

1  
Ф-83

940



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

---

А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин

Р - 940

О ВЕРОЯТНОСТИ РАСПАДОВ

$\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu$  и  $\pi^+ \rightarrow \gamma + e^+ + \nu$   
ЖЭТФ, 1962, т. 42, вып. 1, с. 1421-1424

А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин

P - 940

О ВЕРОЯТНОСТИ РАСПАДОВ

$\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu$  и  $\pi^+ \rightarrow \gamma + e^+ + \nu$

Направлено в ЖЭТФ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

### А н н о т а ц и я

При помощи установки, содержащей быстродействующие черенковские спектрометры, получена экспериментальная граничная оценка для вероятности  $\beta$ -распада  $\pi^+$ -мезона:  $\omega(\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu) / \omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu) < 1,5 \cdot 10^{-8}$ . Константа  $G$ , определяющая интенсивность этого распада, ограничена неравенством  $G < 1,7 \cdot 10^{-49}$  эрг·см<sup>3</sup>. Получена также оценка для дифференциальной вероятности радиационного распада  $\pi^+$ -мезона:

$\frac{d\omega(\pi^+ \rightarrow \gamma + e^+ + \nu)}{d\Omega} \theta=180^\circ / \omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu) < 9 \cdot 10^{-9}$  стерад<sup>-1</sup>, где  $\theta$  - угол разлета между  $\gamma$ -квантом и позитроном. Отсюда следует, что структурно-зависимая часть вероятности этого распада ограничена неравенством  $\omega_{SD}(\pi^+ \rightarrow \gamma + e^+ + \nu) / \omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu) < 1,5 \cdot 10^{-7}$ .

### Summary

With the help of an apparatus which included fast Cerenkov spectrometers an experimental evaluation for the probability of  $\pi^+$  meson  $\beta$  decay  $\omega(\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu) / \omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu) < 1,5 \cdot 10^{-8}$  have been obtained. The constant  $G$  which determines the intensity of this decay is limited by the inequality  $G < 1,7 \cdot 10^{-49}$  erg·cm<sup>3</sup>. The evaluation has been obtained also for the differential probability of radiative  $\pi^+$  meson decay:

$\frac{d\omega(\pi^+ \rightarrow \gamma + e^+ + \nu)}{d\Omega} \theta=180^\circ / \omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu) < 9 \cdot 10^{-9}$  sterad<sup>-1</sup> where  $\theta$  is the angle between a  $\gamma$  quantum and a positron.

Hence it follows that the structure-dependent part of this decay probability is limited by the inequality  $\omega_{SD}(\pi^+ \rightarrow \gamma + e^+ + \nu) / \omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu) < 1,5 \cdot 10^{-7}$ .

Исследование  $\beta$ -распада  $\pi^-$ -мезона



позволяет непосредственно проверить, сохраняется ли векторный ток в слабых взаимодействиях<sup>/1/</sup>. Интерес, проявляемый в настоящее время к этому процессу, впервые предсказанному Зельдовичем<sup>/2/</sup> еще в 1954 г., чрезвычайно велик, поскольку речь идет о проверке одного из основных предположений, заложенных в фундамент современной теорий слабого взаимодействия. К сожалению, экспериментальное исследование  $\beta$ -распада  $\pi^-$ -мезона сопряжено с очень большими трудностями, так как вероятность его ничтожно мала - согласно универсальной теории<sup>/1,3/</sup>, относительная вероятность  $\lambda = \omega(\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu) / \omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu)$  равна  $1,03 \cdot 10^{-8}$ . В нашей предыдущей работе<sup>/4/</sup> были получены первые экспериментальные сведения о  $\beta$ -распаде  $\pi^+$ -мезона, подтвердившие предсказание теории о весьма малой величине  $\lambda$ , для которой была найдена граничная оценка  $\lambda < 7 \cdot 10^{-8}$ . Ниже сообщаются результаты новых исследований  $\beta$ -распада  $\pi^+$ -мезона, выполненных при помощи усовершенствованной аппаратуры, эффективность которой была повышена в несколько раз по сравнению с использовавшейся в работе<sup>/4/</sup>. При проведении этих исследований были получены также сведения о радиационном распаде  $\pi^-$ -мезона



который также представляет интерес с точки зрения гипотезы сохранения векторного тока<sup>/5/</sup>.

