

С341
И-889

18/5-64.



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

R - 1643

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ
В ФИЗИКЕ СТРОЕНИЯ ЯДРА
в 1962-1967 гг.

(Перевод брошюры, изданной в США в 1963 г.)

Дубна 1964

2440/3 м

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ
В ФИЗИКЕ СТРОЕНИЯ ЯДРА
в 1962-1967 гг.

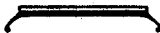
(Перевод брошюры, изданной в США в 1963 г.)



Дубна 1964

**Research Trends
1962-1967**

NUCLEAR STRUCTURE PHYSICS



**Division of Mathematical, Physical, and Engineering Sciences
NATIONAL SCIENCE FOUNDATION**

П р е д и с л о в и е

В этом сообщении группа крупных специалистов в области физики строения ядра описывает научные достижения в сфере их деятельности и обсуждает перспективы и затруднения в дальнейших исследованиях на следующие пять лет. Необходимо новое исследовательское оборудование, расширенный текущий бюджет и увеличение числа научно-исследовательских работников. В сообщении также обсуждается связь этих затруднений с воспитанием и обучением новых научных кадров, способных проводить исследования в этой и других областях физики.

Подобное же [изучение исследовательских тенденций] в других областях физики проводится под руководством Национального научного фонда и других государственных агентств, организаций и групп, консультирующих Федеральное правительство по делам науки. [Вместе взятые и скоординированные] с информацией долгосрочного планирования общих национальных предполагаемых ресурсов в науке в последующие годы, эти отдельные исследования помогут Правительству оказать моральную и материальную поддержку научному прогрессу.

Способствуя таким образом [планированию] научных ресурсов, это сообщение освещает, кроме того, [затруднения теории и нерешенные проблемы в физике строения ядра.] Упомянутые выше исследовательские вопросы, безусловно, заинтересуют научных работников и студентов-выпускников, специализирующихся в этой и смежных с ней областях. В соответствии с этим, Национальный научный фонд предназначает это сообщение как для научной общественности вообще так и для учреждений, поддерживающих научную работу.

Ричард Г. Болт

Помощник директора (по планированию)

Рэндэл М. Робертсон

Помощник директора (по исследовательским работам)

Национальный научный фонд

Колумбийский университет,
Нью-Йорк,
Пергамские Лаборатории ядерной физики,
538 Вест 120-ая улица.

Нью-Йорк,
шт. Нью-Йорк.
Март, 30, 1962.

Доктору Аллену Т. Уотермену,
Директору Национального
научного фонда,
В а ш и н г т о н, 25.

Уважаемый доктор Уотэрмен:

Консультативная секция по физике строения ядра была создана по просьбе Национального научного фонда для того, чтобы [консультировать Федеральное правительство] по вопросам, касающимся национальных усилий в этой области физики. Мы подготовили это сообщение, считая, что оно затронет вопросы, имеющие отношение как к ряду правительственных агенств, ведомств, так и к Национальному научному фонду. Мы надеемся, что Ваше агенство распространит это сообщение в правительственных органах настолько, насколько Вы сочтете нужным. Мы надеемся также, что группы, проводящие исследования в этой области физики, также будут иметь копии нашего сообщения.

Вводная часть и рекомендации были написаны сообразно условиям, установленным в первый же день нашей встречи с др-м Мак-Милланом, Вашим Плановым директором по физике. Он просил нас, как группу опытных физиков-исследователей, высказаться о роли и значении этой области физики на данной ступени ее развития. Нас просили также высказать свое мнение о затруднениях в этой области, мешающих ее развитию. Кроме того, нас просили назвать величину Государственного бюджета, необходимую для того, чтобы наш народ мог осуществить идею Секции о резком расширении программы исследований. Мы сделали все возможное, чтобы полно и здраво ответить на эти вопросы. Мы надеемся, что наши рекомендации и замечания будут полезны Федеральному правительству.

Секция выражает признательность др-у Мак-Миллану и его коллективу из Отдела программы физики Национального научного фонда за большую помощь, оказанную ими Секции. Мы особенно признательны др-у Ирвину Маннингу из Научно-исследовательской лаборатории Военно-Морского Флота, выполнявшему в Секции функции секретаря. Д-р Маннинг помог мне в написании окончательного варианта Сообщения и сделал большую часть начальной исследовательской работы в первом варианте этого Сообщения.

Искренне Ваш

✓ Уильям В. Хэвенс/
Председатель Консультативной Секции по физике строения ядра

	С т р.
Предисловие	3
Сопроводительное письмо	4
Краткое содержание	6
I. Введение	7
II. Значение исследований строения ядра для науки и техники Соединенных Штатов Америки	7
А. Общие замечания	7
Б. Предполагаемые требования к науке и научному образованию в Соединенных Штатах	8
В. Роль изучения строения ядра в научном образовании	9
III. Состояние и перспективы исследований строения ядра	9
А. Введение	9
Б. Наклон-нуклонная проблема	10V
В. Проблема ядерных моделей	11
Г. Новые концепции о строении ядра	13
Д. Новые достижения в технике ускорения	14
Е. Новые достижения в оснащении	16
IV. Заключение	17
А. Будущее исследований строения ядра	17
Б. Рекомендации	19
Приложение I: Успехи в области исследования строения ядра	23
А. Введение	23
Б. Опыты на ускорителях с энергиями до 8 Мэв	23
В. Опыты на ускорителях с энергиями от 8 до 40 Мэв	24
Г. Опыты на ускорителях с энергиями выше 40 Мэв	25
Д. Опыты без ускорителей	26
Е. Оснащение приборами	27
Ж. Успехи в понимании	28
Приложение 2: Публикации работ в области исследования строения ядра ..	32
Приложение 3: Докторские диссертации по физике	33
Приложение 4: Прежнее финансирование исследований строения ядра	34
Приложение 5: Проектируемое финансирование	35
Приложение 6: Научные силы	40
Приложение 7: Состав Консультативной Секции по физике строения ядра, основанной Национальным научным фондом в 1961 г.	42
А. Состав Секции	42
Б. Правительственные представители, приглашенные на собрание Сек- ции в октябре 19-20, 1961 г.	43
Библиография	45

Краткое содержание

Последние экспериментальные и теоретические достижения [предвещают переворот] в понимании строения ядра. За последние несколько лет наши представления о поведении нуклонов в ядре резко изменились. Совсем еще недавно считали, что ядерные силы велики и действуют на очень малых расстояниях. Ядра представляли как совокупность хаотически и быстро движущихся бильярдных шаров, непрерывно сталкивающихся подобно молекулам в капле жидкости. Однако теперь обнаружили, что ядерные силы [относительно слабы,] и ядро представляют теперь в виде [плотной сердцевины, окруженной облаком слабо взаимодействующих нуклонов.] Тогда как прежнее представление о ядре нельзя описывать теоретически методами математической физики, которые были разработаны в течение ряда лет, новая концепция основана на математическом анализе методами, уже знакомыми нам. Сейчас возможно поставить несколько критических вопросов, с некоторой надеждой, что ответы на них можно будет вычислить. К счастью, [экспериментальная физика значительно опережает теорию,] и имеется возможность создать прибор, который позволит физикам ответить на критические вопросы, поставленные теорией.

Интенсивность исследований в области строения ядра за последние десять лет резко увеличилась. Заметно увеличилось количество публикуемой информации и число ученых-исследователей. Необходимо значительно увеличить правительственную помощь с тем, чтобы Соединенные Штаты могли освоить последние достижения и удовлетворить потребности в обучении молодых ученых. Наши общие рекомендации следующие:

1. Ассигнования на основное оборудование должны быть немедленно увеличены с тем, чтобы [финансировать накопленные перспективные планы,] отражающие последние достижения техники. Мы считаем, что полное вложение средств на оборудование в течение последующих пяти лет должно составлять около 22-35 миллионов долларов в год.

2. Также следует увеличить текущий бюджет на исследования в области структуры ядра для приобретения вспомогательного оборудования, необходимого для эффек-

тивного использования существующего оборудования. Наш настоящий прогноз предполагает, что текущий бюджет на 1967 финансовый год должен составить сумму от 70 до 80 миллионов долларов. Постройка лабораторий для ускорителей должна быть неотъемлемой частью всего строительства и финансироваться соответственно.

3. Следует поощрять замену устаревшего и неэффективного оборудования.

4. Необходимо оказать [активную поддержку основным теоретическим исследованиям и исследованиям] использующим для анализа экспериментальных результатов современную вычислительную технику.

I. Введение

Исследование строения ядра заключается в изучении систем, содержащих в себе от двух до двухсот протонов и нейтронов, образующих атомное ядро. Пытаются определить свойства ядер и ядерных реакций и объяснить их [посредством движения и возбужденного состояния составляющих ядро частиц]. Формы движения, возможные в этих ансамблях, настолько сложны, и свойства их настолько разнообразны, что, несмотря на упорные поиски в течение четырех десятилетий, строение ядра до сих пор не понято до конца и даже полностью не изучено.

Некоторые прошлые достижения в области физики строения ядра будут упомянуты по ходу изложения. Нас интересует здесь [возможность дальнейшего прогресса]. Некоторые достижения последних лет, взятые вместе, предполагают ускоренное развитие исследований в области строения ядра, и имеет смысл [оценить сейчас эти достижения в свете возможностей и задач] которые они в себе заключают. Нас просили оценить настоящее состояние и перспективы этой области физики. Нас просили также представить перечень требований этой области относительно материальной и моральной помощи государства с учетом возможных требований к науке, растущего технического уровня нашего общества. Этими вопросами мы и занимались.

II. Значение исследований строения ядра для науки и техники

Соединенных Штатов

A. Общие замечания

Связь между ядерной наукой и техникой, использующей ядерные явления в энергетике и других областях, широко известна, и мы не будем касаться этого вопроса. Исследование строения ядра является центральным и существенным для всех федеральных агентств, связанных с основными исследованиями в физике, с ядерной энергией и ядерной техникой.

Единство науки - взаимозависимость ее различных областей - также широко признано. Мы покажем это, перечислив некоторые достижения:

1. Эффект Мессбауэра - открытие, сделанное при исследовании строения ядра, предоставил большие возможности в исследовании явлений твердого тела. Этот эффект является также основой опытов по общей теории относительности, имеющих принципиальное значение.

2. Изучение ядерного бета-распада быстро развилось в последние годы благодаря открытиям в области слабых взаимодействий в физике элементарных частиц (физика высоких энергий). Теория слабых взаимодействий, в свою очередь, использовала достижения в понимании бета-распада.

3. В последних достижениях астрономии относительно источников энергии в звездах и в теориях о возникновении и развитии Вселенной фигурируют достижения физики строения ядра.

Б. Предполагаемые требования к науке и научному образованию в Соединенных Штатах

Основная цель этой статьи - указать на достижения в исследованиях строения ядра, возможности, которые предоставляют эти достижения, и меры для их реализации. В то же время мы касались вопросов, возникающих при рассмотрении исследований строения ядра с более широкой точки зрения национальных научных усилий как целого.

Ряд работ отмечает важность науки^{1/} для нашей страны и необходимость резкого расширения науки и научного образования в будущем^{2/}. Чтобы быть наравне со всевозрастающим техническим уровнем нашего общества, в следующем десятилетии следует удвоить силы научных кадров и утроить расходы на основные исследования. Воспитание в достаточном количестве высококвалифицированных новых кадров будет основной задачей, а поэтому желательно и необходимо увеличить в течение последующих пятнадцати лет^{3/} в два раза число наших первоклассных университетов.

