

ВВЕДЕНИЕ

В 1974 году был выпущен сборник "Нуклотрон и релятивистская ядерная физика. Проблематика исследований и методика эксперимента" (Сообщение ОИЯИ, 8309, Дубна, 1974 г.). Сборник был составлен на основе докладов, сделанных во время совещания, посвященного физическому обоснованию планируемого в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) ускорительного комплекса, который должен заменить синхрофазотрон. В сборнике указаны направления, которые должны были получить развитие, рассмотрены конкретные предложения экспериментов. Показано, что релятивистская ядерная физика имеет хорошие перспективы развития на действующем синхрофазотроне и действующих экспериментальных установках. Обсуждены методики, используемые при проведении экспериментов.

С тех пор было проведено значительное количество семинаров, совещаний, конференций (в том числе - международных), по результатам работы которых изданы труды. Особо следует отметить труды конференций - семинаров "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика". Был издан также сборник аннотаций проектов Лаборатории высоких энергий (ЛВЭ) ОИЯИ на период 1991-1995 гг. (Сообщение ОИЯИ, P1,2-89-631, Дубна, 1989).

Релятивистская ядерная физика превратилась в крупное научное направление. Многие из предложений, содержащихся в упомянутых сборниках, реализованы. Некоторые из результатов, обсуждавшихся в предварительном порядке, получили в последствии широкое международное признание. Высказанные прогнозы и надежды, в основном, оправдались.

Главная проблема, поставленная перед релятивистской ядерной физикой - исследование свойств высоковозбужденных состояний ядерной материи, поведения ядерной материи на малых расстояниях - выросла в проблему изучения релятивистских многочастичных систем. Стало ясно, что эксперименты в этой области имеют прямое отношение к центральной проблеме физики сильных взаимодействий - квантовой хромодинамике больших

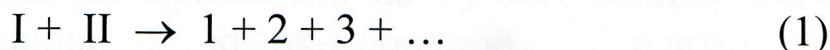
расстояний (или, точнее, малых относительных четырехмерных скоростей) и проблеме удержания кварков. Сборники трудов семинара "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика" содержат довольно полное представление о развитии этой области науки в различных странах и научных центрах на протяжении 25 лет.

Настоящий сборник содержит информацию о ведущихся экспериментах и проектах, в которых принимают или будут принимать участие сотрудники ЛВЭ ОИЯИ. Проекты разработаны группами, коллаборациями и подразделениями ЛВЭ ОИЯИ, а также других лабораторий ОИЯИ и институтов стран-участниц ОИЯИ и ряда других стран. Списки авторов и представляемых ими институтов прилагаются к каждой аннотации проекта.

Проблематика Лаборатории концентрируется на одном научном направлении – поиске закономерностей в поведении релятивистских многочастичных систем. Изучение этих закономерностей имеет большое значение для астрофизики, космологии, для понимания явлений, протекавших в момент образования Вселенной в результате Большого Взрыва. Установление таких закономерностей важно также для создания систем безопасной ядерной энергетики и решения проблем сокращения и уничтожения радиоактивных отходов атомных электростанций. Кроме того, для прикладных целей важно накопление и количественное описание экспериментальных данных по взаимодействиям релятивистских ионов с веществом.

Основная часть аннотаций проектов в настоящем сборнике посвящена экспериментам на ускорительном комплексе ЛВЭ (синхрофазотрон – нуклотрон). Именно в ЛВЭ был обнаружен и изучается *универсальный закон*, позволяющий описывать кумулятивные, подпороговые инклюзивные процессы, процессы образования антиядер, а также переходные процессы в области, в которой осуществляется переход от нуклонных к кварк-глюонным переменным. Наибольшую актуальность в настоящее время представляет обнаружение границ справедливости этого универсального закона.

Основными переменными, от которых зависит сечение множественного рождения частиц при взаимодействии релятивистского ядра I с ядром II в реакции:



являются инвариантные интервалы в пространстве четырехмерных скоростей:

$$b_{ik} = -(u_i - u_k)^2 = 2[(u_i u_k) - 1] = 2\{[E_i E_k - (\mathbf{p}_i \mathbf{p}_k)]/m_i m_k - 1\},$$

где $E_{i,k}$, $\mathbf{p}_{i,k}$, $m_{i,k}$ соответственно энергия, трехмерный импульс и масса частицы i или k , а $u_{i,k} = \{E_{i,k}/m_{i,k}; \mathbf{p}_{i,k}/m_{i,k}\}$.

Индексы i и k пробегает все возможные значения для процесса (1): I, II, 1, 2, 3, ...

Во многих постановках задач, описываемых в настоящем сборнике, изучается зависимость сечений от величин $b_{I II}$, b_{Ik} , b_{Ik} , образующих треугольник в пространстве четырехмерных скоростей. Также возможно описание корреляционных явлений в переменных b_{ik} . Для ориентировки отметим связь переменных b_{ik} с кинетической энергией относительного движения частиц в системе покоя одной из них:

$$b_{ik} = 2(T_{i,k}/m_{i,k})$$

В системе покоя одного из ядер величина $b_{I II} = 2(T_{II, I}/m_{II, I})$, т.е. значение этой переменной $b_{I II}$ пропорционально кинетической энергии на нуклон сталкивающихся ядер.