Постановка проведенных экспериментов в общих чертах совпадает с описанной в работе<sup>/4/</sup>.  $\pi^+$ -мезоны проходили через систему сцинтилляционных счетчиков и тормозящих фильтров и останавливались в сцинтилляторе счетчика-мишени. Для регистрации двух летящих в противоположные стороны  $\gamma$ -квантов от распада  $\pi^0$ -мезонов использовались черенковские спектрометры полного поглощения. Существенному изменению подверглась лишь радиотехническая часть установки. В новом исполнении она состояла из двух быстродействующих схем совпадений. Одна из схем, с разрешением  $2 \cdot 10^{-9}$  сек, служила для выделения актов остановки  $\pi^-$ -мезонов методом "детектора остановок"<sup>/6/</sup>. Другая, основная, схема совпадений предназначалась для регистрации задержанных совпадений между двумя спектрометрами и счетчиком, находившимся в пучке  $\pi^-$ -мезонов. Сигналы от быстрых схем совпадений поступали в выходную медленную схему совпадений.

Исследование и наладка регистрирующей аппаратуры были выполнены на пучке отрицательных  $\pi^-$ -мезонов. При этом вместо счетчика-мишени между спектрометрами помещался сосуд с жидким водородом и регистрировались  $\gamma$ -кванты от распада  $\pi^0$ -мезонов, возникающих в реакции  $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$  при остановке  $\pi^-$ -мезонов в водороде. На рис. 1 приведена полученная в этих экспериментах основная характеристика регистрирующей аппаратуры - кривая задержанных совпадений между счетчиком, находившимся в пучке  $\pi^-$ -мезонов, и двумя спектрометрами (так называемые "ворота"). Как видно из этого рисунка, ширина "ворот" достаточно велика ( $40 \cdot 10^{-9}$  сек), чтобы можно было эффективно регистрировать  $\beta$ -распад  $\pi^+$ -мезонов, характерное время которого равно  $25,6 \cdot 10^{-9}$  сек. Наряду с этим аппаратура обеспечивала высокое разрешение совпадений между спектрометрами ( $3 \cdot 10^{-9}$  сек). Полная эффективность установки для регистрации  $\beta$ -распада  $\pi^+$ -мезонов была определена также на пучке  $\pi^-$ -мезонов и оказалась равной 8%. При интенсивности остановок  $\pi^+$ -мезонов, составлявшей  $1,2 \cdot 10^4$  сек<sup>-1</sup>, следовало, таким образом,

$N$ , отн. ед.