1/ См., например, Scientific Progress, the Universities and Government, заявление Консультативного комитета по делам науки при Президенте, Ноябрь 15, 1960 г. и Strengthening American Science, Комитет по делам науки при Президенте, Декабрь 28, 1958 г. Education for the Age of Science, Комитет по делам науки при Президенте, май 24, 1959 г. Basic Research - A National Resource NSF - 57 - 35 and Investing in Scientific Progress NSF - 61 - 27.

2/ Investing in Scientific Progress NSF - 61 - 27 and The Long-Range Demand for Scientific and Technical Personnel NSF - 61 - 65.

3/ См. Scientific Progress, the Universities and Government, Заявление Комитета по делам науки при Президенте, ноябрь 15, 1960 г. (стр. 14 и рекомендацию (3) на стр. 28).

В. Роль изучения строения ядра в научном образовании

Во всяком обсуждении вопроса о научном образовании в первую очередь ставится вопрос о научном исследовании^{4/}. Немногие области физики превосходят область исследования строения ядра по качеству обучения молодых ученых. Это очень важная область, характеризующаяся чрезвычайной активностью. Ее концепции включают в себя основы современной физики и охватывают большую область, от физики твердого тела до физики элементарных частиц. Ее экспериментальная техника также охватывает широкую область. Плодотворность и полезность обучения в этой области подтверждается многосторонними знаниями ее выпускников. Молодые ученые - ядерщики внесли вклад в развитие каждой отрасли физики и техники. Сейчас более чем четверть докторских диссертаций по физике посвящены физике строения ядра^{5/} ✓

По традиции подготовка к истиннонаучному эксперименту наилучшим образом проходит в атмосфере неторопливых размышлений и проверки их, когда студенту предоставлено [право самостоятельных действий]. К сожалению, в некоторых дипломных работах стоимость оборудования настолько велика, что студенту приходится выполнять роль ассистента более опытного научного персонала. Такие исследовательские проекты, часто определяемые тематикой группы и расписанием времени, далеко не идеальны для подготовки молодого ученого. Но часто в исследованиях строения ядра все же сам студент отвечает за весь исследовательский процесс - ответственность, которая часто содержит и концепцию самого исследования. Окружающая обстановка благоприятствует его развитию как самостоятельно мыслящего работника, способного самостоятельно выбирать проблемы и решать их до логического конца.

III. Состояние и перспективы исследования строения ядра

А. Введение

Исследования строения ядра имеют отношение к более глубокому пониманию сил, связывающих ядро, и принципов, управляющих многочисленными ассоциациями нейтронов и протонов, которые образуют ядро. При разрешении проблемы структуры ядра применяется два основных приближения. В первом, более прямом приближении, ядро рассматривается как система нейтронов и протонов, между которыми действу-

4/ См., например,

Заявление Комитета по делам науки при Президенте, ноябрь 15, 1980 г., стр. 29.

5/ См. приложение 3.

ют некоторые силы. Задача состоит в том, чтобы дать полное определение нуклон-нуклонных сил и из них определить свойства ядра. Многие проблемы нельзя разрешить при помощи первого приближения, и прибегают к совершенно противоположному методу - методу построения модели ядра. При этом путем введения характерных параметров, являющихся по существу феноменологическими, исследуются определенные свойства всего ансамбля.

Б. Нуклон-нуклонная проблема

Результаты, полученные из детального изучения электромагнитных сил между двумя частицами, были совершенно достаточными для того, чтобы дать нам квантовую теорию атома. Эта теория была построена при изучении атома водорода, являющегося в атомной физике простой системой двух тел - протона и электрона. Можно решить таким образом, что для выяснения структуры ядра нам следует изучать только двухтельные системы. К сожалению, двухтельная ядерная система не дает нам много информации. Двухтельная система в ядерной физике совершенно отлична от атома водорода в атомной физике, так как в первом случае система имеет только одно связанное состояние, а атом водорода имеет большое количество связанных состояний. Из-за наличия единственного связанного состояния нуклон-нуклонной системы необходимо проводить более сложные опыты по определению свойств ядерных сил, и обработка этих опытов математически значительно более сложна. Несмотря на то, что двухтельная система была изучена более двадцати пяти лет назад, мы до сих пор не можем описать нуклон-нуклонные силы достаточно полно.

1. Короткодействующие силы. В первом приближении все экспериментальные данные, имеющиеся для двухчастичного взаимодействия, вплоть до энергий в несколько Мэв можно объяснить, если предположить, что силы, действующие между нуклонами, короткодействующие. Было постулировано много различных видов короткодействующих нуклон-нуклонных сил, но на опыте их невозможно различить.

2. Необходимость в высоких энергиях. Чтобы получить больше информации о нуклон-нуклонном взаимодействии, необходимо иметь частицы, длина волны которых много меньше диаметра ядра, а это означает, что нужны частицы с энергиями больше нескольких Мэв. Фактически стремление иметь зонды с более короткой длиной волны и привело к развитию ускорителей на высокие энергии.

3. Мезонные эффекты. Изучение проблемы двух тел при более высоких энергиях, безусловно, увеличило бы количество информации о нуклон-нуклонных силах, но задача усложняется из-за рождения мезонов. С увеличением энергии в лабораторных условиях рождается все большее число мезонов. Изучение взаимодействия частиц

высоких энергий породило больше проблем, чем разрешило. Нам сейчас более непонятна роль мезонов в нуклон-нуклонных силах, чем сами ядерные силы. Мезонные эффекты образовали область, где соприкасаются физика структуры ядра и физика элементарных частиц.

①

13

Проблема нуклон-нуклонного взаимодействия все еще остается не разрешенной, и необходимую информацию для ее решения призваны дать точные эксперименты по рассеянию и поляризации частиц.

В. Проблема ядерных моделей

Хотя силы между двумя частицами в многочастичной системе полностью определены, и известно, что силы эти действуют только между двумя частицами, все же многие из свойств системы невозможно детально определить, т.е. проблема многих частиц еще не разрешена. Например, несмотря на то, что электромагнитные силы хорошо изучены, тем не менее спектр атома лития, полученный точными измерениями, отличается от теоретически вычисленного. Так как свойства ядерных сил не известны полностью следует обратиться к модели ядра.

1. Модель компаунд-ядра. Двадцать лет назад ядро представляли как совокупность нуклонов, похожих на бильiardные шары, имеющих вполне определенный объем, причем каждый нуклон находится в связи с непосредственно окружающими его нуклонами. Нуклоны очень быстро движутся в ограниченном объеме, и поэтому длина их свободного пробега мала. Сталкиваясь, нуклоны обмениваются между собой импульсами и энергией, поэтому каждый отдельно взятый нуклон не может иметь постоянного импульса в течение длительного промежутка времени. Поведение нуклонов в ядре представляли совершенно аналогичным поведению молекул в капле жидкости. На этом основании Бор предложил теорию капельно-жидкого ядра, которая очень хорошо объясняла некоторые его свойства. Модель капельно-жидкого ядра успешно объясняла деление U^{235} и устойчивость U^{238} при поглощении медленного нейтрона.

Концепция ядра с плотной упаковкой нуклонами, продержавшаяся до 1950 года, рассматривала ядерную реакцию по двум стадиям:

(а) Частица поглощается ядром, и образуется компаунд-ядро. Частица полностью теряет свою индивидуальность в результате многочисленных столкновений, которые она претерпевает за короткий промежуток времени. Энергия и импульс падающего нуклона полностью поглощаются компаунд-ядром, и оно совершенно "не помнит", каким образом оно образовалось. (т.е. оно состоит из...

(б) Спустя некоторое время, которое много больше времени ядерного столкновения, ядро определенным образом распадается.

Два процесса, образование и распад компаунд-ядра, рассматривались отдельно. Вероятность возникновения определенной реакции, которую можно наблюдать в лабораторных условиях, например, поглощение нейтрона ядром и испускание протона, зависят от:

- (а) вероятности образования компаунд-ядра с поглощением нейтрона;
- (б) вероятности распада ядра с испусканием протона.

2. Оболочечная модель. Концепция компаунд-ядра преобладала в ядерной физике до 1949 года. К этому времени, благодаря [большому количеству накопленных наблюдений и введению мощной ядерной (так называемой спин-орбитальной) силы], стремительно развилась оболочечная модель ядра, предложенная еще в 30-х годах, но не соответствовавшая [ни представлениям того времени, ни опыту.]

Оболочечная теория ядра в сущности прямо противоположна теории компаунд-ядра; оболочечная теория утверждает, что [нуклоны в ядре имеют определенное значение импульса в течение большого промежутка времени.] Это означает, что ядро является системой слабо взаимодействующих частиц.

Если оболочечная модель верна, то конфигурации ядер очень похожи на конфигурации электронов в атоме. Аналогично периодической системе элементов для ядер также можно составить периодическую систему. Подобно некоторым конфигурациям электронов в атоме, образующим полную систему, в системе ядер имеются определенные конфигурации нуклонов, более стабильные, чем их соседи, и эти ядра также являются полными системами. В атомной физике полные системы химически инертны, это благородные газы (гелий, неон, аргон, криптон, радон). Соответственно в физике строения ядра имеются ядра с заполненными оболочками, такие, как гелий-4, кислород-16, кальций - 40 и свинец - 208.

3. Объединение моделей. Так как теория оболочечного ядра и теория компаунд-ядра исходят из противоположных посылок, [обе они не могут быть правильными.] Иско, что обе модели слишком упрощены. До последнего времени для физики структуры ядра было характерным наличие [множества родственных и противоречивых моделей,] из которых две рассмотренные представляют собой противоположности. Каждая модель была правильна для ограниченной области энергии и ограниченного числа частиц. В настоящее время ставится цель улучшить и развить эти модели, объединить их в единую модель, представляющую поведение ядра, и объяснить ее на основе прямого приближения, т.е. через нуклон-нуклонные силы.

Г. Новые концепции в структуре ядра

1. Точные двухчастичные силы. Хотя проблема сил между двумя нуклонами еще не разрешена, однако достигнутые успехи указывают на то, что скоро мы сможем описать нуклон-нуклонную силу. Последние точные данные по рассеянию нейтронов на протонах и электронов на нуклонах и теоретическая интерпретация этих данных дали определенные результаты. Некоторые подробности современных проблем в изучении двухчастичного взаимодействия помещены в приложения 1. Мы надеемся, что разрешение этих проблем позволит более полно объяснить нуклон-нуклонную силу. ✓

Другой перспективный метод разрешения проблемы двух частиц заключается в использовании моделей ядра. Можем ли мы представить параметры модели через нуклон-нуклонные силы? Две различные силы, которые невозможно различить в задаче двух тел, дают различные результаты в задаче многих тел, и, следовательно, в принципе, задача многих тел может дать больше информации о ядерных силах, чем задача двух тел. НБ

В последние годы был достигнут некоторый успех в определении нуклон-нуклонных сил. Мы полагаем, что в конце концов будут определены необходимые для понимания строения ядра характеристики этой силы.

2. Необходимость в характерных параметрах. Современная концепция о ядре представляет собой комбинацию теории оболочечной модели и компаунд-ядра. Сейчас обнаружили, что ядро состоит из сердцевинки, которую можно описать несколькими параметрами и похожей на капельно-жидкое ядро. Сердцевинка окружена облаком сравнительно слабо взаимодействующих "валентных" нуклонов. Вероятно, эта концепция не изменится сильно по мере накопления новых данных. Однако в настоящее время недостаточно выяснены параметры этой модели, чтобы можно было количественно получить результаты многочисленных экспериментов. || ?

