

СЗ46

Г-76



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

И.М. Граменицкий

834

ИЗУЧЕНИЕ НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРОТОНОВ С НУКЛОНАМИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 9 БЭВ

Автореферат диссертации, представленной
на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

Научный руководитель старший научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук

М.И. Подгорецкий

Дубна 1961

С 346

Г-76

И.М. Граменицкий

834

ИЗУЧЕНИЕ НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРОТОНОВ С НУКЛОНАМИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 9 БЭВ

837-68
Автореферат диссертации, представленной
на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

Научный руководитель старший научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук

М.И. Подгорецкий

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Изучение взаимодействий элементарных частиц является в настоящее время одной из главных проблем физики высоких энергий. В частности представляет интерес исследование процесса множественного образования частиц при столкновении нуклонов и π -мезонов с нуклонами и ядрами. Этому вопросу посвящено большое количество экспериментальных работ, выполненных как на ускорителях /область энергий 1-25 Бэв/, так и в космических лучах /вплоть до энергий 10^{15} эв/. Последовательная теоретическая интерпретация множественного образования частиц пока что отсутствует. Существующие теории, основанные на более или менее произвольных допущениях, описывают лишь некоторые особенности взаимодействия, не охватывая явление полностью.

В этой ситуации кажется весьма важным получить возможно более полную информацию о различных характеристиках вторичных частиц, возникающих в элементарном акте взаимодействия. Такая информация не только позволит провести подробное сравнение экспериментальных данных с существующими теориями, но и будет, по-видимому, стимулировать их развитие. Можно также надеяться, что подробное изучение элементарных взаимодействий приведет к некоторым заключениям о структуре сталкивающихся частиц.

Настоящая диссертация посвящена исследованию неупругих взаимодействий протонов со свободными и квазисвободными нуклонами при энергии 9 Бэв. Работа выполнена с помощью фотоэмульсионной методики.

Диссертация состоит из четырех глав.

В главе 1 коротко изложены основные положения статистической теории множественного образования частиц, поскольку она является наиболее разработанной и позволяет провести подробное сравнение с экспериментом.

Следует однако отметить, что статистическая теория в принципе не рассматривает вопрос о структуре взаимодействующих частиц, в то время как даже самые грубые модельные представления могут привести к доволь-

но интересным выводам. Если, например, считать, что нуклон состоит из центрального "ядра" и окружающего его "мезонного облака", то следует ожидать наличия двух типов соударений - центральных и периферических /см. /1//. Последний тип соударений естественно связан с процессом, при котором взаимодействие нуклон-нуклон происходит в результате обмена одним виртуальным π -мезоном /2,3/.

В диссертации рассмотрен расчет такого сорта взаимодействий, выполненный в полюсном приближении при энергии падающих нуклонов 9 Бэв /4/. Приведены результаты расчета, касающиеся сечения этого процесса, распределения по множественности вторичных заряженных частиц, угловых распределений π -мезонов и нуклонов в системе центра инерции /с.д.и./, распределения по поперечным импульсам вторичных частиц и энергетического распределения нуклонов отдачи в лабораторной системе /л. системе/. Ниже /в гл. III / эти результаты сравниваются с экспериментальными данными.

Глава II посвящена методике эксперимента. В работе были использованы 3 эмульсионные стопки, облученные внутренним пучком протонов с энергией = 9 Бэв на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований. Для поиска неупругих взаимодействий протон-нуклон /р - N - взаимодействия/ проводился просмотр вдоль следов первичных протонов обычным и "ускоренным" способом /5/, позволявшим довести скорость просмотра до 3 + 4 м в день на человека, т.е. увеличить ее в 4 + 5 раз по сравнению с обычным.

Выделение р - N - взаимодействий производилось по критериям, описанным в работе /6/. Проведенный анализ отобранных случаев взаимодействия указывает на сравнительную чистоту статистического материала или по крайней мере на существенное обогащение его р - N - взаимодействиями.

На всей просмотренной длине следов первичных протонов /около 5 км/ было выделено 960 р - N - взаимодействий из них 582 р - р - взаимодействия и 378 р - п - взаимодействия /8-9/.

Для отобранных случаев р - N - взаимодействий проводились измерения различных характеристик вторичных частиц: углов вылета, многократного рассеяния, ионизации и магнитного отклонения.