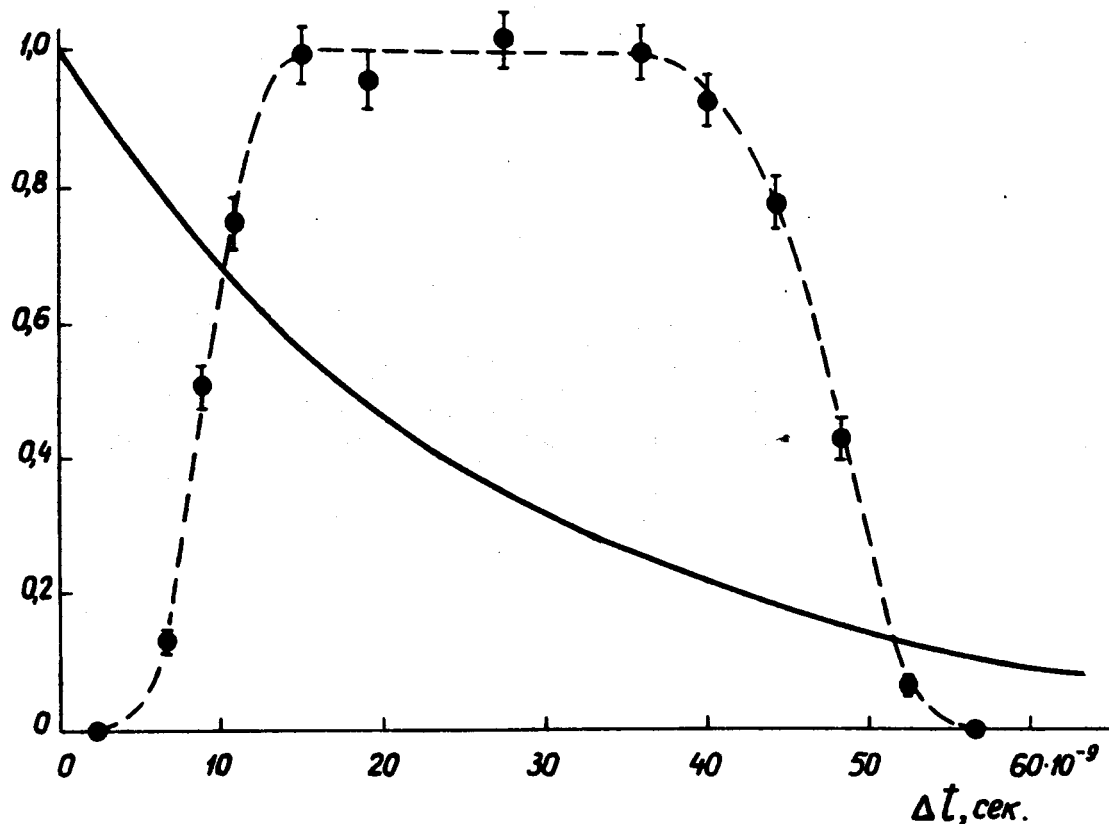


Рис. 1. Временные ворота в схеме задержанных совпадений.  $\Delta t$  - переменная задержка, вводимая между счетчиками, фиксирующими момент остановки  $\pi^-$ -мезона в водороде, и спектрометрами, регистрирующими  $\gamma$ -кванты от распада  $\pi^0$ -мезонов.  $N$  - скорость счета совпадений. Жирная кривая - экспонента с показателем, равным времени жизни  $\pi^+$ -мезона.

ожидать, что в отсутствие фона средняя скорость регистрации должна быть равной одному отсчету за 20 час.

Основные измерения, выполненные на пучке  $\pi^+$ -мезонов, продолжались около 30 часов, в течение которых через установку было пропущено  $2 \cdot 10^9$   $\pi^+$ -мезонов. При этом было зарегистрировано два отсчета выходной схемы совпадений. В отсутствие фона это соответствует (в единицах  $\lambda$ ) величине  $\lambda_p = 2,4 \cdot 10^{-8}$ . Для определения уровня фона был выполнен контрольный эксперимент, во время которого была введена дополнительная задержка сигналов, поступающих со сцинтилляционных счетчиков в схемы совпадений (см. рис. 2). Предварительно методом случайных совпадений было проведено исследование временной структуры пучка, показавшее, что последняя имеет четко выраженный периодический характер (рис. 2). Величина задержки была подобрана равной периоду временной структуры пучка ( $76 \cdot 10^{-9}$  сек), что гарантировало идентичность фоновых условий в контрольном и основном экспериментах (с точностью до небольшого вклада от перезарядки  $\pi^+$ -мезонов на лету, который был определен в отдельных экспериментах). Эффективность регистрации  $\beta$ -распада  $\pi^+$ -мезонов снижалась вследствие задержки в 20 раз. При проведении фоновых измерений было зарегистрировано два отсчета, что соответствовало среднему уровню фона  $\lambda_f = 3,4 \cdot 10^{-8}$  с учетом вклада от перезарядки  $\pi^+$ -мезонов на лету, составлявшего  $0,2 \cdot 10^{-8}$ .