Также полностью различны и теоретические методы описания двух противоположных моделей - оболочечной и компаунд-ядра. Вычислить подробности индивидуальных состояний в модели компаунд-ядра чрезвычайно сложно. Ввиду того, что во взаимодействии участвует много частиц, эти свойства удобно определить только с помощью статистики. Однако для описания специфических свойств относительно слабо связанной системы можно применить теорию возмущений, хорошо применимую при вычислении орбит планет и траекторий электронов в атомах. Экспериментально установили, что можно применять теорию возмущений для вычисления специфических подробностей состояний ядра.

Таким образом пришли к относительно сложному положению в развитии теории ядра, когда только некоторые специфические подробности состояния ядра можно вычислить и

сравнить с результатом эксперимента. В настоящее время в теории имеется много параметров, не позволяющих однозначно сравнить вычисления с результатами эксперимента.

3. Селективное возбуждение уровней. Остается еще много неизвестностей. Например, в реакции дейтрона на азоте-14 с испусканием нейтрона наблюдаемые резонансы соответствуют энергиям возбуждения около 25 Мэв в компаунд-ядре кислорода-18. Известно, что расстояние между уровнями при этой энергии возбуждения должно быть много меньше, чем полученное из опыта. Ширины энергетических уровней указывают на образование компаунд-ядра, однако угловое распределение частиц указывает на взаимодействие частиц со слабо связанными нуклонами на поверхности ядра. Такая реакция не может идти с одновременным образованием компаунд-ядра и прямым взаимодействием со слабо связанными нуклонами. Нужно другое, правильное объяснение этого явления.

Д. Новые достижения в технике ускорения

К счастью, достижения экспериментальной ядерной физики позволяют создать прибор для постановки опыта по проверке теорий. Большое количество приборов для проверки теории пока еще не построено, так как это оборудование настолько ново, что невозможно найти средства для его постройки. Тем не менее можно быть уверенным, что новые приборы будут созданы и позволят проверить теорию.

1. Использование точной техники. Более того, следует подчеркнуть, что прошлый опыт показал, что буквально во всех случаях введение новой крупной экспериментальной техники позволяло не только провести более широкую исследовательскую проверку существующих гипотез и теорий, но и приводило к открытию совершенно новых явлений (вне рамок ранее существовавших теорий). Это фактически и определяет один из основных аргументов за использование точной экспериментальной техники в области исследования периодической системы, прежде недоступной для них.

2. Типы ускорителей. Последние достижения в технике ускорения позволяют надеяться, что скоро будут построены электростатические ускорители для протонов на 36) и даже более Мэв. Электростатические ускорители являются превосходными приборами для изучения строения ядра. Они позволяют получать моноэнергетические пучки, сфокусировать их в точку и свободно менять их энергию во всем диапазоне энергий ускорителя. Более того, можно легко сменить род частиц в пучке, причем эта возможность определяется изобретательностью конструктора ионного источника.

Разработаны циклотроны, которые дают пучки с большим током и позволяют

менять энергию пучка. Эти циклотроны можно использовать для изучения строения ядра при больших энергиях.

Сейчас стали доступны электронные линейные ускорители с большим током в пучке на энергии 100 и выше Мэв. Эксперименты на линейных ускорителях дали ценную информацию о ядре. Дальнейшая разработка линейных ускорителей позволит получить еще большее количество информации, полезной для развития теории.

Ускорители частиц с энергиями на выходе выше 100 Мэв дали ощутимый вклад в познание строения ядра. Прогноз в использовании этих ускорителей в исследованиях структуры ядра выглядит более благоприятным, чем в исследованиях элементарных частиц.

3. Устранение ограничений. Экспериментаторы долгое время испытывали затруднения в проведении опытов по проверке теории ввиду ограничений, накладываемых доступным экспериментальным оборудованием: ускоритель не давал нужного диапазона энергий, невозможно было обработать необходимое количество данных, точность того или иного параметра пучка была неудовлетворительной, отсутствие соответствующих приборов или несколько из этих факторов не позволяли провести эксперимент.

Исследуя определенный аспект строения ядра, отдельный исследователь вынужден был разрешать часть этой проблемы, соответствующую направлению его лаборатории. С развитием новых ускорителей появится возможность ответить на вопросы, поставленные теорией, а не только выполнять те эксперименты, которые позволяет доступное оборудование. Это сближает теорию и эксперимент, и теоретик, и экспериментатор стимулируют друг друга в дальнейшем прогрессе.

4. Необходимость в энергетическом разрешении. Изучение структуры ядра долгое время задерживалось малой разрешающей силой лабораторного оборудования. Исследователь не рассматривал определенный энергетический уровень, а изучал среднее значение нескольких уровней, причем среднее значение бралось не по идеальным состояниям, которые можно интерпретировать, а в него входили энергетические уровни с определенным образом выбранным весом.

В исследованиях относительно легких ядер, подобных кислороду, нужны заряженные частицы с энергиями выше 2,5 Мэв с тем, чтобы они могли свободно проникать в ядро. В исследованиях энергетических уровней кислорода-18 ядра азота-15 бомбардируются протонами, при этом энергия возбуждения ядер кислорода должна быть не менее 12,113 Мэв. Разность энергетических уровней кислорода-18 в области 12 Мэв составляет величину, меньшую 0,25 Мэв, следовательно, чтобы разрешить уровни ширина энергетического спектра пучка должна быть не более 0,25 Мэв.

Если нужно знать подробности отдельного уровня, то понадобится пучок с энергетическим спектром, значительно меньшим расстояния между уровнями, фактически для изучения уровней даже в легких ядрах употребляются пучки с энергетическим спектром в несколько кэв. В тяжелых ядрах энергетические уровни расположены ближе, и энергия заряженной частицы должна быть значительно большей с тем, чтобы она могла бы свободно проникнуть в ядро; таким образом, разрешающая сила прибора по энергии должна быть много выше, и проблемы становятся более сложными.

5. Пробелы в информации. В 1960 году в США было только 2 электростатических ускорителя и несколько циклотронов, которые давали моноэнергетические пучки с энергией выше 8 Мэв. Поэтому имелись данные об энергетических уровнях многих ядер, полученные с помощью заряженных частиц с энергией до 8 Мэв, и лишь отдельные данные для энергетических уровней некоторых ядер, полученные заряженными частицами с энергией выше 8 Мэв. Не существовало полной таблицы ядерных энергетических уровней для всей области от 0 до 30 Мэв. Из-за того, что разные частицы с одинаковой энергией в лабораторной системе координат давали информацию о различных областях энергии в компаунд-ядре, имелись значительные пробелы в информации. Это не позволяло сделать сколько-нибудь определенные выводы,

В настоящее время в США находятся в действии, строятся и отлаживаются тринадцать электростатических ускорителей на энергии до 12 Мэв, и, кроме того, примерно столько же их за границей. Сейчас изучается с помощью заряженных частиц область энергий до 12 Мэв. Несмотря на то, что с помощью заряженных частиц с энергией до 8 Мэв были получены важные данные, тем не менее с увеличением области энергии до 12 Мэв было получено много новых неожиданных результатов. Можно быть уверенным, что по мере расширения доступной для исследования области энергий вновь получаемая информация позволит лучше понять строение ядра.

В приложении 1 подробно изложены ценная информация, полученная на циклотронах и линейных ускорителях с переменной энергией и большим током в пучке, и причины использования этих ускорителей в исследованиях строения ядра.

Е. Новые достижения в оснащении

Усовершенствование ускорителей, способных давать моноэнергетические пучки частиц для изучения строения ядра, само по себе недостаточно для изучения и проверки теории. Выше отмечалось, что опыты по рассеянию недостаточно чувствительны для проверки допущений о ядерных силах. Также верно, что ядерные модели недостаточно точно объясняют результаты современных экспериментов. Так как ядерные модели характеризуются многими параметрами, то одновременным варьированием этих

параметров можно согласовать данную модель с имеющимися результатами экспериментов. Гибкость ядерных моделей и неопределенность экспериментальных результатов позволяет находчивому теоретику качественно объяснить большинство современных данных о ядре. Тем не менее по мере того, как точность и общность результатов увеличиваются, ограничения на теорию становятся все более жесткими и теоретик уже не может пренебречь результатами того или иного эксперимента. Эти задачи очень сложные и требуют глубокого анализа.

Прежде чем создать окончательную полную модель ядра, необходимо еще очень много данных. Ядерные модели полностью не закончены даже с чисто эмпирической точки зрения. Каждая модель характеризуется слишком большим числом параметров; следует уменьшить число параметров и тем самым улучшить точность модели. Более точно параметры можно определить только с помощью точных опытов и накопления точных данных.

В последние годы наблюдается неуклонный и быстрый рост технического оснащения. Сейчас выпускаются многоканальные и многомерные анализаторы; непрерывно совершенствуются детекторы, пересчетные устройства, усилители, масс-сепараторы изотопов, схемы совпадений, самописцы и вычислительные устройства для обработки данных. Быстрый прогресс технического оснащения превратился в то, что можно назвать не иначе как технический бросок в экспериментальной ядерной физике. Сейчас имеются необычайно большие возможности для тончайших измерений и опытов, которые требуют обработки и анализа большого количества информации. Совершенные цифровые вычислительные машины часто позволяют теоретикам предсказать на основе ядерных моделей результаты эксперимента. Уточненную модель, включающую в себя все свойства ядра, можно в конце концов получить путем сравнения теоретических вычислений на основе моделей с экспериментальными результатами. Следует использовать последние достижения.

З а к л ю ч е н и е

А. Б у д у щ е е и с с л е д о в а н и я

Несмотря на то, что ядерные явления изучены далеко не полностью и свойства ядра до конца не ясны, тем не менее с удовлетворением можно отметить прогресс за последние десять лет. Судя по достигнутым знаниям, прогресс исследований строения ядра был чрезвычайно большим, что подтверждается открытием и усовершенствованием оболочечной, оптической и объединенной моделей, описанием прямого взаимодействия в ядерных реакциях, установлением сохранения изотопического спина, описанием бета-распада и другими крупными успехами. Судя по качественным и ко-

личественным результатам исследований, этот период характеризовался непрерывным увеличением активности и энергичности исследований. Например, в этой области было напечатано статей за 1950, 1955 и 1960 гг. соответственно 211, 558 и 776^{6/}; около 900 физиков, непосредственно занятых ядерными исследованиями, работают сейчас в американских академиях и в 10 государственных и национальных лабораториях^{7/}. В будущем мы предполагаем еще больший уровень научных усилий в этой области. В частности, мы обращаем внимание на три категории последних достижений.

1. Значение современных успехов теории для эксперимента, В настоящее время имеются большие возможности для анализа и сравнения спектроскопических данных с помощью объединенных моделей. Снова появилась возможность интерпретировать данные о механизме реакции, описывать упругое и неупругое рассеяние и прямое взаимодействие [методом обобщенного подхода объединенной модели ядра] Упрощаются контрольные эксперименты, и их результаты лучше согласуются с теоретическими предпосылками. Исследования новых экспериментальных областей указали на новые способы проверки труднейших теоретических проблем. Современные быстродействующие вычислительные машины позволили провести много ранее невозможных теоретических исследований.

2. Современные успехи технического оснащения. 3. Современные успехи техники ускорителей. Действует целый ряд ускорителей, дающих моноэнергетические пучки и позволяющих плавно менять их энергию в диапазоне от 1 до 36 Мэв (диапазон энергии имеет важное значение в исследованиях структуры ядра). Циклотроны с большим током в пучке и с переменной энергией его и линейные ускорители с большим током в пучке и высокой энергией [Стали столь совершенны] что являются теперь чрезвычайно полезными в исследованиях строения ядра. В ядерных исследованиях получили широкое распространение разнообразные источники поляризованных частиц. Расширенная программа производства поляризованных мишеней открывает широкие перспективы.

