

Слабые взаимодействия элементарных частиц

В сентябре 1963 г. в Брукхейвенской национальной лаборатории (США) состоялась Международная конференция по фундаментальным аспектам слабых взаимодействий. Участниками этой конференции от СССР были Ю. В. Требуховский и автор этих строк.

Как известно, физика слабых взаимодействий элементарных частиц получила особенно широкое развитие после того, как была сформулирована теория универсального четырехфермионного взаимодействия. Объяснив на основе этой теории большой круг явлений, обусловленных слабыми взаимодействиями в процессах с участием нестранных частиц (распад μ - и π -мезонов, μ^- -захват, β -распад нейтрона и ядер и т. д.), физика слабых взаимодействий столкнулась с рядом нерешенных проблем слабых взаимодействий с участием странных частиц. В первую очередь выяснилось, что для понимания этих явлений требуется более полная экспериментальная картина. Наконец, в последние годы начались исследования по физике нейтринных взаимодействий, результаты которых имеют фундаментальное значение для понимания процессов с участием слабых взаимодействий. Эти, а также другие причины обусловили тот большой интерес, который сейчас проявляется к решению фундаментальных проблем физики слабых взаимодействий. Настоящая конференция была посвящена обсуждению новейших экспериментальных и теоретических работ в этой области.

В конференции приняло участие около 150 представителей из лабораторий многих стран Европы, Америки и Азии. Обсуждались следующие проблемы слабых взаимодействий: 1) регенерационные эффекты в пучках K_1^0 - и K_2^0 -мезонов; 2) экспериментальная ситуация с правилом $\Delta Q = \Delta S$; 3) структура лептонных распадов K -мезонов; 4) лептонные распады гиперонов; 5) нелептонные распады странных частиц и правило $\Delta Q = \Delta S$; 6) распадные свойства Ξ -гиперонов; 7) лептонные процессы с сохранением странности; 8) взаимодействия нейтрино высоких энергий; 9) астрофизические аспекты физики нейтрино; 10) теоретические вопросы физики слабых взаимодействий. По этой программе на конференции выступило с сообщениями 37 человек.

Ниже излагаются основные результаты, содержащиеся в представленных докладах.

Нейтральные K -мезоны в силу своих специфических свойств являются одним из интереснейших объектов исследований. Имеющиеся сейчас сведения об абсолютной величине разности масс K_1^0 - и K_2^0 -мезонов $\delta = |m_{K_1^0} - m_{K_2^0}|$, полученные в различных опытах, были суммированы в обзорном докладе В. Фитса. В еди-

ницах времени жизни K_1^0 -мезона δ характеризуется следующими величинами:

$$\delta = \begin{cases} 0,84 \pm 0,29 \\ \quad \quad -0,22 \\ 1,9 \pm 0,3 \\ 1,5 \pm 0,2 \\ 1,6 \pm 0,65 \\ \quad \quad -0,35 \\ 1,3 \pm 0,5 \\ \quad \quad -0,4 \\ \quad \quad 0,5 \end{cases}$$

Полученные значения δ в основном концентрируются около величины, близкой к 1,5. Но имеются и заметные отклонения от нее. Три первые значения были опубликованы ранее. Четвертое было получено Ф. Крауфордом в опытах с 72-дюймовой водородной пузырьковой камерой на основе наблюдений K^0 -мезонов из реакции $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$. Пятая величина является результатом опытов по регенерации K_1^0 -мезонов в пучке K_2^0 -мезонов в жидководородной пузырьковой камере, о которых докладывал Ф. Эйслер. Последнее значение получено в опытах по регенерации в медных пластинах с детектированием K_1^0 -мезонов с помощью искровых камер в комбинации с магнитными полями. В этих опытах, о которых доложил Д. Кроинг, была исследована зависимость регенерации K_2^0 -мезонов в K_1^0 -мезоны на расстоянии G между двумя медными пластинами толщиной l_1 и l_2 ($l_1 = 1$ дюйм и $l_2 = 2$ дюйма). Эта зависимость определяется формулой для амплитуды K_1^0 -компоненты позади регенератора

$$a_{K_1^0}(G) = A \left(e^{i\delta l_1} - e^{-\frac{l_2}{2}} \right) e^{\frac{G+l_1}{2}} e^{i\delta(G+l_1)},$$

где A — константа, а G и l_i выражены в единицах распадных длин K_1^0 -мезонов. Измеряя интенсивность K_1^0 -мезонов позади регенератора как функцию G , можно получить сведения о величине δ . Обращает на себя внимание то обстоятельство, что такая постановка опыта существенно отличается от других, где получались сведения о величине δ , и в этом опыте получено заметно меньшее ее значение по сравнению с результатами других опытов. Правда, обобщенный результат носит предварительный характер, поскольку обработка материала не завершена.