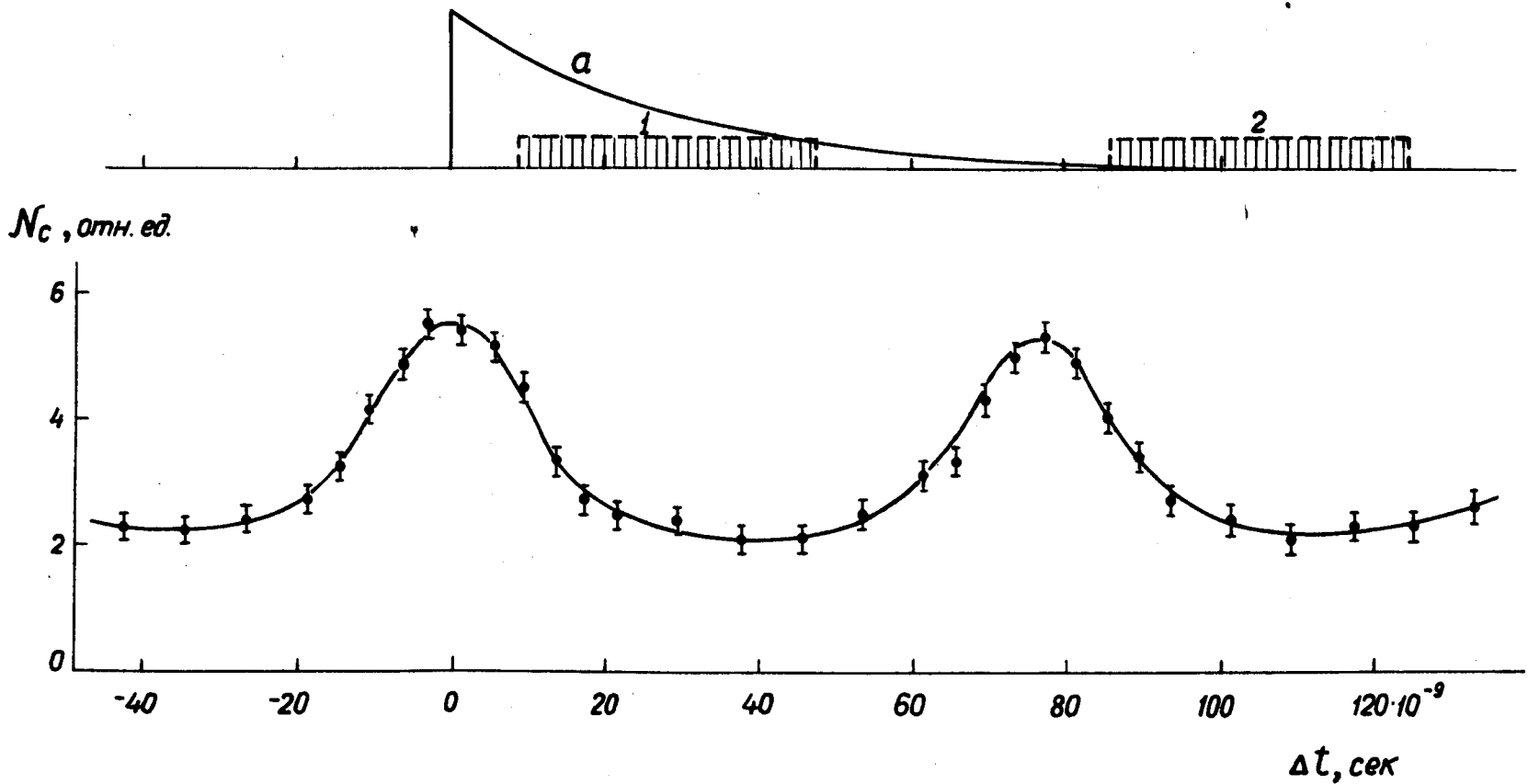


Рис. 2. Временная структура пучка  $\pi^+$ -мезонов.  $N_c$  - скорость счета случайных совпадений в зависимости от сдвига  $\Delta t$  между двумя счетчиками, помещенными в пучок. Верхняя диаграмма показывает типичное расположение ворот во время основного (1) и фонового (2) опытов.  
 а - экспоненциальная распадная кривая.