Вместе эти три категории теоретических и экспериментальных исследований предполагают значительное расширение экспериментальных исследований, непосредственно относящихся к основным теоретическим проблемам. Перспективы развития велики и призывают к широкой и интенсивной деятельности.

По мере роста технических потребностей нашего общества все более будут увеличиваться требования к науке и научному образованию научных кадров. Несомнен-

6/ ЖЭТФ (см. приложение 1).

7/ Анализ научных сил представлен Секции Национальным научным фондом (см. приложение 6).

но, что [обучение в науке и для науки - главная и неотложная задача.] При рассмотрении особых преимуществ обучения ученых в области структуры ядра становится ясным, что эта область должна занять ведущее положение среди других.

Производит впечатление быстрое развитие исследований строения ядра в других странах^{8/}. Известны такие крупнейшие центры, где занимаются теорией ядра, как Копенгаген (Дания) и Ривот (Израиль). Судя по экспериментальным возможностям, можно считать, что иностранные центры оснащены новейшей аппаратурой. Типичными из приборов являются новые тандемные и линейные ускорители, которые уже построены или строятся в Копенгагене, Сакле (Франция) и Харуэлле (Англия), прекрасный циклотрон фирмы "Филлипс" и другие новые ускорители в Сакле (Франция), экспериментальное оборудование Нобелевского института в Стокгольме (Швеция) и научно-исследовательского центра по разработке атомного оружия в Олдермастоне (Англия). Эти успехи подтверждают наше мнение об исследованиях строения ядра как об интеллектуаль-но стимулирующей области физики.

Если мы намерены полностью проводить исследования структуры ядра в нашей стране, нам нужно будет в ближайшем будущем оказывать им большую материальную и моральную поддержку. Во время обсуждения вопроса об использовании современных достижений в этой области и о затратах на подготовку молодых ученых мы пришли к следующим рекомендациям.

Желание быть конкретными заставило нас во многих из этих рекомендаций осмелиться предсказать скорость развития этой области. Мы предполагаем, что за период до 1967 финансового года включительно число ученых, работающих в этой области, увеличится на 60-80 процентов, а количество вновь подготовленных ученых - на 75-100 процентов.

Б. Рекомендация

Мы сформулировали ряд общих рекомендаций, сопроводив их определенными советами по осуществлению. Составляя эти рекомендации, мы руководствовались предполагаемым расширением исследований строения ядра, влияние которого на исследовательский бюджет в этой области на следующие пять лет анализируется в приложениях 5 и 6.

Мы рекомендуем, что:

1. Следует немедленно увеличить ассигнования на крупное оборудование в 1963 финансовом году с тем, чтобы поддержать накопленные перспективные планы, отражающие последние технические достижения. Мы предполагаем, что в течение пяти

8/ См. приложение 2.

лет, до 1967 финансового года, ежегодные полные вложения на оборудование, включая и постройку зданий для ускорителей, должны составлять 22-35 миллионов долларов.

а. Современный прогресс в развитии электростатических ускорителей позволит получить моноэнергетические пучки различных изотопов, энергию которых можно будет плавно менять вплоть до 36 Мэв. Необходимо немедленно выделять средства для реализации этого достижения.

б. В настоящее время стали доступны тандемные ускорители Ван-де-Граафа на энергии до 20 Мэв. Следует немедленно оказать поддержку приемлемым планам постройки и использования этих ускорителей.

в. Важные преимущества имеют циклические ускорители частиц на энергии выше 40 Мэв. Следует поощрять планы создания и постройки таких ускорителей.

г. Недавние исследовательские эксперименты на линейных ускорителях с большой плотностью электронов в пучке показали перспективность таких пучков как инструмента в исследованиях строения ядра. Разработку таких ускорителей с большой плотностью пучка следует поощрять.

д. Экспериментальные исследования неупругого рассеяния электронов с энергией выше 100 Мэв показали, что они могут служить средством исследования структуры ядра. Следует поощрять дальнейшие исследования.

е. Применение частиц с энергией выше 100 Мэв внесло большой вклад в понимание строения ядра. Большинство ускорителей строилось и использовалось для экспериментов с элементарными частицами; для исследований структуры ядра их использовали сравнительно мало. Следует поддерживать дальнейшие планы исследований в этой области энергии. Эти попытки могут предполагать изменения в существующих конструкциях или постройку новых ускорителей специально для исследований структуры ядра (примером последнего является синхроциклотрон фирмы "Филипс", последнее достижение европейской промышленности).

Имеются неоспоримые доводы за освобождение физиков от неудобств, связанных с конструкцией ускорителя. С другой стороны, настолько же сильно давление со стороны проектирования нужного ускорителя: (большой успех, который получили электростатические ускорители, явился следствием основательных усилий конструкторов, прежде чем эти ускорители были построены.) Крайне необходимы программы для соответствующей разработки циклических ускорителей, и мы рекомендуем всячески поощрять контракты с промышленными организациями, которые способны и желают выполнять такие программы.

2. Необходимо немедленно увеличить текущий бюджет на оснащение вспомогательным оборудованием для эффективного использования существующей и новой техники. В дальнейшем ассигнования на действующее и планируемое к постройке оборудование, а также новое оборудование, упомянутое в первой рекомендации, и на предполагаемое увеличение числа студентов и ученых в этой области следует непрерывно увеличивать так, чтобы к 1967 финансовому году эта помощь составляла 70-80 миллионов долларов.

а. В последние годы техническое оснащение получило дальнейшее усовершенствование, и сейчас имеется или скоро появится много новых приборов. Необходимо обеспечить средства для использования этих достижений. ✓

б. Следует поддержать планы по развитию новых методов (а также усовершенствованию существующих) регистрации и анализа частиц.

в. Прогресс в техническом оснащении позволяет быстрее получать новые данные. Это порождает проблему, которая станет еще сложнее по мере внедрения пучков высокой интенсивности. Для обработки данных нужны будут быстродействующие счетные машины, и ограничения возникнут за счет вспомогательного оборудования, связывающего экспериментальное устройство с памятью машины. ✓

г. Мы отмечаем все возрастающую важную роль быстродействующих счетных машин как для обработки данных, так и для анализа теоретических исследований. Соответствующие вычислительные машины должны быть доступны. ✓

д. Можно с успехом избежать существующего сейчас дублирования разработок вспомогательных приборов (например, детекторы, масс-изотопные сепараторы, контрольно-измерительные приборы, обработка данных). Следует изучать и поощрять методы координации проектирования и обмена оборудованием. Следует изучить расширенное применение централизованного обслуживания лабораторий некоторыми приборами (например, детекторами). ✓

3. Постройка лаборатории для ускорения должна быть неотъемлемой частью всего строительства и финансироваться соответственно.

а. Увеличенные размеры и сложность ускорительной техники требуют переопределения "адекватной федеральной поддержки". В прошлом ускоритель можно было разместить в обычном академическом лабораторном здании и содержать на средства университета. Однако новая техника требует специальных зданий, отличных от обычных строений, и университетам будет все труднее оплачивать затраты. Всякое госу-

дарственное агентство, которое поставляет университету ускоритель, должно также иметь возможность обеспечить средствами постройку помещения для ускорителя. Например, Комиссии по атомной энергии долгое время предоставлялась щедрая и успешная помощь на строительство ускорителей, но накладывались различные ограничения и нереальные денежные лимиты на строительство зданий для них и на цены полных проектов. Мы рекомендуем изменять Закон по атомной энергии с тем, чтобы дать возможность Комиссии по атомной энергии предоставлять средства на новые установки с наименьшей задержкой, что увеличит эффективность помощи активным исследованиям строения ядра в университетах.

4. Следует поощрять замену устаревшего и неэффективного оборудования.

Многие из действующих сейчас ускорителей первоначально предназначались для исследований и одновременно были тесно связаны с программой усовершенствования ускорителей. Они не были сконструированы как постоянные приборы для исследований, и техника ускорения давно уже их обогнала. Однако эти ускорители все еще интенсивно используются в ядерных исследованиях главным образом из-за нехватки необходимых средств на замену их. Следует поощрять перспективные планы замены устаревшего оборудования.

5. Следует оказывать активную поддержку теоретическим исследовательским группам.

а. Состав таких групп, занимающихся теоретическими исследованиями строения ядра как в нашей стране, так и за рубежом, определяет возможности учреждений, работающих в тесном содружестве с ведущими и имеющими докторскую степень учеными из этой области. Большое количество физиков-ядерщиков принимает участие в специальных встречах, на которых они обсуждают программы исследований и тем самым приобретают стимул и руководящие идеи для дальнейшей работы. Следовательно, мы рекомендуем приветствовать расширение таких групп в нашей стране и оказывать помощь в создании их в тех местах, где уже имеется соответствующий штат физиков-ядерщиков.

6. Исследованиям строения ядра следует оказывать разнообразную поддержку. Исследования структуры ядра, как и любая другая отрасль науки, выигрывают, если по тем или иным причинам им будут оказывать поддержку различные учреждения. В свою очередь, отдельным учреждениям будет полезен контакт с исследованиями. Мы одобряем максимальное разнообразие, согласованное с хорошим правительственным руководством.

А. Введение

В приложении помещены подробности технических достижений в исследованиях строения ядра, не включенные в основной текст Сообщения. Хотя [дальнейшие пути ! исследований предсказать невозможно] тем не менее для иллюстрации перспектив можно привести ряд полностью выполненных и предстоящих исследований. Это приложение носит иллюстративный характер. Ученым, которые занимаются разрешением конкретной проблемы, следует провести особые исследования.

В следующих пяти пунктах обсуждаются технические и прочие достижения в различных направлениях экспериментальных исследований. Пункт Ж. (Успехи в понимании) наиболее общий; достижения и программы экспериментальных исследований характерно содержат в себе несколько областей экспериментальной и теоретической ядерной физики и, таким образом, близки к пунктам Б. и Е.

С этой целью эксперименты на ускорителях разделены на категории по максимальной энергии ускоренных частиц следующим образом:

От 0 до 8 Мэв (пункт Б) .

Ускорители с моноэнергетическими пучками в этом диапазоне энергии доступны уже несколько лет.

От 8 до 40 Мэв (пункт В) .

Только недавно начали действовать ускорители с моноэнергетическими пучками, правда, еще только в нижней области этого диапазона энергии. Мы надеемся, что скоро будут построены ускорители с соответствующими характеристиками и для верхнего предела энергии.

Выше 40 Мэв (пункт Г) .

Для этой области энергий пока еще нет ускорителей, которые давали бы моноэнергетические пучки.

Б. Эксперименты на ускорителях с энергиями ниже 8 Мэв.

Уже много лет широко применяются ускорители частиц с энергией 2 и менее Мэв, и эта область энергий хорошо изучена. За исключением некоторых отдельных экспериментов, требующих большого мастерства и изобретательности, здесь еще не решены такие новые проблемы, как захват частиц (протонов трития и α -частиц) легкими ядрами и особые случаи прямых взаимодействий. Таким образом, мы

не предвидим здесь сколько-нибудь серьезных технических трудностей. Мало вероятно получить важные данные в области энергии от 3 до 8 Мэв без разработки новой техники и применения чрезвычайной изобретательности эксперимента. И все же в этой области имеются перспективы. Например, можно использовать установки, дающие очень короткие пучки - импульсы /длительностью около 10^{-9} сек. /, которые могут оказаться очень эффективными в изучении спектра нейтронов, времени жизни и других параметров возбужденных состояний. Другие важные области исследований в этом диапазоне энергий включают в себя изучение (1) реакций захвата, /2/ реакций при бомбардировке α -частицами, (3) кулоновского возбуждения, (4) распада, вызванного ионами лития, (5) прямого взаимодействия, (6) реакций, имеющих важное значение в астрофизике.