Впервые получены сведения о знаке разности δ в опытах на 72-дюймовой жидководородной камере в Беркли (США), о чем было рассказано Крауфордом. Для этого была проведена обработка экспериментального материала о генерации K^0 -мезонов с известным импульсом в реакции $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$ с последую

и их рассеянием на водороде



и распадом



Из-за различия взаимодействий K^0 - и \bar{K}^0 -мезонов с протонами для интенсивности K_1^0 -составляющей в таком ансамбле нейтральных K -мезонов, рассеянных на протонах, получена формула

$$N_{K_1^0}(t) \sim |a + \bar{a}|^2 e^{-\gamma_1 t} + |a - \bar{a}|^2 e^{-\gamma_2 t} + \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} t \{ (|a|^2 - |\bar{a}|^2) \cos \delta t + 2 \operatorname{Im} a \bar{a} \sin \delta t \},$$

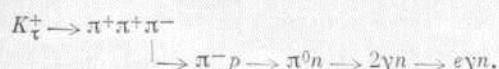
где γ_i — вероятность распада нейтрального K -мезона i -го типа, a и \bar{a} — функции, учитывающие различие взаимодействий K^0 и \bar{K}^0 -мезонов с протонами. Это выражение содержит член с $\sin \delta t$, являющийся нечетной функцией величины разности масс K_1^0 - и K_2^0 -мезонов δ и приводящий к тому, что временная зависимость K_1^0 -распадов этого ансамбля нейтральных K -мезонов будет иметь различный вид в зависимости от знака величины δ .

В результате обработки сведений о 18 событиях этого типа показано, что если $|\delta|$ имеет величину около 1,5, то $\delta = 1,4$. Это означает, что K_2^0 -мезон тяжелее K_1^0 -мезона. Статистическая обработка результатов измерений говорит о том, что вероятность обратного знака величины δ порядка 1/1000. Следует, однако, напомнить, что наши знания о величине δ еще не достаточно надежны, поэтому этот вывод не может быть признан окончательным.

В заключение этого раздела следует упомянуть о последних измерениях величины времени жизни K_2^0 -мезона, которые были приведены в Брукхейвенской национальной лаборатории с использованием методики искровых камер. Об этих опытах было рассказано в сообщении Повновича. Они дали следующее значение времени жизни K_2^0 -мезона: $\tau_{K_2^0} = (5,83 \pm 0,68) \times 10^{-8}$ сек.

В последние годы появились сведения о том, что правило $\Delta Q = \Delta S$ для сильно взаимодействующих частиц в лептонных распадах странных частиц не является точным. Сейчас продолжается накопление экспериментального материала по этому вопросу. Данные о β - и μ -распаде Σ^+ -гиперонов, доложенные Плато и Сноу, пока не дают новых свидетельств в пользу существования переходов с $\Delta Q = -\Delta S$, а старый случай Баркаса находится под сильным сомнением, поскольку ему может быть дана иная интерпретация, исключающая его из свидетельств в пользу этого правила.

В Радиационной лаборатории в Беркли (США) исследован K_{e4}^+ -распад. Обнаружено 50 случаев этого распада на $3 \cdot 10^6$ обычных распадов K^+ -мезонов; 49 из них идут по схеме $K_{e4}^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu$ в соответствии с правилом $\Delta Q = \Delta S$. Один случай мог бы соответствовать каналу распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu$, где имеет место $\Delta Q = -\Delta S$, но он, что более вероятно, интерпретируется как τ -распад K^+ -мезона с перезарядкой π^- -мезона на нейтроне, когда γ -кванты от π^0 -мезона при конверсии дают один видимый электрон, т. е. по схеме



Наконец, результат выполненных Д. Штейнбергером опытов по исследованию временной зависимости лептонных распадов ансамбля K^0 - и \bar{K}^0 -мезонов, генерируемых при аннигиляциях остановившихся антипротонов, не соответствует ожидавшемуся на основе результатов прежних опытов и скорее свидетельствует о том, что переходов с $\Delta Q = -\Delta S$ в K^0 -мезонных распадах нет.