При измерении многократного рассеяния быстрых частиц отбирались следы, имеющие угол погружения $\phi \leq 5^\circ$. На тех же следах проводилось измерение ионизации - определялась плотность сгустков q . Влияние "ложного рассеяния" оценивалось путем измерения многократного рассеяния на следах первичных протонов в каждом слое. Для того, чтобы избежать влияния неравномерности проявления, определялась величина q/q_0 , где q_0 - плотность сгустков на следах первичных протонов, измеренная в области данного вторичного следа. Для идентификации частиц были использованы кривые зависимости q/q_0 от величины $\rho\beta$, полученной измерением многократного рассеяния, для π -мезонов и протонов, построенные по данным работы /10/. Характер зависимости q/q_0 от $\rho\beta$ определял необходимую точность измерения величины q/q_0 при различных значениях $\rho\beta$, которая изменялась от 4% до 2%.

Кроме того определялся знак заряда быстрых вторичных частиц по отклонению в магнитном поле синхрофазотрона. x/ С помощью процедуры, описанной в /11/, которая позволяет исключить влияние дисторсий, определялась величина $\gamma_M = \theta_{\text{изм.}} / (\theta_k \sqrt{t})$, где $\theta_{\text{изм.}}$ - фактическое изменение угла частицы на длине t и θ_k - средний квадратичный угол многократного рассеяния на той же длине. При этом длина следов была не менее 6 см. Для проверки метода измерялась величина γ_M на следах положительных частиц /частицы из двух лучевых событий и частицы, идентифицированные как протоны по измерению ионизации и рассеяния/. Из 90 положительных частиц в 14 случаях значение γ_M было отрицательным, т.е. неправильное определение знака, вызванное влиянием многократного рассеяния имело место в /16 ± 4% случаев. Анализировались также трехлучевые события из р - п - взаимодействий. В этом случае отношение числа положительных частиц к числу отрицательных должно быть 2:1.

x/ Во время облучения стопка находилась в магнитном поле синхрофазотрона с напряженностью 12000 эрстед.

Фактически наблюдалось 57 частиц, имеющих положительное значение, и 28 отрицательное значение Y_M , т.е. отношение числа положительных частиц к числу отрицательных равно $2,0 \pm 0,5$. На основании проделанной проверки можно сделать вывод, что определение знака заряда частицы при длине следа более 6 см является правильным в /80 - 85% случаев.

Как было указано выше, измерения и идентификация быстрых частиц проводились лишь в том случае, когда угол погружения следа ϕ был меньше или равным $\phi_{пр.} = 5^\circ$. Поэтому для получения угловых и импульсных распределений и вычисления средних значений различных величин было необходимо ввести геометрические поправки, учитывающие частицы, имеющие при данном пространственном угле θ угол погружения $\phi > \phi_{пр.}$ В этой связи подробно разбирается вопрос о вычислении статистических ошибок при наличии геометрических поправок /12/.

Для того, чтобы получить некоторые сведения о π^0 -мезонах, было проведено изучение электронно-позитронных пар, вызванных γ -квантами, возникшими от распада π^0 -мезонов /13/. При этом были получены характеристики π^0 -мезонов, генерированных при соударении протонов с ядрами фотоэмульсии. На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что угловое распределение и средняя энергия π^0 -мезонов примерно совпадают с аналогичными данными, полученными для заряженных π^{\pm} -мезонов. Хотя этот вывод относится к взаимодействиям протонов с ядрами, довольно естественно предположить, что подобная ситуация сохраняется и для взаимодействий протон-нуклон.

В главе III изложены экспериментальные результаты, полученные в настоящей работе.

Прежде всего было рассмотрено распределение по числу заряженных вторичных частиц в $p-N$ взаимодействиях. Приводятся также среднее число заряженных вторичных частиц и средние числа протонов и заряженных мезонов на одно взаимодействие. Среднее число $\pi^{\pm 0}$ -мезонов было получено из энергетического баланса при предположении равенства средней

энергии заряженных и нейтральных π -мезонов. Эти данные для $p-p$ и $p-p$ взаимодействий приведены в таблице 1^{x/}.

Т а б л и ц а 1.