К 1960 году в США имелось только два электростатических ускорителя и всего несколько циклотронов, способных давать высокоточные моноэнергетические пучки с энергией выше 8 Мэв. Однако сейчас в США действуют или находятся в стадии монтажа и отладки 13 тандемных ускорителей и приблизительно столько же - за границей. Важнейшими областями исследований будут: (1) реакции срыва и захвата, (2) неупругое рассеяние, (3) уровни энергии легких и средних ядер, (4) изучение поверхности ядра и дальнедействующих сил через взаимодействия тяжелых ионов, (5) кулоновское возбуждение тяжелых ядер и (6) реакции захвата протона в области "гигантских" резонансов.

В. Эксперименты на ускорителях в области энергий от 8 до 40 Мэв.

Пучки частиц со строго определенной энергией в области выше 8 Мэв не применялись в качестве щупов строения ядра, за исключением отдельных измерений, проведенных на тандемных ускорителях с энергиями 13-14 Мэв; остальные эксперименты в области 8-40 Мэв характеризовались малым разрешением и не позволили получить подробности для точного анализа и интерпретации. В общем можно сказать, что для проведения в будущем основных экспериментов необходима большая интенсивность пучка, хорошее разрешение, пучки разнообразных частиц и точная аппаратура.

Мы считаем, что программа исследований в этой области будет по характеру своему аналогична программе для области низких энергий (большинство положений из предыдущего пункта имеет место и здесь), но в нее будут включены исследования более тяжелых ядер при более высоких энергиях. Особое значение будут иметь исследования прямого взаимодействия на высоких уровнях возбуждения, многие из свойств которого совсем недавно были изучены теоретически. Исследо-

вания неупругого рассеяния, вероятно, позволят идентифицировать и разделить для детального изучения большинство коллективных состояний как при низких, так и при высоких энергиях возбуждения; исследования реакций срыва позволят определить спектроскопические данные всех ядер периодической системы. ✓

Следует сказать об источниках поляризованных частиц для использования которых сейчас построены новые большие ускорители, а также о программе проводимых исследований по производству поляризованных мишеней. Использование одного или, желательно, обоих из этих достижений особенно важно в исследованиях спиновой зависимости структуры ядра и реакций во всех диапазонах энергий.

На основании последних успехов ускорительной техники мы ожидаем, что скоро станут доступными электростатические ускорители на 36 (и выше) Мэв. Значение этих успехов обсуждается в главе IV, пункте А, стр. 13.

Г. Эксперименты на ускорителях с энергией выше 40 Мэв

Природа взаимодействий в этой области энергий в корне отлична от природы взаимодействий при низких энергиях, и поэтому мы не станем подробно описывать эти программы. По мере роста передачи импульса возрастает роль нуклон-нуклонного взаимодействия, а также, вполне вероятно, возрастает и влияние мезонных токов. С уменьшением длины волн бомбардирующих нуклонов увеличивается прозрачность ядерного вещества.

Немногочисленные до сих пор исследовательские опыты в этой области энергии указывают на то, что эта область может стать очень важной в исследованиях строения ядра.

Некоторые замечания:

1. Ускорители протонов и тяжелых частиц. Наиболее прямым способом изучения нуклонного облака в настоящее время является квазиупругое рассеяние^{9/}. Имеются указания, что работы по нуклонному рассеянию могут представить методы изучения поверхностных эффектов, корреляция частиц и многочастичных сил. В общем, от ускорителей требуется интенсивность пучка, разрешение по энергии, варьирование энергии и полезно используемая доля времени цикла.

2. Ускорители электронов с высокой интенсивностью пучка. Современные успехи значительно расширили исследовательские возможности этих ускорителей. Методы позитронной аннигиляции предоставили экспериментаторам возможность получать моноэнергетические пучки гамма-лучей, энергию которых

^{9/} См. (2) в пункте Ж, приложение 1, стр. 24.

можно плавно менять. Современные точные методы нейтронной спектроскопии позволяют получать пучки нейтронов большой интенсивности, однако в этом не уступают им и ускорители электронов. Здесь от ускорителя требуется максимально возможные интенсивность и полезное время цикла. ✓

3. Работы по рассеянию электронов. Следует изучить возможности использования метода электронного рассеяния при высоких энергиях (напомним, что длина волны в 1 ферми соответствует энергии 21 Мэв для налетающего протона и 1797 Мэв для электрона). Например, последние эксперименты по неупругому рассеянию^{10/} электронов с энергией 200–700 Мэв оказались эффективными при изучении коллективных колебаний и, вероятно, могут быть использованы при изучении сильных возбуждений сердцевин ядра.

Д. Эксперименты, не требующие ускорителя

Многие из наших предыдущих замечаний и рассуждений полностью относились к важной области физики ядра, занимающейся изучением свойств основных и низлежащих ядерных состояний. Кроме упомянутого выше, указанные предстоящие работы в этой области включают в себя:

1. Пробелы в данных. Наши знания данных ядра, таких как масса, момент, время жизни, энергия, нужно расширить; пробелов еще больше, чем данных, занесенных в таблицы. Мы должны покончить с рассмотрением в теоретических и экспериментальных работах только простейших случаев, когда неизвестны нужные квантовые числа.

2. Радиоактивный распад. Только в последние годы начали подробно изучать влияние структуры ядра на α -, β - и γ -распады. В этой области еще многое предстоит сделать, и здесь могут помочь современные теоретические и экспериментальные достижения. Чтобы превратить эти исследования в эффективные средства выяснения строения ядра, необходимы более подробные теоретические исследования и дальнейшее развитие методов, например, методов угловой корреляции.

Мы предполагаем, что будут крайне необходимы хорошие источники радиоактивных изотопов. Как и для изготовления мишеней для опытов на ускорителях, точно так же и для выделения изотопов и изготовления из них удобных радиоактивных источников требуются чистые вещества и совершенная техника. Ввиду того, что для разделения и очистки многих изотопов требуется сложное химическое и

10/

масс-спектрографическое оборудование и ввиду того, что производство изотопов, особенно короткоживущих, связано с ускорительной установкой, имеют место более веские, чем прежде, причины для объединения средств^{11/}.

Е. Оснащение приборам

1. Твердые детекторы и многоканальные анализаторы. В последние годы наблюдается быстрое развитие приборной техники. Промышленность выпускает сейчас многоканальные и многомерные анализаторы; непрерывно совершенствуются детекторы, счетчики, сепараторы изотопов, усилители, схемы совпадения, самописцы и вычислительные машины для обработки данных. Быстрый прогресс в техническом оснащении превратился в то, что можно назвать не иначе как технический бросок в экспериментальной ядерной физике. Мы имеем небывалые возможности для производства тончайших измерений и опытов, требующих обработки и анализа громадного количества данных.

В качестве примера рассмотрим проблему измерения углового распределения и энергии испущенных α -частиц в опыте с распадом ядра. Трудность в эксперименте обычно заключалась в регистрации фона, т.е. в чувствительности детектора к ядерным осколкам, отличающимся от α -частиц, или к α -частицам, родившимся не в результате распада ядра. Решая подобную проблему, современный исследователь имеет следующие преимущества по сравнению со своим коллегой, который решал эту проблему пять лет назад:

(а) Твердые детекторы. Они появились несколько лет назад, одним из их преимуществ является малый объем, который в этом случае для типичного эксперимента дает громадное улучшение регистрации фона.

(б) Машинная обработка данных. Пять лет назад основная часть фоновой компоненты определялась и исключалась путем построения зависимости скорости счета детектора от смещения напряжения и соответствующей обработки кривой. Но для типичного эксперимента такая операция неприемлема, так как занимает очень много времени. В настоящее время для снятия данных о чувствительности детектора от смещения применяется многоканальный анализатор, и фоновая компонента вычитается анализатором.

(в) Улучшение точности счета фона. Сравнивая настоящее положение с прошедшим, имеем: в обоих случаях единица ("мера счета") интенсивности испускания α -частицы в данном направлении быстро и почти автоматически определяется установкой. Однако компонента неизвестного фона определяется сейчас приблизительно в сто раз точнее. Таким образом, если пять лет назад в эксперимен-

^{11/} Смотря IV, пункт Б, рекомендацию 2, стр. 15.

те неизвестный фон составлял 99% отсчетов (делая эксперимент непригодным), то сейчас он составляет около 1% от общего результата.

(г) Лучшее разрешение по энергии. Другим достоинством твердых детекторов является улучшенное разрешение по энергии. Точность измерения энергии α -частицы таким счетчиком составляет около 0,5%, а пять лет назад для типичного эксперимента соответствующая точность была бы 5%.

2. Промышленное производство. Из-за сложности прибора эти преимущества достаются современному исследователю ценой существенного увеличения денежной стоимости оборудования, не считая небольших дополнительных затрат времени и усилий на отладку прибора, вызванных промышленным изготовлением многих составных частей прибора.

3. Изотопные сепараторы. Точные изотопные сепараторы недавно стали коммерчески доступны из нескольких источников, началом которых послужили работы по усовершенствованию, выполненные в Швеции. Они почти незаменимы как инструмент при изготовлении хорошо очищенных, тонких и почти стопроцентных по составу изотопных мишеней. Стоимость их лежит в пределах 150-300 тысяч долларов, и их, несомненно, можно использовать несколькими ускорительными группами. Это очень универсальные инструменты, так как их можно применять не только для получения тонких мишеней, но и для разделения радиоактивных веществ с осаждением на тонкие подложки.

4. Усовершенствование аппаратуры. Даже при наличии действующих уже существенных достижений несоответствие аппаратуры все еще определяет пределы исследований. Следует продолжать научные исследования и изыскания, направленные на усовершенствование аппаратуры и вспомогательного оборудования. В связи с этим следует отметить значительный вклад в развитие аппаратуры, сделанный национальными и государственными лабораториями.

В общем, исследования в государственных и национальных лабораториях дали и дадут существенный вклад в физику строения ядра, и следует поощрять продолжение и расширение этих исследований.

Ж. У с п е х и в п о н и м а н и и

Многие из излагаемых в этом пункте программ экспериментов не могут быть выполнены на современном уровне теоретических, экспериментальных и технических успехов. Для некоторых из следующих примеров этот факт отмечен путем перечисления

отдельных достижений, которые позволили или позволят выполнять эту программу:

1. Мы еще далеко не полностью определили нуклон-нуклонные силы, чтобы удовлетворить условия проблемы многих тел. Сейчас еще неизвестны природа оболочки ядра, роль зависящих от скорости сил, доля тензорных сил в триплетно-четной силе, возможное существование мезонных эффектов, не выражающихся через ядерные силы, возможное существование трехчастичных сил и природа сил в нечетных состояниях.

Рассмотрим, например, проблему определения компоненты тензорной силы. Одним из способов определения является точное измерение углового распределения ρ -р рассеяния в интервале энергий от 10 до 40 Мэв и Поляризации частиц. Моноэнергетический пучок соответствующей интенсивности могут дать tandemные ускорители, о которых упоминалось в параграфе В. Твердые детекторы, многоканальные и многомерные анализаторы и быстродействующие вычислительные машины в сочетании друг с другом позволяют определить сдвиг фаз с достаточной для описания тензорной силы точностью.