Таким образом, результаты новых опытов по этому вопросу не дают подтверждений в пользу правила $\Delta Q = -\Delta S$. Если вклад от этого канала в лептонных Σ^- -распадах и имеется, то существующие данные говорят о том, что отношение амплитуд с $\Delta Q = -\Delta S$ и с $\Delta Q = \Delta S$ составляет величину не более 0,06.

Структура лептонных распадов K -мезонов изучается с целью выяснения варианта слабого взаимодействия, описывающего K_{e3} - и $K_{\mu 3}$ -распады, а также получения сведений о формфакторах сильно взаимодействующих частиц в матричных элементах, описывающих этот распад. Ранее были получены экспериментальные данные о спектрах K_{e3}^+ - и $K_{\mu 3}^+$ -распадов. Сейчас получены сведения о K_{e3} -распадах K_2^0 -мезонов. Совместный анализ K_{e3} -распадов K^+ - и K_2^0 -мезонов, проведенный в обзорном докладе Д. Вилса, свидетельствует о том, что наилучшим образом экспериментальные данные описываются векторным вариантом взаимодействия с постоянным формфактором в матричном элементе K_{e3} -распада.

Данные о $K_{\mu 3}$ -распаде не дают возможности сделать окончательный вывод, хотя они также, по-видимому, соответствуют векторному варианту теории. Для окончательного решения вопроса нужны более точные измерения спектра μ -мезонов в области малых энергий. Другой возможный путь — это измерения поляризации μ -мезонов в $K_{\mu 3}$ -распаде, которые готовятся в настоящее время.

Весьма трудоемкие измерения требуются для получения сведений о лептонных распадах гиперонов. «Мировая статистика» сейчас содержит $430 \cdot 10^3$ $\Lambda^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ -распадов, $520 \cdot 10^3$ Σ^- -распадов, $255 \cdot 10^3$ Σ^+ -распадов и 969 Ξ^- -распадов. Имеющиеся данные о вероятностях лептонных распадов гиперонов, приведенные в обзорном докладе А. Руссе, следующие:

$\Lambda^0 \rightarrow \mu e^- \nu$	$(0,82 \pm 0,13) \cdot 10^{-3}$,
$\Lambda^0 \rightarrow \mu \mu^- \nu$	$1 \cdot 10^{-4}$,
$\Sigma^- \rightarrow \mu e^- \nu$	$(1,0^{+0,5}_{-0,3}) \cdot 10^{-3}$,
$\Sigma^- \rightarrow \mu \mu^- \nu$	$(0,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$,
$\Sigma^- \rightarrow \Lambda^0 e^- \nu$	$(0,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$,
$\Sigma^+ \rightarrow \Lambda^0 e^+ \nu$	$0,25 \cdot 10^{-4}$,
$\Xi \rightarrow \Lambda^0 e^- \nu$	$2,3 \cdot 10^{-3}$.

К сожалению, пока не имеется возможности сравнить эти сведения с какими-либо теоретическими предсказаниями.

Данные о спектре $\Lambda^0 \rightarrow \mu e^- \nu$ -распадов не противоречат $V-A$ -варианту теории, но более определенных заключений о варианте теории на основе анализа 92 событий пока сделать нельзя.

Сведения о нелептонных распадах странных частиц были проанализированы Далитцем с точки зрения выполнения в этих распадах эмпирического правила для изменения величины изотопического спина $|\Delta I| = 1/2$. Опытные данные в принципе допускают вклад от амплитуды с $|\Delta I| = 3/2$. Отношение амплитуд

с $|\Delta I| = 3/2$ и с $|\Delta I| = 1/2$ в различных опытах оценивается величиной порядка 0,05—0,1. Исключение составляет результат, полученный из сравнения вероятностей распадов гиперфрагментов $\Lambda^0 \text{H}^4$ и $\Lambda^0 \text{He}^4$, где правило $|\Delta I| = 1/2$ предсказывает, что отношение $\Gamma(\Lambda^0 \text{H}^4) / 2 \Gamma(\Lambda^0 \text{He}^4) \gg 2$, оказавшееся на опыте равным 0,2. Но здесь имеется неопределенность в анализе, связанная с неточным знанием ядерных матричных элементов, описывающих эти процессы.

