vp}$ 6	$\Gamma_{n\ell+c+vp}$ 7	ΔE_N 8
1S	32.600	32.693	32.152	0.142	32.241	0.144	0.452
2S	8.155	8.165	8.099	0.018	8.109	0.018	0.056
2P	8.160	8.164	8.160	6×10^{-6}	8.164	6×10^{-6}	-
3S	3.625	3.628	3.608	0.006	3.611	0.006	0.017
3P*	3.626	3.628	3.627	2×10^{-6}	3.627	2×10^{-6}	0.001
4S	2.039	2.041	2.032	0.002	2.033	0.002	0.008
4P*	2.040	2.040	2.040	1×10^{-6}	2.040	1×10^{-6}	-
5S	1.305	1.306	1.302	0.001	1.302	0.001	0.004
5P*	1.306	1.306	1.306	-	1.306	-	-

Таблица 2

Энергии и ширины уровней для π -мезоатома ${}^{12}\text{C}$
(все аналогично таблице 1)

$n\ell$ 1	$-E_c$ 2	$-E_{c+vp}$ 3	$-E_{n\ell+c}$ 4	$\Gamma_{n\ell+c}$ 5	$-E_{n\ell+c+vp}$ 6	$\Gamma_{n\ell+c+vp}$ 7	ΔE_N 8
1S	131.999	132.171	125.737	2.774	126.276	2.802	5.895
2S	32.976	33.504	32.229	0.360	32.299	0.364	1.205
2P	33.045	33.090	33.047	82×10^{-5}	33.092	87×10^{-5}	-0.002
3S	14.666	14.687	14.443	0.102	14.463	0.110	0.224
3P	14.686	14.698	14.687	29×10^{-5}	14.699	30×10^{-5}	-0.001
3d	14.684	14.690	14.684	-	14.690	-	-
4S	8.252	8.261	8.155	0.048	8.166	0.046	0.095
4P	8.260	8.266	8.260	96×10^{-6}	8.266	92×10^{-6}	-
4d	8.260	8.262	8.260	-	8.262	-	-
4f	8.260	8.260	8.260	-	8.260	-	-
5S	5.282	5.287	5.233	0.024	5.238	0.024	0.049
5P	5.286	5.289	5.286	54×10^{-6}	5.289	80×10^{-6}	-
5d*	5.286	5.287	5.286	-	5.287	-	-
6S	3.668	3.671	3.640	0.014	3.642	0.014	0.029
6P	3.671	3.673	3.671	-	3.673	-	-
6d*	3.671	3.671	3.671	-	3.671	-	-
7S	2.696	2.697	2.677	0.008	2.678	0.008	0.019
7P	2.697	2.698	2.697	18×10^{-6}	2.698	18×10^{-6}	-
7d	2.697	2.698	2.697	-	2.698	-	-
7f*	2.697	2.697	2.697	-	2.697	-	-
8S	2.062	2.065	2.050	0.006	2.052	0.006	0.013
8P	2.062	2.066	2.062	20×10^{-6}	2.066	20×10^{-6}	-
8d	2.066	2.067	2.066	-	2.067	-	-
8f*	2.065	2.065	2.065	-	2.065	-	-

Таблица 3

Энергии и ширины уровней для \mathcal{L} -мезоатома

(аналогично таблице I)