Другой и дополнительный способ решения этой проблемы заключается в более точном определении волновой функции дейтрона при его фоторасщеплении. Имеющиеся в настоящее время моноэнергетические пучки гамма-лучей ^{12/} позволяют провести эксперимент с достаточной точностью. Очень полезным является изучение поляризации конечных состояний; ^{13/} возможность в настоящее время получить пучки гамма-лучей ^{13/} очень высокой интенсивности позволяет успешно использовать методы рассеяния в изучении поляризации вылетающих частиц. Квазиупругое рассеяние ($\rho\rho$, 2ρ) может стать прямым методом изучения структуры оболочки, если применить Фурье-преобразование распределения импульсов нуклонов облака и ядра. Исследования проводились главным образом в области энергии от 150 до 200 Мэв; следует расширить эти исследования на область от 40 до 500 Мэв. Кроме того, следует провести опыты по (ρ , ρ) рассеянию.

В последние годы достигла большого прогресса теория коллективного движения на низлежащих уровнях возбуждения, но здесь предстоит еще многое сделать. Схема энергетических уровней Нильсона, основанная на идее, что потенциал частицы ядра имеет несферическую форму, позволила весьма точно определять последовательность уровней при малых возбуждениях ядра и приблизительно энергию уровней в области редкоземельных и тяжелых элементов периодической системы, а также дала качественные результаты для элементов с атомным номером около 20.

12/ См. III, параграф E, пункт 2, стр. 9.

13/ Proceedings of the Rutherford Conference on Nuclear Structure.

Манчестер, сентябрь 4-8, 1961 г. Под редакцией Биркса, Хэйвуд и К^o. Лондон (1961).

Так же, в принципе, можно вычислить "деформированное поле", пользуясь методом самосогласованного поля (Хартри-Фок). Однако до сих пор нет данных о возможности использования этого метода.

Недавно было отмечено, что, само по себе чистое приближение самосогласованного поля не применимо к описанию таких явлений, как разрыв в энергетических уровнях основного состояния и момента инерции вращающегося ядра. На основе успехов теории сверхпроводимости были введены парные силы между нуклонами, что позволило дать количественное объяснение этим явлениям.

Современное состояние теории коллективных движений следующее:

(а) Вышеупомянутые парные силы обусловлены оставшейся частью короткодействующей двухчастичной силы, в то время как анализ самосогласованного поля объясняет их происхождение из длиннодействующей компоненты.

(б) Длиннодействующая компонента сил преобладает между замкнутыми оболочками, где находится деформированное ядро, в то время как короткодействующая компонента вносит энергетический разрыв и уменьшает момент инерции.

(в) Около замкнутых оболочек, где преобладают короткодействующие силы, энергетический спектр уровней можно выразить через возбуждение "квазичастиц". Длиннодействующая компонента изменяет это представление введением колебательного квантового числа.

3 Современное увеличение экспериментальных возможностей позволило физикам получить новые данные, которые меняют наши представления о процессе распада. Потребуются еще большее количество теоретических и экспериментальных исследований. Имеется также ряд неразрешенных вопросов, касающихся рассматриваемых в последнее время "ядерных молекул".

4. Следует и далее изучать [связь между прямым взаимодействием и коллективным движением.] К категории прямых взаимодействий принадлежат реакции захвата и срыва; их изучение было и будет одним из самых важных источников информации об одночастичных состояниях, объясняющих такие свойства, как уменьшение ширины и мультипольные переходные моменты. Прямые взаимодействия часто преобладают в реакциях переноса нуклонов, в неупругом рассеянии и в таких процессах, как (p, α).

Нынешние вычисления в Борновском приближении плоских волн не пригодны к этим процессам, однако есть указания, что вычисления в приближении искаженных волн, вполне могут превратить эти реакции в ценный спектроскопический инструмент. Более сложные случаи, такие, как срыв тяжелых частиц и реакции выбивания, еще не ясны и нуждаются в дальнейшем изучении.

Поскольку ядерные реакции на гелии-3 и, в еще большей степени, на тритии по своему характеру экзотермические, они эффективно расширяют область энергии ядерных возбуждений на 10-20 Мэв в добавление к предельной энергии ускорителя. Оба типа реакций открывают широкие возможности для спектроскопии и изучения реакций в рассматриваемой области энергии. Однако все еще не полностью изучены реакции на тритии и, в меньшей степени, на гелии-3. В целом требования в этой области энергии сводятся к получению от ускорителей пучков с большими энергиями, скажем, 20 Мэв, для обыкновенного срыва и к наиболее возможному разрешению.

5. Природа поверхности ядра выступает как основной элемент в окончательном построении оптической модели и модели независимых частиц. Здесь мы почти ничего не знаем; локальность потенциала, природа корреляций и природа остаточных взаимодействий - вот те вопросы, на которые нужно еще ответить. Кроме экспериментальных исследований, о которых выше упоминалось, будут очень важны исследования поляризации при рассеянии через спинорбитальное взаимодействие (обычно преобладающее в поверхностных взаимодействиях) и исследования поляризации в процессах срыва.

6. Требуется дальнейшего изучения зависимости среднего поперечного сечения в оптической модели от ширины интервала энергии, по которому оно взято. До сих пор не ясна природа спинорбитальных и спин-спиновых сил. Не ясна связь мнимого потенциала с поверхностью ядра. Оптическая модель дает наилучшее согласие, особенно если учесть сферическую природу ядер мишени с силовой функцией, которая, приблизительно говоря, определяет вероятность поглощения падающего нуклона мишенью. Однако имеются области, в частности, в районе массового числа 80, где силовая функция для малых энергий нейтронов аномально мала или велика. Для других массовых чисел также имеются расхождения с оптической моделью, так как путем некоторых измерений установили, что силовая функция изменяется с изменением изотопов и атомных чисел. Предполагают, что эти отклонения и аномалии являются следствием подробностей структуры ядер мишени. Теоретическое и экспериментальное изучение этого вопроса может привести, с одной стороны, к более глубокому пониманию ядерной структуры, а с другой стороны, даст инструмент для изучения этой структуры.

14/ Physics Today, том 14, № 7 (июль 1961 г.), стр. 18.

15/ Издание Университета в Торонто (1960 г.).

16/ Хейвуд и К., Лондон (1961 г.).

7. Концепция компаунд-ядра, в том виде как она была введена теорией дисперсии, характеризуется распределением положения и ширины энергетических уровней, и в зависимости от допущений относительно распределения ширины и плотности уровней появляются различные статистические модели. В частности, можно рассматривать такие явления, как интерференция в прямых взаимодействиях, общая симметрия углового распределения, угловая корреляция. Появляется теоретическая трактовка параметров компаунд-ядра на основе ядерных моделей, которая предвещает большие успехи в понимании строения ядра. Ценным источником информации о механизме реакции могут служить экспериментальные измерения зависимости времени жизни состояний компаунд-ядра от энергии возбуждения. ✓

8. Получает все большее внимание полная область проблемы нескольких и многих частиц. Теоретики достигли определенных успехов, применяя методы теории поля к вычислению таких свойств, как энергия связи ядерного вещества, средняя длина свободного пробега в ядерном веществе и энергетической зависимости ядерного потенциала. Эти вычисления следует проводить совместно с вычислениями мнимого оптического потенциала, используя имеющиеся сейчас в распоряжении более достоверные нуклон-нуклонные потенциалы. Развитые здесь качественные идеи следует применить и к конечному ядру с тем, чтобы основные проблемы строения ядра свойства основных и возбужденных состояний, реакций и прочее можно было бы вычислять непосредственно на нуклон-нуклонных силах. Для трех- и четырехчастичных проблем водорода-3 и гелия-4 необходима подобная же программа исследования. ←

Общее, полупопулярное обозрение исследований строения ядра, проводится в статье Виктора и Вайцкофа^{14/} под названием "Проблемы строения ядра". Для подробного знакомства с текущим положением в исследовании строения ядра мы рекомендуем обратиться к Трудам международной конференции по строению ядра, состоявшейся 29 августа - 3 сентября 1960 г., изданным под редакцией Бромли и Вота^{15/}, а также к Трудам международной конференции, посвященной юбилею Резерфорда, состоявшейся в Манчестере в сентябре (4-8), изданным под редакцией Биркса^{16/}.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Публикации работ по исследованию строения ядра

Цель этого приложения - дать весьма приблизительное указание интенсивности публикации исследований по физике строения ядра. Простое перечисление числа изданных статей не будет правильным суждением и не покажет увеличения объема и содержания средней статьи, наблюдавшегося последнее десятилетие.

В таблице 2-1 приведено количество статей ("Редакционная почта") по исследо-

ваниям ядерной структуры, которые были напечатаны в журналах "Физическое обозрение", "Ядерная физика" и в "Журнале экспериментальной и теоретической физики" (СССР, ЖЭТФ). Приведены числа исследовательских публикаций по этой области в этих журналах, подготовленных учреждениями в США (а) и за границей (в).

Таблица 2-1. Статьи по физике строения ядра, напечатанные в трех журналах, общее количество и число американских статей.

Год	"Физическое обозрение" и "Ядерная физика" Американских Неамериканских учреждений учреждений		"Журнал эксперимен- тальной и теорети- ческой физики" (СССР)	Все три журнала
1950	198	4	9	211
1956	450	86	20	556
1960	454	186	136	776

Таблица 2-2. Статьи по экспериментальным и теоретическим исследованиям по физике строения ядра.

Год	В универси- тетах США		Не в универси- тетах США		Не в США		Общее экс- пер.	Об- щее- тео- рет.	Общее по строе- нию ядра
	Экс- пер.	Тео- рет.	Экс- пер.	Тео- рет.	Экс- пер.	Тео- рет.			
1950	132	48	16	2	6	7	154	57	211
1956	221	80	124	25	66	40	411	145	556
1960	234	105	86	29	220	102	540	236	776

Примечание: Напечатано в "Физическом обозрении", "Ядерной физике" и в "Журнале экспериментальной и теоретической физики" (СССР).

В таблице 2-2 приведены подробные данные о статьях, составленные Хантингом из Национального научного фонда. Главным образом использовались стопроцентные образцы, за исключением 1950 года, где оценка произведена по пятидесятипроцентному образцу. Цифры, приведенные для ЖЭТФ, относятся к советским изданиям в 1951, 1955 и октябре 1959 - сентябре 1960 г. соответственно.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Докторские диссертации по физике

Чтобы определить, имеется ли возможность показать, что некоторые дисциплины в физике развивались быстрее других, Вэлк и Эллис из планового отдела по физике при Национальном научном фонде провели классификацию изданных дис-

сертаций. Источником послужил Индекс американских докторских диссертаций, составляемый ежегодно для Ассоциации научно-исследовательских лабораторий (Университет микрофильмов Энн Арбор, Мичиган). Анализ показывает, что за последние десять лет число докторских диссертаций по физике строения ядра и атомной физике оставалось довольно постоянным. Число диссертаций по физике твердого тела удвоилось за счёт раздела "другие". Сводка информации помещена в следующих таблицах.