В Дубне были выполнены измерения отношения вероятности распада K^0 -мезона на три π^0 -мезона к вероятности всех каналов K^0 -распада с вылетом заряженных частиц. Представленная на конференции величина этого отношения, равная $0,24 \pm 0,08$, находится в хорошем соответствии с предсказаниями правила $|\Delta I| = 1/2$.

В последнее время получены сведения о свойствах Ξ -гиперонов и их распадных свойствах. Новые данные по этому вопросу были представлены в обзорном докладе Г. Тихо. Масса Ξ^- -гиперона характеризуется величиной

$$m_{\Xi^-} = (1321,2 \pm 0,3) \text{ Мэв.}$$

Ξ^0 -гиперон легче Ξ^- -гиперона на $(5,6 \pm 1,4) \text{ Мэв}$. Для времени жизни Ξ^- -гиперона получено значение

$$\tau_{\Xi^-} = (1,77 \pm 0,05) \cdot 10^{-10} \text{ сек.}$$

О времени жизни Ξ^0 -гиперона сведения пока неточны. Измеренные значения, полученные в разных опытах, следующие:

$$\tau_{\Xi^0} = \begin{cases} (2,42 \pm 0,3 \\ -0,2) \cdot 10^{-10} \text{ сек;} \\ (3,5 \pm 0,9 \\ -0,7) \cdot 10^{-10} \text{ сек;} \\ (3,9 \pm 1,0 \\ -0,7) \cdot 10^{-10} \text{ сек.} \end{cases}$$

Наиболее вероятное значение спина Ξ^- -гиперона равно 1/2. Если принять спин Ξ^- -гиперона равным 1/2, то его распад по схеме $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$ может происходить в S - и P -состояниях Λ^0 -системы.

Из анализа в таком предположении угловых распределений Λ^0 -распадов и поляризации Λ^0 -гиперонов в Ξ^- -распаде получены следующие величины параметров асимметрии этого распада:

$$a_{\Xi^-} = -0,55 \pm 0,07;$$

$$\beta_{\Xi^-} = +0,32 \pm 0,17;$$

$$\gamma_{\Xi^-} = +0,80 \pm 0,08.$$

Величина разности фаз $\pi \Lambda^0$ -рассеяния в S - и P -состояниях при энергии порядка 70 Мэв составляет величину $\sim 20^\circ$.

Результаты опытов по μ^- -захвату различными ядрами, обобщение которых было сделано в докладах К. Руббин и Л. Вольфенштейна, в основном находятся в хорошем соответствии с предсказаниями теории универсального четырехфермионного взаимодействия (см. таблицу).

Приведенное значение вероятности реакции $\mu^- + \text{He}^3 \rightarrow \text{H}^3 + \nu$, равное $(1440 \pm 90) \text{ сек}^{-1}$, было получено в Технологическом институте Карнеги (США) с помощью методики газового сцинтилляционного счетчика. Ранее эта реакция с помощью диффузионной камеры, наполненной He^3 , была исследована в ОИЯИ

Теоретические и экспериментальные данные о вероятности некоторых процессов при поглощении μ^- -мезонов ядрами

Процесс	Экспериментальные данные, сек ⁻¹	Теоретические данные, сек ⁻¹
Полная вероятность поглощения в жидком водороде	445 ± 43	585
Полная вероятность μ^- рр	464 ± 42	570
Реакция $\mu^- + \text{He}^3 \rightarrow \text{H}^3 + \nu$	1520 ± 50	1530 ± 150
Реакция $\mu^- + \text{C}^{12} \rightarrow \text{B}^{12} + \nu$	1440 ± 90 $+300$	
Полная вероятность поглощения в He^4	6750 ± 750	6900 ± 1500
Реакция $\mu^- + \text{O}^{16} \rightarrow \text{N}^{16*} (\text{O}^-/\text{I}^-)$	368 ± 47	270
Радиационный захват в Ca^{40} $\mu^- + \text{Ca}^{40} \rightarrow \gamma$	$0,38 \pm 0,07$	0,55
$\mu^- + \text{Ca}^{40} \rightarrow \text{все др.}$	$(3,05 \pm 0,35) \cdot 10^{-4}$	$2,310 \cdot 10^{-4}$
Реакция $\mu^- + \text{Ca}^{40} \rightarrow n$ асимметрия	$-1,0 \pm 0,15$	-0,2