	\bar{n}	\bar{n}_p	$\bar{n}_{\pi^{\pm}}$	$\bar{n}_{\pi^{\pm 0}}$
$p-p$	$3,34 \pm 0,06$	$1,18 \pm 0,10$	$2,24 \pm 0,14$	$3,14 \pm 0,24$
$p-p$	$3,70 \pm 0,08$	$1,11 \pm 0,10$	$2,82 \pm 0,24$	$4,43 \pm 0,44$

Для вторичных протонов и заряженных π -мезонов в $p-p$ взаимодействиях были построены импульсные распределения в с.п.и. Они приведены на рис. 1 вместе с результатами расчета по статистической теории /14/. Можно видеть, что протоны имеют в среднем большие, а π -мезоны - меньшие импульсы, чем предсказываемые статистической теорией. Импульсные распределения для $p-p$ взаимодействий не отличаются в пределах ошибок от соответствующих распределений для $p-p$ взаимодействий. Следует отметить, что среднее значение импульса в с.п.и. и перпендикулярного импульса протонов и π -мезонов сравнительно слабо зависят от числа заряженных частиц. Для $p-p$ взаимодействий эта зависимость приведена в таблице II.

Т а б л и ц а II.

	1	2	4	6 + 8
\bar{P}_S Протоны		1280 ± 60	1020 ± 50	980 ± 53
/Mэв/c/ π -мезоны		660 ± 43	394 ± 30	370 ± 33
\bar{P}_I Протоны		394 ± 31	395 ± 32	405 ± 31
/Mэв/c/ π -мезоны		437 ± 60	246 ± 22	270 ± 35

x/ В таблице I из данных по $p-p$ взаимодействиям исключены случаи с числом вторичных заряженных частиц $n = 1$.

Величина P_1 не только слабо зависит от множественности, но и остается примерно постоянной в очень широком интервале энергий первичного протона. Эта величина, вернее P_1^2 , является, вероятно, характерной для поперечных размеров области взаимодействия. Поэтому можно полагать, что область взаимодействия, по-видимому, не меняется с энергией.

Одной из величин, характеризующих p - N - взаимодействия является коэффициент неупругости k , который определяется как доля кинетической энергии нуклонов в с.ц.и., идущая на образование π -мезонов. Экспериментальное значение k для p - p - взаимодействий оказалось равным $0,55 \pm 0,02$, что хорошо согласуется с данными работ ^{15,16/}, выполненных при той же энергии. Следует подчеркнуть, что коэффициент неупругости остается примерно постоянным в очень широком интервале энергий.

Для p - p - взаимодействий было построено энергетическое распределение протонов отдачи в л. системе. Оно приведено на рис. 2 вместе с распределениями, рассчитанными по одномезонной схеме и по статистической теории ^{17/}. Можно видеть, что расчет по одномезонной схеме качественно согласуется с экспериментальными результатами, тогда как статистическая теория им противоречит.

Далее были получены угловые распределения вторичных протонов и π -мезонов в с.ц.и. Для протонов из p - p - взаимодействий угловое распределение резко анизотропно, а для π -мезонов степень анизотропии значительно меньше. Эти распределения изображены на рис. 3. Там же приведены результаты расчета, выполненного по одномезонной схеме. Можно видеть, что теоретическое и экспериментальное распределения π -мезонов довольно хорошо согласуются. Более резкая анизотропия теоретического распределения протонов по сравнению с экспериментальным связана возможно с тем, что при расчете пренебрегалось поперечным импульсом "изобар", возникающих при обмене виртуальным π -мезоном ^{x/}. Учет этого обстоятельства привел бы к более широкому угловому распределению протонов.

^{x/} Под "изобарами" здесь понимаются возбужденные системы, образовавшиеся в результате обмена π -мезоном. Масса такой "изобары" равна суммарной энергии частиц, возникших при ее распаде, в системе покоя "изобары".

Анализ зависимости углового распределения от множественности n показывает, что степень анизотропии уменьшается при увеличении n .