Таблица 3-1. Докторские диссертации по физике

Год	Твердое тело	Низкие температуры	Строение ядра	Элементарные частицы	Атомная и молекулярная физика	Другие	Общее число
1951-52	87	11	142	91	64	108	483
1955-58	105	19	143	86	88	104	545
1959-60	148	31	141	84	82	83	529

Таблица 3-2. Докторские диссертации по строению ядра и физике элементарных частиц

Год	Строение ядра			Элементарные частицы			Общее число
	Экспериментальные	Теоретические	Общее число	Космические лучи	Не космические лучи		
					Эксперимент.	Теоретич.	
1951-52	118	28	142	27	44	20	91
1955-58	110	33	143	18	39	29	86
1959-60	115	28	141	9	53	22	84

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Прощлое финансирование исследований строения ядра

В таблице 4-1 и рисунке 4-1 приведены государственные затраты на исследования строения ядра за период от 1958 (1957-1958) по 1962 (1961-1962) финансовые годы, согласно данным, полученным Секцией от поддерживающих агентств.

Общие затраты разделены на две основные категории:

1. Затраты на крупное оборудование, такое, как линейные и электростатические ускорители.
2. Затраты на эксплуатацию.

Для сравнения на рисунке 4-1 показана общая государственная помощь на все основные исследования и часть вложений на исследования строения ядра.

Таблица 4-1. Приблизительные государственные затраты в США на выполнение основных несекретных исследований по физике строения ядра (миллионы долларов).

Финансовый год	Исследовательские операции	Крупное оборудование	Общие затраты
1957-58	14,8	2,1	16,7
1958-59	17,2	0,9	18,1
1959-60	20,1	4,2	24,3
1960-61	25,3	4,8	30,1
1961-62	29,9	11,2	41,1

ПРИМЕЧАНИЕ

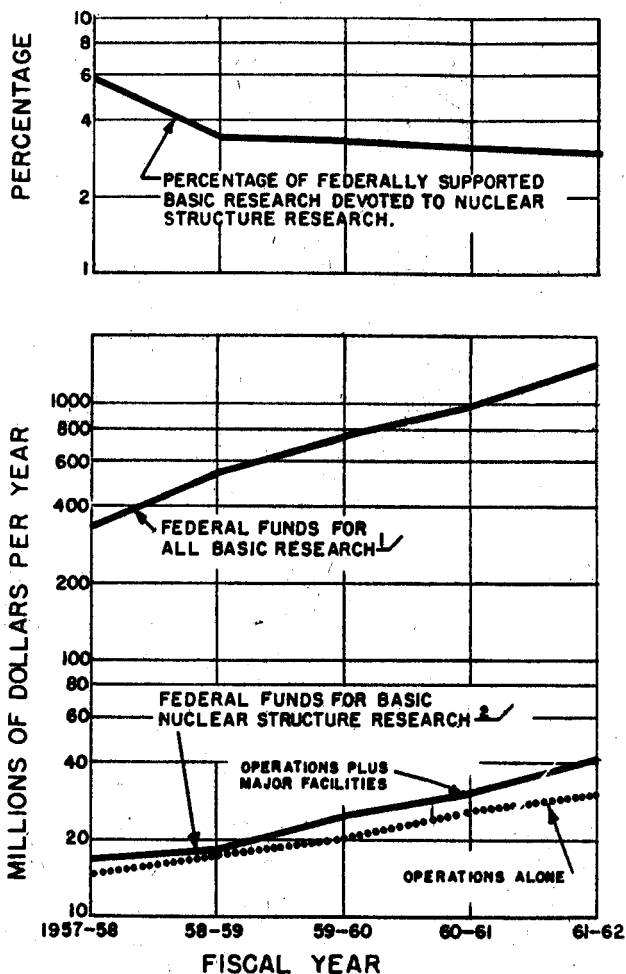
Из-за ограничений на информацию, представленную Секции, при составлении в таблицу не включены расходы на исследования в Калифорнийском университете (Беркли), в Радиационной лаборатории Лоуренса и в Научно-исследовательской лаборатории в Лос-Аламосе. По этим и некоторым другим причинам эти данные могут не согласоваться с другими.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Проектируемое финансирование

А. Текущий бюджет

Для определенности рекомендаций мы должны попытаться предсказать рост исследований строения ядра и полную стоимость их. Общие затраты разделены на две части - полные затраты на эксплуатацию и затраты на крупное оборудование. Общие затраты определены перемножением стоимости годовых затрат рабочего времени на число человеко-годов, затраченных на исследования строения ядра. Число человеко-годов определено здесь по количеству эквивалентного полного времени научно-исследовательских работников, имеющих докторскую степень в области исследований строения ядра.

Рисунок 4-1. Государственные фонды на все основные исследования
и на основные исследования строения ядра



Source: 1/ Federal Funds for Science X, NSF 61-82, and Preceding reports in this series.

2/ See Table 4-1.

Затраты на человеко-год определены как частное от деления затрат на исследования на полное эквивалентное время научно-исследовательских работников.

1. Человеко-годы. Журнал "Вклад в научный прогресс", ННФ 61-27, стр.14, утверждает, что за период 1960-1970 предполагается увеличение числа докторских научных и технических диссертаций на семь процентов в год. Если количество полного времени научно-исследовательских работников, имеющих докторскую степень, будет увеличиваться с такой же скоростью, то отношение человеко-годов в 1966-67 гг. к их количеству в 1961-62 гг. будет равным 1,40.

2. Эксплуатационные затраты за человеко-год. Чтобы установить изменение эксплуатационных затрат за один человеко-год за рассматриваемый период, введем три фактора:

а/ Предполагаемое увеличение средних затрат на все научно-исследовательские учреждения США, включая промышленные, правительственные и академические (фактор общих затрат) .

б/ Уменьшение частичных вложений заказчиков и субсидеров в эксплуатационные расходы /фактор вклада заказчика/.

в/ Все более широкое внедрение быстродействующих вычислительных машин, предназначенных для обработки данных, управления и теоретических исследований (фактор затрат на вычислительную технику) .

Фактор общих затрат. При определении фактора научно-исследовательских затрат мы исходим из имеющихся исторических данных. В "Обзоре научно-исследовательских данных", № 33, ННФ 62-9 за апрель 1962 г. , показано, что основные затраты на единицу эквивалента полного научно-исследовательского и инженерного времени за период 1954-58 гг. увеличивались в среднем на 7,8 процента в год (фактические цифры были: 23 тысячи долларов в 1954 и 31 тысяча в 1958 г. на индивидуальное полное время). Если предположить, что этот темп роста сохранится и на период 1962-67 гг. и что эксплуатационные расходы на человеко-год в области строения ядра будут расти так же быстро, как и средние научно-исследовательские затраты, в этом случае первый из факторов будет равен 1,46.

Фактор вклада заказчика можно определить из опубликованных отчетов Отделения исследований при Комиссии по атомной энергии (статистическая сводка по программе физических исследований приведена выше) . В отчетах указывается несколько категорий вкладов в исследования строения ядра, полученных от учрежде-

ний, заключивших соглашение с Комиссией по атомной энергии и не имеющих соглашений с другими государственными агентствами. Из отчетов следует, что к концу 1961 года вклад заказчика составлял по крайней мере 16 процентов от государственных затрат (за период от июня 1958 по июнь 1960 года этот вклад составлял 18,5 процента, снижаясь до 17 процентов в июне 1961 г.). Экстраполируя эти данные в полулогарифмическом масштабе, получаем на 1966-67 гг. величину около 10-14 процентов. Для оценки возьмем величину 12 процентов, тогда фактор заказчика для этого ограниченного числа контрактов окажется равным 1,04. Примем эту величину для всех государственных заказчиков и субсидеров в этой области.

Фактор затрат на вычислительную технику. При определении этого фактора необходимо рассмотреть малые вычислительные машины и машины для обработки данных, которые обычно используются в процессе как составные части экспериментальной установки, а также и более крупные машины общего назначения, которые используются самостоятельно на основе арендной платы. Установлено, что в 1961-62 гг. затраты на интенсивное использование этих машин составили 4-5 процентов от 29,9 миллионов долларов государственных затрат на эксплуатацию^{17/}. Действительные затраты, вероятно, составляют 1-2 процента. Таким образом, положим этот фактор равным 1,03. Умножим 29,9 миллионов долларов расходов на эксплуатацию за 1961-62 гг. на произведение приведенных выше четырех факторов и получим приблизительный текущий бюджет на 1966-67 гг. в сумме 65 миллионов долларов.

Б. Неточности предположения

1. Государственные эксплуатационные расходы на 1961-62 гг. Ввиду того, что эксплуатационные фонды начали расходовать ранее, чем они были утверждены, мы оценили точность этой цифры в $\pm 5\%$.

2. Количество человеко-годов. Мы считаем, процент увеличения количества человеко-годов должен быть не 7 процентов, как приняли, а 6-8 процентов.

3. Фактор общих затрат. Если принять, что эксплуатационные расходы увеличиваются не на 7,8% а на 10%, получим точность $+ 10\%$; -0% .

4. Фактор вклада заказчика. Точность составляет $\pm 2\%$.

5. Фактор расходов на вычислительную технику. Точность составляет $\pm 2\%$.

Если погрешности независимы, то текущий бюджет на 1966-67 гг. будет составлять от 60 до 75 миллионов долларов, при условии, что не будет предпринято

^{17/} Оценка приведена из личной переписки Р.Г. Бесселя, Национальная лаборатория в Окридже.

никаких дополнительных попыток применить последние успехи в изучении строения ядра.

Мы твердо убеждены, что необходимо использовать те значительные успехи в физике строения ядра, которые указаны в этом сообщении, и потому мы оцениваем текущий бюджет на 1966-67 гг. в 70-85 миллионов долларов за год. Это составляет менее 3% превышения темпов расширения ядерных исследований над темпами расширения всей науки и техники. Однако снова следует отметить, что из-за совпадения главных успехов как в теории ядра, так и в оснащении, область ядерной физики имеет чрезвычайные возможности для основного прогресса при условии активного использования этих достижений в следующие пять лет. Мало вероятно, что темп использования этих достижений превзойдет средний темп использования научно-исследовательских достижений в США.

Исследования строения ядра показали свою силу и значение. Несмотря на то, что 1961-62 гг. соответствующая помощь этой области уменьшилась с 5,7% до 2,9%, доля ученых-ядерщиков, имеющих докторскую степень, осталась прежней, а число публикаций увеличилось. Процент количества ученых и силу этой области можно сохранить на короткие периоды относительных затруднений, но сила этой области уменьшится, если соответствующая помощь будет продолжать уменьшаться.

В. Затраты на оборудование

Мы обсудили вопросы о внедрении современных достижений в технику ускорителей, о необходимости расширения исследований с высокими энергиями и вопрос о замене существенной доли из 125 существующих в США ускорителей, предназначенных для исследований по физике строения ядра. По мнению Секции, в течение следующих пяти лет следует принимать в среднем 5-7 крупных установок, включая замену, при средних затратах 4-5,5 миллионов долларов, включая затраты на постройку зданий и вспомогательное оборудование. Окончательно предполагается, что в течение следующих пяти лет ежегодные затраты на оборудования должны составить 22-35 миллионов долларов.

Г. Общие расходы

Сумма затрат на оборудование и эксплуатационные расходы дает величину предполагаемых общих государственных расходов на исследования в области физики строения ядра размером 92-125 миллионов долларов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Научные силы

Целью этого приложения является показать возможность создания научных сил для расширения исследований строения ядра, предложенного в приложении 5. Заметим, что научный прогресс нашей нации сдерживается имеющимися научными силами, а не средствами. Неразумно рекомендовать существенно увеличивать средства на исследования строения ядра, если не имеется возможности найти людей, способных выполнить такие исследования.