40Ca

$n\ell$	$-E_c$	$-E_{c+vp}$	$-E_{n+c}$	Γ_{n+c}	$-E_{n+c+vp}$	Γ_{n+c+vp}	ΔE_n
1	2	3	4	5	6	7	8
1 S	1356.386	1366.013	1098.097	88.426	1104.612	89.552	261.401
2 S	355.418	356.986	317.782	14.390	319.003	14.546	37.983
2 P	371.264	372.705	372.666	1.208	374.134	1.230	-1.429
3 S	160.248	160.726	148.530	4.644	148.918	4.688	11.808
3 P	164.994	165.413	165.486	0.416	165.913	0.432	-0.500
3 d	164.729	165.046	164.731	44×10^{-5}	165.050	64×10^{-5}	-0.004
4 S	90.765	90.962	85.695	2.044	85.863	2.060	5.099
4 P	92.777	92.945	92.986	0.196	93.166	0.192	-0.221
4 d	92.666	92.789	92.670	40×10^{-5}	92.790	40×10^{-5}	-0.001
4 f	92.610	92.698	92.610	-	92.697	-	0.001
5 S	58.326	58.424	55.692	1.072	55.763	1.108	2.661
5 P	59.359	59.441	59.471	0.100	59.557	0.100	-0.116
5 d	59.302	59.360	59.306	-	59.362	20×10^{-5}	-0.002
5 f	59.273	59.313	59.273	-	59.314	0	-0.001
5 g	59.257	59.283	59.257	-	59.284	-	-0.001
6 S	40.612	40.668	39.074	0.630	39.122	0.636	1.546
6 P	41.211	41.257	41.276	0.060	41.325	0.058	-0.068
6 d	41.178	41.211	41.179	14×10^{-5}	41.212	14×10^{-5}	-0.001
6 f	41.162	41.183	41.162	-	41.184	-	-0.001
6 g	41.152	41.167	41.152	-	41.167	-	-
6 h	41.146	41.155	41.146	-	41.155	-	-

Таблица 3 (продолжение)

$n\ell$	$-E_c$	$-E_{c+vp}$	$-E_{n+c}$	Γ_{n+c}	$-E_{n+c+vp}$	Γ_{n+c+vp}	ΔE_n
1	2	3	4	5	6	7	8
10 S	14.697	14.709	14.357	0.140	14.369	0.142	0.340
10 P	14.827	14.840	14.838	0.012	14.851	0.012	-0.011
10 d	14.820	14.827	14.820	30×10^{-6}	14.827	30×10^{-6}	-
10 f	14.816	14.820	14.817	-	14.821	-	-0.001
10 g	14.814	14.817	14.814	-	14.817	-	-
10 h	14.813	14.815	14.813	-	14.815	-	-
10 i	14.812	14.813	14.812	-	14.813	-	-
10 j	14.812	14.812	14.812	-	14.812	-	-
10 k	14.811	14.811	14.811	-	14.811	-	-

Таблица 4

Энергии и ширины уровней для π - мезоатома
(аналогично таблице I)

120 SM

$n\ell$	$-E_c$	$-E_{c+vp}$	$-E_{n+c}$	Γ_{n+c}	$-E_{n+c+vp}$	Γ_{n+c+vp}	$\Delta E_{n\ell}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1 S	6249.341	6294.440	3910.445	374.564	3931.857	374.620	2362.583
2 S	1917.335	1928.644	1436.267	92.556	1442.588	93.604	486.056
2 P	2321.529	2336.367	2281.128	126.004	2294.807	128.180	41.580
3 S	910.517	914.371	740.498	35.644	742.998	36.026	171.373
3 P	1035.062	1039.909	1020.064	43.498	1024.553	44.168	15.356
3 d	1037.814	1042.107	1040.733	2.282	1045.088	2.344	-2.981
4 S	528.881	530.641	450.522	17.322	451.725	17.386	78.916
4 P	582.545	584.623	575.770	17.336	577.691	19.606	6.932
4 d	584.011	585.829	585.757	1.402	587.608	1.436	-1.779
4 f	581.845	583.378	581.858	0.004	583.391	0.004	-0.013
5 S	344.986	345.890	302.655	9.628	303.306	9.656	42.584
5 P	372.792	373.841	369.208	10.142	370.190	10.276	3.651
5 d	373.616	374.521	374.635	0.830	375.560	0.850	-1.039
5 f	372.511	373.262	372.486	0.004	373.273	0.004	-0.011
5 g	371.877	372.502	371.877	3×10^{-6}	372.502	3×10^{-6}	-
6 S	242.584	243.112	217.209	5.846	217.592	5.900	25.520
6 P	258.815	259.407	256.709	5.948	257.265	6.024	2.142
6 d	259.312	259.819	259.942	0.516	260.461	0.528	-0.542
6 f	258.675	259.090	258.683	0.002	259.098	0.002	-0.008
6 g	258.308	258.647	258.309	-	258.647	3×10^{-6}	-
6 h	258.076	258.351	258.076	-	258.351	-	-