Б. Понтекерво с сотрудниками. В новом опыте, выполненном Р. Эдельштейном с сотрудниками, использован в комбинации с газовым ксеноновым счетчиком газовой сцинтилляционный счетчик, наполненный He^3 , в котором останавливались μ^- -мезоны, давая среди других и приведенную выше реакцию. Новая методика позволила существенно повысить статистическую точность измерения вероятности реакции, о которой идет речь.

Из сравнения приведенных в таблице данных видно, что согласие экспериментальных и теоретических величин вполне удовлетворительное в пределах 25—30%. Исключения составляют два опыта по μ^- -захвату в Ca^{40} . Выполненные в ЦЕРНе опыты по радиационному захвату μ^- -мезонов в Ca^{40} дают результат, приводящий к такому значению псевдоскалярной константы, что $g_p = 12g_A$ вместо предсказываемого теорией соотношения $g_p = 8g_A$. Еще более отличный результат дали проведенные в Дубне опыты по асимметрии нейтронов при μ^- -захвате в Ca^{40} , из которых получается $g_p \approx 30g_A$. Причины отклонения неясны.

Другой странный результат был получен в выполненных в ЦЕРНе исследованиях поляризации позитронов в распаде $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu \bar{\nu}$, где она была найдена равной нулю. Для проверки этого результата ставится еще несколько опытов на основе методики использования эффектов взаимодействия позитронов с намагниченным железом.

Была предпринята еще одна попытка обнаружить распад μ^- -мезона по схеме $\mu^- \rightarrow e^- \gamma$. Как известно, отсутствие этого распада послужило основанием для Б. М. Понтекерво предложить гипотезу о двух типах, нейтрино-электронном и мюонном, которая нашла блестящее подтверждение в опытах с нейтрино больших энергий. Новая попытка, предпринятая Г. Андерсоном, чья эта реакция дала снова отрицательный результат. Установлено, что с 50%-вой достоверностью веро-

ятность этого процесса равна $0,8 \cdot 10^{-8}$, а с 10%-ной достоверностью — $2,2 \cdot 10^{-8}$.

В последней работе Ю. Прокошкина из ОИЯИ были получены сведения о β -распаде π^+ -мезона. Вероятность процесса $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$ оказывается в соответствии с величиной, следующей из гипотезы сохраняющего векторного тока. Для отношения констант этого распада и μ -распада найдена величина

$$G_V = (1,14 \pm 0,16).$$

Спектр β -распада π^+ -мезона найден соответствующим разрешенному спектру β -распадов.

На конференции был представлен обширный экспериментальный материал по опытам с нейтрино больших энергий, выполненных в последнее время в ЦЕРНе. Опыты выполнены с использованием большой пузырьковой камеры, наполненной фреоном с плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$, диаметром $1,15 \text{ м}$ и общим весом 750 кг . Камера была помещена в магнитное поле $27\,000 \text{ гс}$. Кроме того, была использована система искровых камер с общим весом материала $\sim 40 \text{ т}$. Пока проанализированы 250 событий в пузырьковой камере в пучке нейтрино и около 2000 событий, полученных с помощью искровых камер как в нейтрино, так и в антинейтрино (предварительно) пучках. Анализ материала не закончен.

