

Таким образом, зондирование атмосферного аэрозоля последовательностью коротких импульсов позволяет снизить влияние фоновой засветки и дробовых шумов. Несмотря на возможность работы подобной системы в ограниченном числе метеорологических ситуаций ($\beta > 0,5$), описанная методика может оказаться полезной в практических применениях благодаря портативности и безопасности для глаз.

Автор признателен Р. А. Казаряну за внимание к работе.

Институт физических
исследований АН АрмССР

Поступила 25. VI. 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев В. Е., Самохвалов И. В., Балин Ю. С. Изв. ВУЗ, Физика, 5, 125 (1972).
2. Kreid D. K. Appl. Opt., 15, 1823 (1976).
3. Button J. L., Lyer R. S. Appl. Opt., 17, 265 (1978).
4. Балин Ю. С. и др. Сб. «Вопросы лазерного зондирования атмосферы», Новосибирск, 1976, стр. 34.
5. Мирский Г. Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. М., 1972.

ՄԹՆՈՒՈՐՏԻ ԶՈՆԻՆԱՎՈՐՈՒՄԸ ԱՆԸՆԻՀԱՏ ԳՈՐԾՈՂՈՒԹՅԱՆ ԼԻԿԱՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ

Ա. Վ. ՍԻՆՅԱՎՍԿԻ

Առաջարկվում է մթնոլորտային մառախուղների և աղբյուրների հետազոտման մեթոդիկա անընդհատ ուժիմի լազերի կիրառմամբ: Հետզոտակտորային մշակման սխեման թույլ է տալիս հայտնաբերել մթնոլորտային աերոզոլի անդրադարձման ազդանշանը (աղմուկ/ազդանշանի փոքր հարաբերման պայմաններում):

SOUNDING OF THE ATMOSPHERE WITH CW LIDAR

A. V. SINYAVSKIJ

A method for the investigation of atmospheric fogs using a CW laser is proposed. The processing of post-detector data allows one to discriminate the jamming of atmospheric aerosol return for small values of S/N ratio.

Изв. АН Армянской ССР, Физика, 17, 41—55 (1982)

ХРОНИКА

БЕРКЛИЕВСКАЯ ЛОУРЕНСОВСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ, 1931—1981 гг.

В конце 1981 года исполнилось 50 лет со дня создания широко известного исследовательского центра США — Лоуренсовской радиационной лаборатории (с 1971 г. Берклиевская Лоуренсовская лаборатория), основан-

ной лауреатом Нобелевской премии, создателем циклотрона Эрнестом Орландо Лоуренсом (1901—1958). В этой лаборатории были выполнены пионерские работы в области ускорительной техники, физики высоких энергий, а также широкий круг прикладных исследований и разработок новой экспериментальной аппаратуры. Международный журнал «ЦЕРН Курьер», освещающий основные события, происходящие в области физики высоких энергий, отмечая эту дату, поместил в своем октябрьском номере (CERN Courier, vol. 21, № 8, October 1981) статью, подготовленную сотрудниками отдела истории науки и технологии Берклиевского университета — L. Heilbron, R. W. Seidel, B. R. Wheaton), которая посвящена основным этапам развития Лоуренсовской лаборатории. История этой лаборатории нам кажется поучительной, даже с учетом специфических условий Соединенных Штатов Америки.

Некоторые закономерности развития науки и техники, присущие эпохе современной научно-технической революции, отмечались в одном из предыдущих номеров журнала (Г. М. Гарибян, Р. А. Сардарян. Изв. АН АрмССР, Физика, 16, 158—168 (1981)). В этой статье обращалось внимание на то, что важной закономерностью развития науки является дифференциация и интеграция, а наиболее революционные применения в технике, технологии и экономике возникают на основе глубоких фундаментальных исследований. При этом развитие фундаментальных исследований, которые все теснее связываются с современной техникой и производством, проявляет еще одну закономерность — интеграцию фундаментальных и прикладных исследований. История Лоуренсовской лаборатории является убедительной иллюстрацией этих положений.

Основным принципом Лоуренса в управлении лабораторией было создание междисциплинарных коллективов, проводящих фундаментальные исследования на стыке различных научных дисциплин и использующих в своих исследованиях самую передовую технологию. Это позволило создать учреждение, которое смогло гибко реагировать на изменяющиеся внешние условия. За 50 лет существования лаборатории менялись и экономические, и политические условия, которые, как это видно из приведенного ниже обзора, отражались на судьбе лаборатории. Вторая мировая война заставила лабораторию подключиться к решению целевой программы — программы создания ядерного оружия, а впоследствии лаборатория встала на путь выполнения социальных заказов общества — например, проблемы охраны окружающей среды, поисков новых источников энергии и т. д. В то же время лаборатория стояла на самых передовых позициях фундаментальных проблем физики. И хотя временами она уступала пальму первенства другим лабораториям мира, ее усилия всегда были нацелены на передовые проблемы. Последний проект по исследованиям релятивистских тяжелых ионов, проект VENUS (Variable Energy Nuclear Synchrotron), позволит достичь энергии ускорения ионов 1 ТэВ на нуклон и осуществить столкновения тяжелых ядер вплоть до ядер урана. В свете новейших теоретических представлений физики элементарных частиц и ядра это сразу же поставит лабораторию в лидирующее положение в совершенно новой, неосвоенной области энергий. В частности, станет возможным изучение кварк-глюонной плазмы, синтезирование сверхтяжелых элемен-

тов и т. д. Одновременно пучки тяжелых ионов применяются и будут применяться в медицинских исследованиях, в частности, для терапии рака, тем самым еще раз на практике осуществляя связь фундаментальных и прикладных исследований.