Таблица 4 (продолжение)

$n\ell$	$-E_c$	$-E_{c+vp}$	$-E_{n+c}$	Γ_{n+c}	$-E_{n+c+vp}$	Γ_{n+c+vp}	$\Delta E_{n\ell}$
1	2	3	4	5	6	7	8
7 S	179.816	180.142	163.422	3.828	163.666	3.862	16.476
7 P	190.094	190.458	188.756	3.776	189.098	3.822	1.360
7 d	190.415	190.724	190.828	0.342	191.144	0.346	-0.420
7 f	190.015	190.265	190.020	0.002	190.271	0.002	-0.006
7 g	189.784	189.985	189.784	3×10^{-6}	189.985	3×10^{-6}	-
7 h	189.637	189.798	189.637	-	189.798	-	-
7 i	189.536	189.662	189.536	-	189.662	-	-
12 S	62.540	62.604	59.127	0.836	59.191	0.842	3.403
12 P	64.610	64.679	64.341	0.762	64.406	0.770	0.273
12 d	64.677	64.737	64.764	0.072	64.823	0.074	-0.086
12 f	64.598	64.644	64.599	82×10^{-5}	64.644	84×10^{-5}	-
12 g	64.552	64.587	64.552	-	64.587	-	-
12 h	64.523	64.550	64.523	-	64.550	-	-
12 i	64.503	64.524	64.503	-	64.524	-	-
12 j	64.488	64.503	64.488	-	64.503	-	-
12 k	64.477	64.488	64.477	-	64.488	-	-
12 l*	64.468	64.476	64.468	-	64.476	-	-

Таблица 5

Энергии и ширины уровней для \mathcal{L} -мезоатома

(аналогично таблице I)

$n\ell$ 1	$-E_c$ 2	$-E_{c+VP}$ 3	$-E_{N+c}$ 4	Γ_{N+c} 5	$-E_{N+c+VP}$ 6	Γ_{N+c+VP} 7	ΔE_N 8
1S	12195.661	12254.339	7064.255	671.846	7101.722	678.524	5142.617
2S	4387.896	4413.394	2969.023	221.248	3002.710	239.768	1410.684
2P	5927.145	5969.120	5255.914	472.870	5284.477	478.152	684.643
3S	2202.816	2213.288	1650.600	98.318	1656.572	99.502	556.716
3P	2693.143	2708.026	2448.675	172.142	2459.264	174.180	248.762
3d	2817.090	2832.867	2861.810	97.586	2877.930	89.610	-45.063
4S	1315.453	1320.551	1045.334	51.502	1048.435	52.108	272.116
4P	1530.811	1537.557	1418.846	80.480	1423.783	81.416	113.774
4d	1586.155	1593.164	1609.871	51.744	1616.974	52.818	-23.810
4f	1574.517	1580.652	1576.123	1.092	1582.298	1.128	-1.646
5S	872.175	874.963	720.834	30.138	722.648	30.474	152.315
5P	965.224	968.755	925.412	43.668	928.039	44.156	60.716
5d	1014.261	1017.878	1027.368	29.000	1030.982	30.488	-13.104
5f	1008.630	1011.780	1010.007	0.972	1013.190	1.002	-1.410
5g	1004.010	1006.750	1004.017	0.004	1006.756	0.003	-0.006
6S	619.947	621.606	526.915	19.082	582.047	19.288	93.559
6P	686.480	688.520	650.982	26.200	652.515	26.486	30.005
6d	703.497	705.564	711.326	18.354	713.398	18.674	-7.838
6f	700.346	702.135	701.344	0.720	703.154	0.742	-1.019
6g	697.672	699.213	697.680	0.001	699.223	0.004	-0.010
6h	696.975	697.309	696.975	-	697.310	4×10^{-6}	-0.001

Таблица 5 (продолжение)