В угловом распределении протонов из p - n - взаимодействий наблюдается заметная асимметрия /см. рис. 4а/. В качестве меры асимметрии можно использовать величину $\Delta = \frac{p_{вп.} - p_{наз.}}{N}$, где $p_{вп.}$ и $p_{наз.}$ - числа частиц, летящих в переднюю и заднюю полусферы, а N - число взаимодействий. В таблице III приведены значения Δ для разной множественности ^{x/}. Величины Δ , рассчитанные по одномезонной схеме, /нижняя графа таблицы III / хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Т а б л и ц а III .

n	1	3	5	7 + 9
Δ экс.	-	$0,5 \pm 0,09$	$0,0 \pm 0,21$	$-0,64 \pm 0,84$
Δ теор.	0,43	0,61	0,03	-0,88

Угловое распределение π -мезонов для p - n - взаимодействий приведено на рис. 4б.

В главе IV проводится обсуждение экспериментальных результатов и рассматриваются некоторые возможные эксперименты по исследованию периферических взаимодействий.

Проведенное сравнение со статистической теорией показывает, что большинство экспериментальных результатов не может быть объяснено в рамках этой теории. С другой стороны, такие экспериментальные факты, как сравнительно малая доля энергии протона, идущая на образование мезонов, резкая анизотропия углового распределения нуклонов, движение протона и нейтрона в с.ц.и. после взаимодействия в том же направлении, как и до взаимодействия наводят на мысль о существенной роли периферических взаимодействий. Как указывалось выше, периферические взаимодействия можно, по-видимому, связать с таким процессом, в результате которого нуклоны обмениваются одним π -мезоном. Довольно хорошее согласие

^{x/} Экспериментальное значение Δ для случаев $n = 1$ не приводится, так как при $n = 1$ не рассматривались случаи с углом вылета $\theta_{\Delta} < 5^\circ$.

экспериментальных данных с результатами расчета, выполненного по одно-мезонной схеме, указывает на справедливость такого подхода.

Представляет большой интерес выяснить вопрос о роли центральных взаимодействий. Такое разделение взаимодействий на два класса носит конечно условный характер. Естественно предположить, что при переходе от малой множественности к большой относительная роль центральных столкновений увеличивается. Это согласуется с экспериментальными данными, свидетельствующими об изменении импульсных и угловых характеристик вторичных нуклонов. Более подходящим критерием выделения центральных столкновений является величина потерь энергии. Если условно считать, что "чисто центральные" соударения характеризуются очень большими потерями энергии, то следует заключить, что число таких соударений невелико. Укажем, например, что среди всех $p-N$ взаимодействий, имеющих два вторичных протона, лишь в $\approx 10\%$ случаев оба протона в с.ц.и. были испущены в одну сторону. Более определенные выводы о характере центральных соударений сделать в настоящее время трудно. Важная информация может быть, по-видимому, получена при изучении $p-N$ взаимодействий с очень большими потерями энергии.

С другой стороны, задачи по изучению периферических /одно-мезонных/ взаимодействий могут быть поставлены более четко. Поэтому были рассмотрены некоторые эксперименты, основанные на различных особенностях одно-мезонных взаимодействий, как на нуклонах так и на ядрах, которые, по-видимому, позволят в некоторых случаях определить роль одно-мезонных диаграмм и установить критерии их выделения /18/.

В заключение на основании изучения взаимодействий протон-нуклон при энергии 8 Бэв можно сделать следующие выводы.

1/ В $p-N$ взаимодействиях на образование π -мезонов в среднем идет сравнительно малая доля энергии / $\approx 40\%$ в л. системе /.

2/ Средние характеристики вторичных частиц / \bar{P}_c , \bar{P}_1 , \bar{n}_p , \bar{n}_π / сравнительно слабо изменяются с изменением множественности.

3/ Угловое распределение протонов в $p-p$ взаимодействиях резко анизотропно в с.ц.и., причем степень анизотропии уменьшается с увеличением множественности.

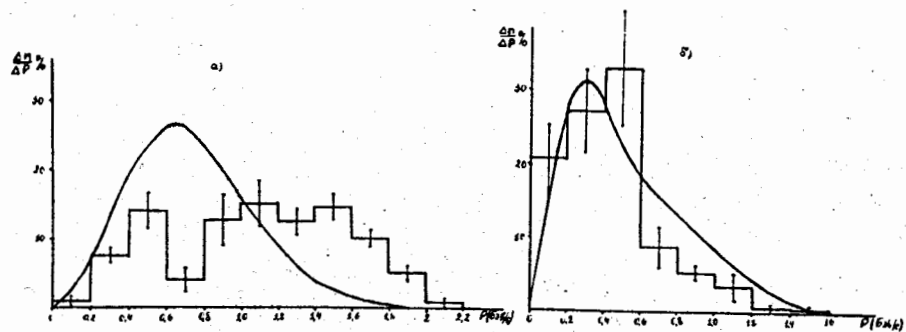
4/ Угловое распределение π -мезонов в с.ц.и. также анизотропно, но значительно шире, чем для протонов.