Чтобы определить необходимое для выполнения предложенной программы исследований на 1966-67 гг. число людей, мы воспользуемся эксплуатационными расходами за 1 человеко-год, как делали в приложении 5. Статистическая сводка о программе физических исследований Комиссии по атомной энергии дает цифры, приведенные в таблице 6-1. Из этой таблицы имеем приблизительную цифру 43 тысячи долларов в человеко-год в 1961-62 гг., в то время как государственные ассигнования составляли 29,9 миллиона долларов. Это означает, что в 1961-62 гг. на исследования строения ядра было затрачено 696 человеко-годов научных усилий. Мы предлагаем текущий бюджет на 1966-67 гг. размером 70-90 миллионов долларов и для оценки примем его равным 80 миллионам долларов.

В приложении 5 прирост затрат за один человеко-год составляет 1,585, тогда в 1966-67 гг. затраты за один человеко-год составят 87,5 тысяч долларов. Следовательно, в 1966-67 гг. общее число человеко-годов составит 1185, и полный прирост за пятилетие составит 489 человеко-годов.

Большинство ученых, работающих в области строения ядра, связаны с академическими учреждениями и поэтому не полностью посвящают свое время исследованиям. В.Н. Эллис из Национального научного фонда определил, что в 1960 г. в исследованиях строения ядра активное участие принимали около 900 ученых-исследователей. Таким образом, каждый человек посвящал в среднем 74,4% своего времени исследованиям.

Если принять такой же процент времени одного человека на исследования в период 1966-67 гг., то полное увеличение числа людей составит 648.

Число докторских диссертаций по исследованию строения ядра в течение десяти лет ежегодно почти не менялось и составляло около 142. Можно ожидать увеличения числа людей в этой области только за счет роста количества населения колледжного возраста (которое оставалось постоянным в течение прошедших двадцати лет^{18/}) в последующие пять лет. Однако даже если этот рост и не будет иметь место, мы считаем, что число физиков, которые получают докторскую степень в области строения ядра за период от 1960 до 1967 гг., будет равно 994 - числу существенно большему, чем требуется для предполагаемого расширения исследований. Если ожидаемое расширение

18/ В.Р. Броуд. "Рост науки и национальная научная программа".

American Scientist, том 50 № 1, март 1962 г.

будет происходить по экспоненте, как это предполагает журнал "Вклад в научный прогресс", то полное число физиков, имеющих докторскую степень в области строения ядра, может быть около 1300. ✓

Таким образом, мы заключаем, что будут существовать научные силы, необходимые для того, чтобы сделать возможным предложенное расширение исследований. ✓

Таблица 6-1. Эксплуатационные расходы в исследованиях по физике строения ядра и число человеко-годов в заключенных контрактах Комиссии по атомной энергии.

Дата (1)	Годовые эксплуатаци- онные расходы (2) миллионы долларов	Человеко- годы (3)	Эксплуатационные расходы за один человеко-год (4) тысячи долларов
Декабрь 31, 1959	16,9	418,6	38,8
Июнь 30, 1960	18,97	527,1	36,0
Декабрь 31, 1960	18,26	485,7	37,6
Июнь 30, 1961	21,40	500,3	42,8
Декабрь 31, 1961	20,61	500,2	41,2

ПРИМЕЧАНИЕ: В колонке (2) даны годовые эксплуатационные расходы в миллионах долларов (статистическая сводка по программе физических исследований Комиссии по атомной энергии). Колонка (4) получена из колонки (2) делением на колонку (3), в тысячах долларов за 1 человеко-год.

Таблица 6-2. Смета человеко-годов на исследования по физике структуры ядра.

Финансовый год (1)	Государственные эксплуатационные расходы (2) миллионы долларов	Эксплуатационные расходы за один человеко-год (3) тысячи долларов	Человеко-годы (4)
1957-58	14,6	32,1	455
1958-59	17,2	34,6	497
1959-60	20,1	37,3	539
1960-61	25,3	40,2	630
1961-62	29,9	41,2	727

ПРИМЕЧАНИЕ: В колонке (2) помещены годовые эксплуатационные расходы государства согласно колонке (4) таблицы 4-1, стр. 31. В колонке (3) помещены эксплуатационные расходы за один

человеко-год, в колонке (4) приведено количество человеко-годов, полученное делением величин из колонки (2) на соответствующие величины из колонки (3).

Расходы в колонке (3) получены следующим образом: для 1959-60 финансового года мы усреднили данные за декабрь 1959 и июнь 1960 г., взятые из колонки (4) таблицы 6-1 и получили величину 40,2 миллиона долларов. Для 1961-62 финансового года имеется только одна цифра. Для 1958-59 финансового года будем считать, что средние 7,8 процента годового прироста будут хорошим приближением, таким образом, поделив величину 37,3 тысячи долларов на 1,078 получаем 34,6 тысячи долларов. Точно так же для 1957-58 финансового года, поделив 34,6 тысячи долларов на 1,078, получим 32,1 тысячи долларов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Состав Консультативной секции по физике строения ядра, основанной Национальным научным фондом в 1961 году.

А. Состав Секции

Том В. Боннер, Университет Уильяма Марш Райса.

Д. Аллен Бромли, Университет в Яле.

X/ Кейт А. Брюкнер, Институт обороны.

Бернард А. Кохен, Университет в Питтсбурге.

✓ Герман Фешбах, Массачусетский технологический институт.

Ганс Фраунфельдер, Университет в Иллинойсе.

✓ Дж. Брюс Френч, Рочестерский Университет.

✓ Гертруда Голдхабер, Брукхэвенская национальная лаборатория (специальный гость Секции).

✓ Уильям В. Хэвенс, Колумбийский университет (председатель).

Эмиль Дж. Конопинский, Университет в Индиане.

Томас Лауритсен, Калифорнийский технологический институт.

Рубби Шерр, Принстонский университет.

Джордж М. Теммер, Флоридский государственный университет.

Ассистент Секции: Ирвин Маннинг, Научно-исследовательская лаборатория ВМФ США.

X Назначенный в Секцию доктор Кейт Брюкнер не имел возможности присутствовать на всем заседании в первый день. Он также обнаружил, что его мнение не совпадает с мнением, изложенным в Сообщении. По этой причине и по причине кратковременного контакта с Секцией он просил опустить его имя из списка лиц, участвующих в подготовке Сообщения.

Б. Государственные представители, приг-
лашенные на заседание Секции в октябре
19-21, 1961 года

Комиссия по атомной энергии:

Джордж А. Колстэд, Джордж Л. Рогоза.

Научно-исследовательское управление ВВС США:

подполковник Жозеф И. Дювал, Уильям С. Родкэй.

Научно-исследовательское управление сухопутных войск

(Дэхэм): Роберт Мэйс, Герман Робл.

Бюджетное Бюро: Рой Р. Коффин, младший

Оборонное агентство по атомной энергии:

Уильям Дж. Оттинг, младший.

✓ Государственный Совет по науке и технике: Давид З. Робинсон.

Национальный научный фонд: Ричард Г. Болт, Уильям Н. Эллис,

Вэйн Р. Гракер, С. Эдени Хантнинг, Роберт В. Джонстон, Дж.

Говард Мак-Миллен.

Научно-исследовательское управление ВМФ США:

Уильям И. Райт, Жероми А. Фрежу.

Нью-Йорк,

шт. Нью-Йорк.

Колумбийский Университет,

Нью-Йорк,

Пергамские лаборатории ядерной физики,

538 Вест, 120-я улица.

Октябрь 9, 1962 г.

Доктору Аллену Т. Уотэрмену,

Директору

Национального Научного фонда,

Вашингтон, 25.

Уважаемый доктор Уотэрмен:

Ваша Консультативная Секция по физике строения ядра получила ряд замечаний, указывающих на необходимость некоторых разъяснений проекта бюджета, изложенного в Вашем Сообщении, которое было представлено на рассмотрение 30 марта 1962 года.

Секция внимательно пользовалась средней величиной роста затрат на человек-год научных работ, имевших место в последние пять лет. Так как эта величина является

одной из основных в заключительном проекте бюджета, поэтому возникли сомнения в правильности окончательных цифр, и публикация Сообщения была отложена.

За время, пока Сообщение Секции было представлено на рассмотрение, появились дополнительные и более полные сведения о расходах за прошедший период. Мы воспользовались новыми данными для переоценки текущего бюджета на 1966-67 гг. и надеемся, что цифры, приведенные в приложении 5 Заключительного сообщения, настолько сейчас верны, насколько это возможно. Я надеюсь, что теперь это Сообщение будет немедленно опубликовано.

Я должен отметить, что приведенные цифры все еще являются лишь грубой оценкой. У Секции не было ни сил, ни возможности провести систематическое исследование, необходимое для сколько-нибудь точной разработки пятилетнего плана. Хотя предположения относительно текущего бюджета (надеемся) более точные, чем те, которые изложены в представленном на рассмотрение Сообщении, тем не менее мы не считаем, что эти цифры не характеризуют будущее состояние исследований строения ядра сколько-нибудь точнее, чем первоначально представленные цифры. Будущее развитие, очевидно, будет более зависеть от внимания Палат Федерального правительства к области строения ядра, чем от того, как будут расширяться наши общие национальные исследовательские попытки.

В конце концов должно возникнуть мнение, что бюджет, в известном смысле, есть самовыполняющееся предположение. Активность и потребность этой области увеличатся, если увеличить согласно предположению и фонды. Если бюджет на технику ограничен, не следует ожидать появления новой техники. Если мы серьезно намерены выполнить к 1970 г. наши обязательства по удвоению обеспечения ученых и первоклассных центров научно-исследовательского обучения, то нам следует быть готовыми к оказанию поддержки и поощрения в расширении каждой области научных усилий, призванной внести свой вклад. Затем основной предмет обсуждения, и ему в основном посвящено Сообщение, заключается не в высшей финансовой арифметике, а в том, что "имеет ли ядерная физика возможность и перспективы внести свой вклад в общее развитие науки и техники, необходимое нашему обществу?" Со всей надлежащей скромностью и учитывая оговорки сопротивляющихся пророков, мы верим, что ответ будет "да".

Искренне Ваш

У.В. Хэвенс, младший,

Председатель Консультативной Секции
по физике строения ядра.

- Basic Research—A National Resource*, NSF 57-35.
- Brode, Wallace R., "The Growth of Science and a National Science Program," *American Scientist*, Vol. 50, No. 1 (March, 1962).
- Bulletin of the American Physical Society*, Series 2, Vol. 7, Paper QA 3 (1962)
- Education for the Age of Science*, President's Science Advisory Committee (May 24, 1959).
- Index to American Doctoral Dissertations*, University Microfilms, Inc. (Ann Arbor, Michigan: compiled annually).
- Investing in Scientific Progress*, NSF 61-27.
- The Long-Range Demand for Scientific and Technical Personnel*, NSF 61-65.
- Mills, T. J., "Science Doctorates for High-Energy Physics", *Physics Today* (June 1961). Based on an NSF manpower study.
- Physical Review*, 123, 923 (1961).
- Proceedings of the International Conference on Nuclear Structure, Kingston, Canada, August 29-September 3, 1960* (University of Toronto Press, 1960).
- Proceedings of the Rutherford Jubilee International Conference, Manchester, September 4-8, 1961* (Heywood and Co., Ltd., London, 1961).
- Reviews of Data on Research and Development, No. 33*, NSF 62-9.
- Scientific Progress, the Universities and the Federal Government*, statement by the President's Science Advisory Committee (November 15, 1960).
- A Statistical Summary of the Physical Research Program, USAEC, Division of Research* (June 30, 1961), and previous reports in this series.
- Strengthening American Science*, President's Science Advisory Committee (December 27, 1958).
- Weisskopf, Victor F., "Problems in Nuclear Structure," *Physics Today*, Volume 14, No. 7 (July 1961).