Используя экспериментально полученные значения  $\lambda_p$  и  $\lambda_\phi$ , можно найти интегральную функцию распределения  $W(\lambda > \lambda_m)$  для относительной вероятности  $\lambda$ . В нашем случае она имеет вид:

$$W(\lambda > \lambda_m) = \int_{2\lambda_m/\lambda_p}^{\infty} e^{-\eta} d\eta \int_0^{\infty} \frac{(\eta + k\xi)^2 \xi^2}{2(2 + 2k\xi + k^2\xi^2)} e^{-\xi} d\xi, \quad (3)$$

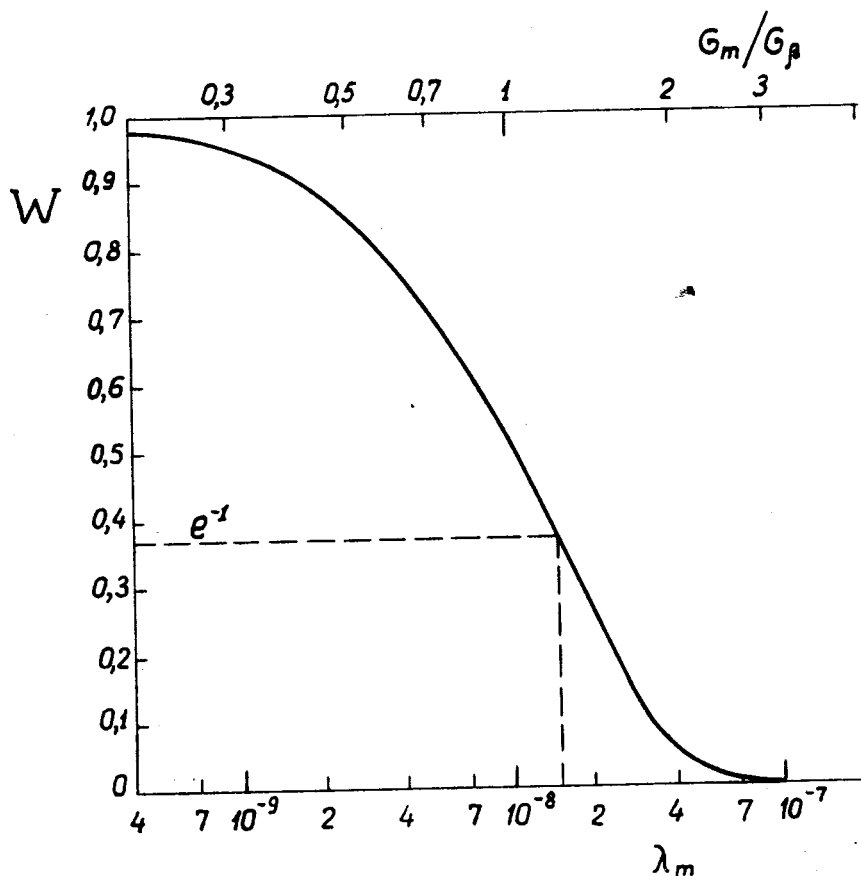


Рис. 3. Интегральные вероятности  $W(\lambda > \lambda_m)$  и  $W(G > G_m)$ .

где  $k = \lambda_\phi / \lambda_p$ . Функция  $W(\lambda > \lambda_m)$  приведена на рис. 3. Она оказалась близкой к экспоненте с показателем спада  $1,5 \cdot 10^{-8}$ . Величина этого показателя является граничной оценкой для относительной вероятности  $\beta$ -распада  $\pi^+$ -мезона (на уровне  $1/e$ ):

$$\omega(\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu) / \omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu) < 1,5 \cdot 10^{-8}.$$

Полученная оценка находится в непосредственной близости от величины, предсказываемой универсальной теорией<sup>/1,3/</sup>, и свидетельствует в пользу гипотезы сохранения векторного тока (хотя и не доказывает ее), поскольку в случае несохранения векторного тока вероятность  $\beta$ -распада  $\pi^+$ -мезона могла бы быть и существенно большей. Приведенная выше оценка позволяет найти верхнюю границу для величины константы  $G$ , определяющей интенсивность  $\beta$ -распада  $\pi^+$ -мезона:

$$G < 1,2 G_\beta.$$

Здесь  $G_\beta = 1,40 \cdot 10^{-49}$  эрг·см<sup>3</sup> - векторная константа  $\beta$ -распада ядер<sup>/1/</sup>. Функция распределения для  $G$  приведена на рис. 3.