5/ В угловом распределении протонов в с.ц.и. для $p-p$ взаимодействий наблюдается заметная асимметрия, причем протоны вылетают преимущественно в переднюю полусферу.

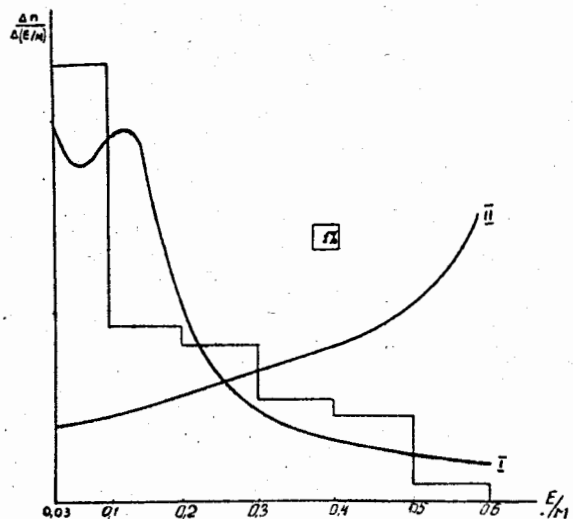
6/ Довольно хорошее согласие экспериментальных данных с расчетом, выполненным по одно-мезонной схеме, указывает на существенную роль одно-мезонных взаимодействий.

7/ Центральные взаимодействия, т.е. взаимодействия с большими потерями энергии, составляют примерно 10% от полного числа взаимодействий.

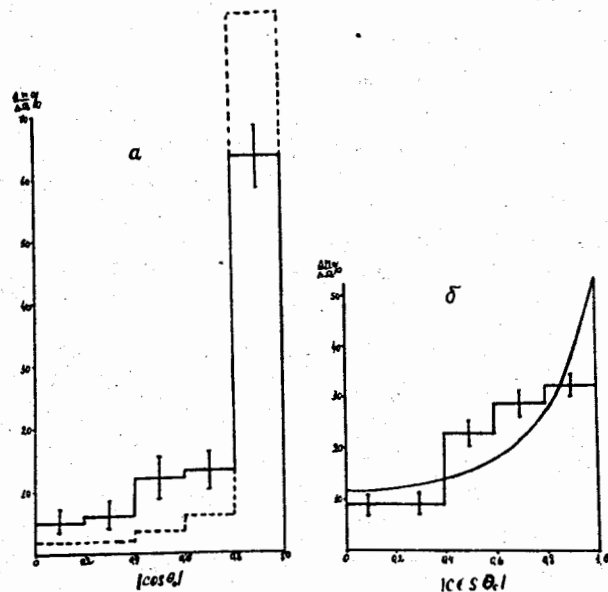
Основные результаты диссертации опубликованы в работах /4,6,7-8,11-13,18/.



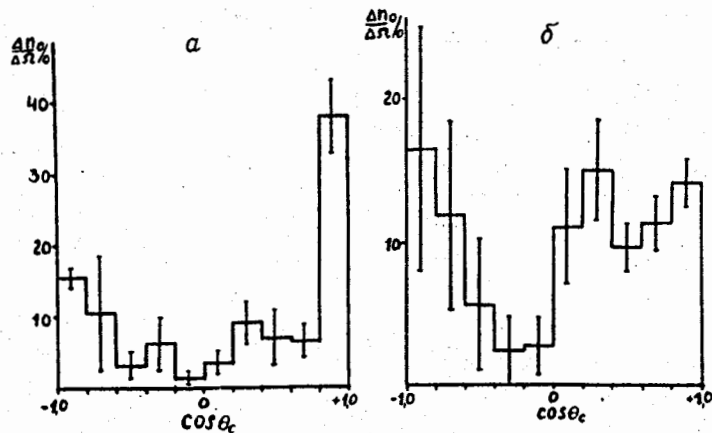
Р и с. 1. Импульсные распределения протонов /а/ и π -мезонов /б/ в р-р -взаимодействиях в с.ц.и.. Плавные кривые - результат расчета по статистической теории.