Основные выводы предварительного анализа следующие: 1) нейтрино мюонное отлично от нейтрино электронного; 2) число упругих событий по схеме $\nu + Z \rightarrow \mu^+ + Z'$ равно числу неупругих событий по схеме $\nu + Z \rightarrow \mu^- + \pi + Z'$; 3) события с общим энергосвободением более 4 Гэв всегда имеют неупругий характер; 4) отношение числа наблюдаемых неупругих событий к теоретическому рассчитанному Ли и Янгом упругому сечению сильно растет с энергией нейтрино; 5) найдено одно событие с суммарным энергосвободением 11 Гэв ; 6) в неупругие события большой вклад, по-видимому, дает эффект генерации $3/2, 3/2$ -изобары; 7) если существует промежуточный бозон, то его масса должна быть более $1,5 \text{ Гэв}$; 8) поскольку не найдено событий типа $\nu + e \rightarrow \nu + e$, то для верхнего значения магнитного момента нейтрино соответствует величина $2 \cdot 10^{-8} \mu_B$ (опыты с реакторным антинейтрино дают $1 \cdot 10^{-9} \mu_B$); 9) для процессов с энергосвободением более 10 Мэв сечение на усредненном ядре найдено равным $2 \cdot 10^{-37} \text{ см}^2$ с точностью до фактора 3, с которой известна интенсивность потока нейтрино; 10) возможно, что упругое рассеяние типа $\nu + p \rightarrow \nu + p$ найдено только в одном случае; 11) в пузырьковой камере наблюдалась генерация следующих странных частиц: одного Λ^0 -гиперона, одного K^0 -мезона и одного K^+ -мезона (возможно, есть еще один K^+ -мезон).

Видно, что даже предварительная обработка экспериментальных данных дала очень много важных результатов. Нейтринная экспериментальная физика получила теперь большое развитие и стала одним из важнейших разделов физики элементарных частиц.

В докладе Янга были сформулированы следующие важнейшие достижения и проблемы нейтринной физики: 1) различные нейтрино мюонного и электронного следует считать строго установленным фактом; 2) закон сохранения лептонов также следует считать подтвержденным; 3) необходимо выяснить проблему локальности лептонных токов; 4) неясен вопрос о нейтральными лептонными токами; 5) необходимы исследования правила $|\Delta I| = 1$ в переходах с $\Delta S = 0$; 6) следует провести исследования дифференциальных сечений неупругих процессов; 7) нужно выяснить существование промежуточного бозона, его массу и магнитный момент; 8) установить справедливость гипотезы сохраняющегося векторного тока; 9) изучить импульсную зависимость аксиально-векторного формфактора g_A . В докладе были обнаружены некоторые теоретические и экспериментальные аспекты перечисленных выше проблем.

Резюмируя в целом, можно утверждать, что в физике слабых взаимодействий за последний год заметен существенный прогресс как с экспериментальной, так и с теоретической точек зрения в понимании процессов, происходящих с их участием. Из изложенного видно, что проводится, а также планируется много сложных экспериментов.

Участникам конференции была предоставлена возможность ознакомиться с экспериментальными работами в Брукхейвенской национальной лаборатории. Уже работают или готовятся к работе две экспериментальные установки, состоящие из больших искровых камер, черенковских и сцинтилляционных счетчиков, с помощью которых в первую очередь предполагается выполнить исследования следующих типов:

1) исследования лептонных распадов K^0 - и K^0 -мезонов с целью:

а) измерения соотношения $\frac{K^0 \rightarrow \pi^+ e^- \nu}{K^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu}$ для проверки РС-инвариантности слабых взаимодействий;

б) измерения временной зависимости отношения $\frac{K^0 \rightarrow \pi e \nu}{K^0 \rightarrow \pi e \nu}$ с целью выяснения наличия переходов с $\Delta Q = -\Delta S$ в лептонных распадах K^0 -мезонов;

2) исследования β -распадов поляризованных Λ^0 -гиперонов для решения вопроса о варианте слабого взаимодействия, описывающего этот распад. В планах Лаборатории также фигурирует экспериментальное исследование поляризации μ^+ -мезонов в K^0_{13} -распаде. Только этого краткого перечисления достаточно для того, чтобы получить представление о планируемых в этом направлении работах.

Из анализа материалов конференции, ознакомления с лабораториями и бесед с ведущими американскими и европейскими физиками следует сделать вывод о том, что можно ожидать в ближайшее время новых экспериментальных материалов, которые приведут к заметному прогрессу в наших знаниях о свойствах процессов с участием слабых взаимодействий.

И. В. Чуило