$n\ell$ 1	$-E_c$ 2	$-E_{c+VP}$ 3	$-E_{N+c}$ 4	Γ_{N+c} 5	$-E_{N+c+VP}$ 6	Γ_{N+c+VP} 7	ΔE_N 8
7S	463.049	464.105	401.905	12.812	402.618	12.954	61.487
7P	505.453	506.722	482.739	16.896	483.698	17.082	23.024
7d	516.250	517.523	521.271	11.920	522.542	12.130	-5.019
7f	514.313	515.409	515.023	0.518	516.133	0.454	-0.724
7g	512.621	513.557	512.629	-	513.566	0.004	-0.009
7h	511.549	512.351	511.549	-	512.351	-	-
7i	510.813	511.499	510.813	-	511.499	-	-
12S	164.096	164.305	150.654	2.606	150.728	3.019	13.577
12P	172.772	173.009	168.075	3.523	168.286	3.578	4.723
12d	174.940	175.173	175.696	2.484	176.196	2.526	-1.022
12f	174.572	174.768	174.743	0.132	174.944	0.132	-0.176
12g	174.237	174.399	174.240	0.001	174.403	0.001	-0.004
12h	174.024	174.159	174.022	-	174.159	-	-
12i	173.677	173.988	173.677	-	173.988	-	-
12j	173.771	173.860	173.696	-	173.860	-	-
12k	173.688	173.761	173.688	-	173.761	-	-
12l	173.624	173.681	173.624	-	173.681	-	-
12m	173.572	173.616	173.572	-	173.616	-	-

Таблица 6

Энергии и ширины уровней для π -мезона
(аналогично таблице I)

238 U

$n\ell$	$-E_c$	$-E_{c+vp}$	$-E_{w+c}$	Γ_{w+c}	$-E_{w+c+vp}$	Γ_{w+c+vp}	ΔE_w
1	2	3	4	5	6	7	8
3 S	2691.617	2704.766	1975.805	126.906	1983.125	128.538	721.641
3 P	3326.042	3344.742	2948.309	222.142	2962.099	225.190	382.643
3 d	3551.645	3572.690	3607.593	160.852	3629.467	164.866	-56.777
4 S	1620.133	1626.662	1264.497	68.318	1268.375	79.178	358.287
4 P	1900.824	1909.454	1726.338	107.266	1732.887	108.700	176.567
4 d	2000.144	2009.578	2027.082	92.374	2036.771	94.430	-27.193
4 f	1986.665	1995.058	1991.138	3.500	1999.662	3.626	-4.604
5 S	1079.199	1081.352	878.062	40.658	880.313	41.152	201.039
5 P	1227.205	1231.780	1133.417	59.306	1136.956	60.064	94.824
5 d	1279.031	1283.935	1293.236	52.832	1298.234	53.916	-14.299
5 f	1272.943	1277.294	1276.747	3.152	1281.203	3.262	-3.909
5 g	1265.653	1269.459	1265.689	0.014	1269.486	0.014	-0.037
6 S	769.430	771.603	645.006	26.042	646.407	26.248	125.196
6 P	856.810	859.475	800.902	36.020	802.991	36.462	56.483
6 d	887.102	889.920	895.405	32.232	898.263	32.854	-8.343
6 f	883.841	886.330	886.584	2.346	889.145	2.426	-2.815
6 g	879.629	881.790	879.670	0.016	881.832	0.016	-0.042
6 h	876.931	878.819	876.931	-	878.819	-	-

Литература

1. Д.А.Арсеньев, Г.Г.Бунатян. Сообщение ОИЯИ, Р4-8836, Дубна, 1975.
2. M.Ericson and T.E.O.Ericson. Ann.of Phys.36(1966)323.
3. J.P.Dedonder. Nucl.Phys.A174(1970)461; Nucl.Phys.A180(1972)472.
4. B.Blum. Nucl.Phys.NB.202(1970)155.
5. P.Scheck and C.Wilkin. Nucl.Phys.B49(1972)541.
6. Y.Eisenberg, D.Kessler. Nuovo.Cim.19(1961)1195; Phys.Rev.123(1961)1472.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 апреля 1975 г.