Как было показано Бладмэном и Янгом<sup>/5/</sup>, исследования радиационного распада  $\pi$ -мезона (2) могут дать определенные сведения о сохранении векторного тока. Для этого необходимо изучать сравнительно редкие случаи распада, когда угол разлета между позитроном и  $\gamma$ -квантом  $\theta$  близок к  $180^\circ$ . При этом оказывается возможным экспериментально выделить наиболее интересную, "структурно-зависимую"<sup>/5/</sup> часть радиационного распада, которая связана не с обычным тормозным излучением, а возникает вследствие виртуальных сильных взаимодействий в процессе распада. В случае сохранения векторного тока вероятность структурно-зависимого радиационного распада может быть вычислена; правда, предсказания теории при этом не столь определены, как в случае  $\beta$ -распада  $\pi$ -мезона.

Установка, использованная в настоящей работе, позволяла регистрировать радиационный распад  $\pi^+$ -мезонов в условиях, обеспечивающих эффективное выделение структурно-зависимой части ( $\theta = 180^\circ$ , высокий энергетический порог спектрометров). Проведенные измерения дают возможность получить граничную оценку для дифференциальной вероятности радиационного распада:

$$\frac{d\omega(\pi^+ \rightarrow \gamma + e^+ + \nu)}{d\Omega} \theta = 180^\circ / \omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu) < 9 \cdot 10^{-8} \text{ стерад}^{-1}.$$

Эта оценка расположена существенно ниже найденной ранее<sup>/7,5/</sup> экспериментальной граничной оценки  $4 \cdot 10^{-6}$  стерад<sup>-1</sup> и находится на уровне, близком к величине  $3,6 \cdot 10^{-8}$  стерад<sup>-1</sup>, теоретически предсказанной для случая сохранения векторного тока<sup>/5/</sup>. Если воспользоваться вычисленным в работе<sup>/5/</sup> угловым распределением, то из полученных нами данных следует, что полная, проинтегрированная по  $\theta$  относительная вероятность структурно-зависимого радиационного распада  $\pi^+$ -мезона, для которой универсальная теория<sup>/5/</sup> дает величину  $6 \cdot 10^{-8}$ , ограничена неравенством:

$$\omega_{SD}(\pi^+ \rightarrow \gamma + e^+ + \nu) / \omega(\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu) < 1,5 \cdot 10^{-7}.$$

В заключение пользуемся случаем поблагодарить С.С. Герштейна, Б.Понтекорво и О.В. Савченко за полезные обсуждения.

#### Л и т е р а т у р а

1. R.P. Feynman, M. Gell-Mann. *Phys. Rev.*, 109, 193, 1958.
2. Я.Б. Зельдович. ДАН СССР, 97, 421, 1954.
3. G. Da Prato, C. Putzolu. *Nuovo Cim.*, 21, 541, 1961.
4. А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин. ЖЭТФ, 42, 643, 1962.  
A.F. Dunaitzev, V.I. Petrukhin, Yu.D. Prokoshkin, V.I. Rykalin. *Nuovo Cimento*, 22, 5, 1962.
5. S.A. Bludman, J.A. Young. *Phys. Rev.*, 118, 602, 1960.
6. A.F. Dunaitzev, Yu.D. Prokoshkin, Tang Syao-wei. *Nucl. Instr.*, 8, 11, 1960.
7. J.M. Cassels, M. Rigby, A.M. Wetherell, J.R. Wormald. *Proc. Phys. Soc.* A70, 729, 1957.
- G.H. Burkhardt, J.M. Cassels, M. Rigby, A.M. Wetherell, J.R. Wormald. *Proc. Phys. Soc.*, 72, 144, 1958.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 марта 1962 года.