Р и с. 2. Энергетическое распределение протонов отдачи в л.с.и. для р-р -взаимодействий. Кривая I - результат расчета по одномезонной схеме, кривая II - по статистической теории.



Р и с. 3. Угловое распределение протонов /а/ и π -мезонов /б/ в с.ц.и. для р-р -взаимодействий. Пунктирная гистограмма на рис. /а/ и плавная кривая на рис. /б/ - результат расчета по одномезонной схеме.



Р и с. 4. Угловое распределение протонов /а/ и π -мезонов /б/ в с.ц.и. для р-п -взаимодействий.

Л и т е р а т у р а

1. Д.И. Блохинцев, CERN Simposium 2,155 /1956/.
2. G.F.Chew, F.E.Low. Phys. Rev., 113, 1640 (1959).
3. И.М. Дремни, Д.С. Чернавский. ЖЭТФ, 38, 229 /1960/.
4. И.М. Граменицкий, И.М. Дремни, В.М. Максименко, Д.С. Чернавский, ЖЭТФ, 40, 1093 / 1961 /
5. Б.П. Банник, М.И. Подгорецкий, ПТЭ, 3, 38 /1960/.
6. Н.П. Богачев, С.А. Бунятов, И.М. Граменицкий, В.Б. Любимов, Ю.П. Мереков, М.И. Подгорецкий, В.М. Сидоров, Д. Тувдэндорж. ЖЭТФ, 37, 1225 /1959/.
7. Ван Шу-фень, Т. Вишки, И.М. Граменицкий, В.Г. Гришин, Н. Доллажав, Р.М. Лебедев, А.А. Номофилов, М.И. Подгорецкий, В.Н. Стрельцов, ЖЭТФ, 39, 957 /1960/.
8. Ван Шу-фень, Т. Вишки, И.М. Граменицкий, В.Г. Гришин, Н. Доллажав, И.М. Дремни, З. Корбел, Р.М. Лебедев, В.М. Максименко, А.А. Номофилов, М.И. Подгорецкий, Л. Роб, В.Н. Стрельцов, Д. Тувдэндорж, М.С. Хвастунов, Д.С. Чернавский.
Proc. 10th Ann. Conf. of High Energy Phys. at Roch. p. 94 (1960).
9. Т. Вишки, И.М. Граменицкий, З. Корбел, А.А. Номофилов, М.И. Подгорецкий, Л. Роб, В.Н. Стрельцов, Д. Тувдэндорж, М.С.Хвастунов. Препринт ОИЯИ Р-745 /1961/, ЖЭТФ /в печати/.
10. W.H.Barkas, D.M.Young. UCKL - 2579 (1954).
11. И.М. Граменицкий, З. Корбел, Л. Роб. ПТЭ № 1, 42 /1961/.
12. Т. Вишки, И.М. Граменицкий, М.И. Подгорецкий. Препринт ОИЯИ, Р-838 /1960/.
13. Г.Л. Батаятян, И.М. Граменицкий, А.А. Номофилов, М.И. Подгорецкий, Э.С. Скжипчак. ЖЭТФ, 36, 890 /1959/.
14. В.М. Максименко, Диссертация, ФИАН, /1960/.
15. Н.П. Богачев, С.А. Бунятов, Ю.П. Мереков, В.Н. Сидоров, В.А. Ярба, ЖЭТФ, 38, 1348 /1960/.
16. Н.П. Богачев, Е.Л. Григорьев, Ю.П. Мереков. ЖЭТФ /в печати/.
17. В.С. Барашенков, В.А. Беляков, Э.Г. Бубелев, Ван Шу-фень, В.М.Мальцев, Тен Гын, К.Д. Толстов. Nucl. Phys. 9,74 /1958/.
18. И.М. Граменицкий, М.И. Подгорецкий, О.А. Хрусталева. Препринт ОИЯИ Р-699 /1961/.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 ноября 1961 года.