Упомянутый выше универсальный закон установлен на основе экспериментальных данных, полученных в 70-х годах в ЛВЭ, ИТЭФ (Москва), ИФВЭ (Протвино) и др. в области $2 \leq b_{I II} \leq 10$.

Было также установлено, что асимптотический режим (слабая зависимость сечений от $b_{I II}$) начинается с энергии на нуклон 3,5 – 4 А · ГэВ при $b_{Ik} \ll b_{I II}$. Выход на асимптотический режим истолковывается как переход от нуклонных степеней свободы к кварк-глюонным. Этот результат был использован при выборе энергии нуклотрона на этапе его проектирования.

В середине 80-х годов опыты с релятивистскими ядрами начались в ЦЕРН (Швейцария) и БНЛ (США). Особый интерес

представляют эксперименты с релятивистскими ядрами свинца при энергии $158 \text{ А} \cdot \text{ГэВ}$, в которых также принимают участие физики из ЛВЭ (см. соответствующие аннотации проектов).

Основной задачей экспериментов на пучках свинца является поиск образования кварк-глюонной плазмы в ультрарелятивистских ядерных столкновениях. Эта же постановка является главной для экспериментов на сооружаемых ядерных коллайдерах (RHIC в БНЛ и LHC в ЦЕРН). В подготовке экспериментов на ядерных коллайдерах также принимают участие физики и инженеры ЛВЭ.

Несмотря на очень большое число теоретических работ по образованию кварк-глюонной плазмы в релятивистских ядерных взаимодействиях, пока не удалось связать измеримые параметры кварк-глюонной плазмы с параметрами, описывающими конечное состояние релятивистских ядерных столкновений. Более того, согласно универсальной закономерности эффективное число нуклонов, участвующих во взаимодействии, уменьшается с ростом энергии на нуклон сталкивающихся ядер. В этой связи эксперименты с ультрарелятивистскими ядрами могут не дать положительных результатов по обнаружению кварк-глюонной плазмы. На это, в частности, указывают предсказания полученной в ЛВЭ универсальной закономерности, ~~которая подлежит проверке в экспериментах~~ при столкновении ядер с ультрарелятивистскими энергиями. Например, для экспериментов на ускорителе SPS в ЦЕРН, используя эту закономерность, предсказаны количественные соотношения между сечениями образования антиядер и ядер и сечениями образования прямых фотонов и нейтральных мезонов.

Тем не менее, при определенных условиях кварк-глюонная плазма может возникнуть в сплошной среде, т.е. совсем при других начальных и краевых условиях, чем в ультрарелятивистских ядерных столкновениях, например, в звездах.

Физики ЛВЭ не только сделали ряд предложений экспериментов при ультрарелятивистских энергиях, но участвовали и участвуют в создании установок. Ведущаяся в настоящее время обработка полученных данных даст ответы на

многие вопросы. Необходимо отметить, что согласно универсальному закону, зависимость сечений образования инклюзивных частиц от энергии столкновения ядер ($u_I u_{II}$) имеет вид:

$$(u_I \cdot u_{II}) \cdot (b_{ik}/b_{IIk}).$$

В области $b_{Ik} \ll b_{IIk}$ и $b_{IIk} \ll b_{I II}$ эта величина переходит в b_{Ik}/x_k , где x_k — переменная светового конуса. Отсюда видно, что справедливость гипотезы предельной фрагментации Янга и др. получает обоснование, исходя из универсального закона. Поэтому многочисленные опыты по проверке гипотезы предельной фрагментации следует рассматривать как экспериментальную проверку более общей закономерности. Универсальность обсуждаемой закономерности состоит не только в ее справедливости в области предельной фрагментации, но и в области подпороговых процессов. Кроме того, эта универсальность проявляется в очень слабой зависимости сечений столкновения ядер от ароматов образующихся частиц и в общей форме выхода сечений на асимптотический режим по энергии столкновения ядер.

Область, в которой универсальный закон должен быть нарушен, соответствует $b_{ik} \leq 10^{-2}$, где существенную роль играют нуклонные переменные и кулоновское взаимодействие образующихся частиц. В этой области существует большая программа экспериментов на внутренних мишенях нуклотрона, частично отраженная в настоящем сборнике. К сожалению, в сборнике не нашли отражения постановки задач по изучению жестких столкновений ядро-ядро (большие поперечные импульсы, кумулятивные кварковые и глюонные струи т.п.), в которых возможны отклонения от обсуждаемого универсального закона и необходимы расчеты по квантовой хромодинамике.

Поляризационные эксперименты, представленные в настоящем сборнике, имеют очень хорошую перспективу, хотя теория в этой области имеет предварительный характер и эксперименты носят поисковый характер. Тем не менее, уникальность поляризованных пучков дейтронов, протонов и квазимонохроматических нейтронов на ускорительном комплексе ЛВЭ, а также имеющиеся

экспериментальные методики обеспечивают нашей лаборатории лидирующее положение в мире.

Среди экспериментов на комплексе синхрофазотрон-нуклотрон, обсуждаемых в сборнике, особо следует отметить эксперименты с франко-американской поляризованной мишенью, модернизированной в ОИЯИ. Как было показано теоретиками ЛТФ в этих экспериментах могут проявиться множественные взаимодействия в начальном состоянии, описываемые инстантонами.

Планируемое в ЛВЭ получение поляризационных данных в релятивистской области несомненно сыграет важную роль в построении теории сильных взаимодействий.

А.М.Балдин

А.И.Малахов