Можно не сомневаться, что ниже публикуемая с небольшими сокращениями в переводе на русский язык история Лоуренсовской лаборатории заинтересует физиков, и они, безусловно, найдут для себя много нового и полезного, и одновременно общего с историей развития других научных центров как у нас в Союзе, так и за рубежом.

А. Ц. АМАТУНИ
Р. А. САРДАРЯН

СИЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ НАУКОЙ И ОБЩЕСТВОМ: 1931—1981*

Берклиевская Лоуренсовская лаборатория была первым крупным ускорительным комплексом и в течение более чем 20 лет лидировала в физике высоких энергий. Она выросла из небольшого циклотронного центра в сложный комплекс с разнообразными и междисциплинарными исследовательскими программами, охватывающий различные области науки и технологии, с коллективом в 3000 человек и годовым бюджетом в 150 миллионов долларов.

История лаборатории и ее успешной адаптации к меняющимся внешним условиям имеет более чем региональный или даже национальный интерес. На нее оказывали влияние многие важные моменты современной истории, такие как экономические циклы, социальная революция, война и опасность войны, рост бюрократии, методы медицинской псевдонауки, а также недавно возникшие проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды, с сохранением и умножением источников энергии. Приспосабливаясь к этим обстоятельствам, лаборатория не только разрабатывала новые установки и использовала их, но и находила новые пути организации науки. В качестве примера организации масштабных коллективных исследований в академической среде лаборатория оказала большое влияние на развитие научных исследований во всем мире.

1. Старая радиационная лаборатория

История лаборатории подразделяется на 6 периодов, которые соответствуют главным социальным и политическим событиям, происшедшим во всем обществе. В силу упомянутой взаимосвязи эти события часто совпадали с поворотными моментами в направлении исследований лаборатории и важными изменениями во внутренней ее организации.

Начало 30-х годов, когда Эрнест О. Лоренс создал свою лабораторию, было не самым благоприятным моментом для этого. США скатывались в глубины своей экономической депрессии. Изыскание денег для та-

* Перевод выполнен Р. А. Сардаряном под редакцией А. Ц. Амаатуни.

кого мероприятия требовало определенного умения, ибо правительство США в этот период выделяло минимальные средства для поддержания академической физики. Но Лоуренс, организатор-энтузиаст, проявив предпринимчивость, смог мастерски мобилизовать промышленность, филантропические организации и университет Беркли. Была привлечена радиопрмышленность, бурное развитие которой помогло Лоуренсу в двух различных аспектах. Во-первых, были созданы и стали доступны мощные радиочастотные колебательные системы, без которых невозможно было бы создание циклотрона. Во-вторых, принятый в то время метод передачи энергии на расстояние, использующий большие электромагниты, устарел, и местная телеграфная компания, FTS (Federal Telegraph Company), подарила один из этих «белых слонов» Лоуренсу. Университет, в свою очередь, вместо неиспользуемой инженерной испытательной лаборатории образовал Радиационную лабораторию. Исследовательская корпорация, филантропическая организация, учрежденная на доходы от патентов бывшего профессора Беркли, и Химический фонд, который владел немецкими химическими патентами, полученными во время первой мировой войны, финансировали перемещение магнита и переоборудование его для использования в ускорителе.

Целью ускорителя, как и рентгеновской трубки, созданной ранее Лоуренсом со своими студентами М. Стенли Ливингстоном и Дэвидом Слоаном, было достижение более высоких потенциалов в надежде использовать их для медицинской терапии и для создания новых источников энергии. Или, по крайней мере, так говорил Лоуренс своим финансовым покровителям. Но для коллег — первоначально студентов Беркли, постоянных сотрудников лаборатории или визитеров, желающих работать в лаборатории без оплаты, — волнующей всех целью лаборатории было сооружение ускорителей, созданных на грани самой передовой технологии, с перспективой использовать их для изучения ядер и атомов. Многие успехи и неудачи лаборатории в течение 30-х годов объясняются различием в восприятии между финансирующими лабораторию организациями и ее сотрудниками: быстрый рост технического превосходства лаборатории и небольшой вклад в крупные открытия ядерной физики тех времен — от искусственного расщепления ядер до ядерного деления.

Несоответствие целей сподвижников Лоуренса и финансирующих лабораторию организаций становилось все более очевидным. В 1934 г. после открытия искусственной радиоактивности, сделанного Ирэн и Фредериком Жолио-Кюри, Лоуренс решает производить радионуклиды для использования их в медицине или в биологических исследованиях в качестве метчиков. Эта программа получила поддержку фондов Мейси и Рокфеллера, которые были заинтересованы в приложении физики к биологии и заключили договор с лабораторией о создании изотопов, пригодных для использования в медицине и в физиологических исследованиях.

В 1935 г. с помощью своего брата Джона — врача по специальности — Лоуренс обратил внимание на возможность лечения рака с помощью пучков циклотрона, а в 1936 г., с целью удержать Лоуренса от принятия предложения Гарвардского университета, университет Беркли, как часть соглашения с Лоуренсом, выделил деньги на «медицинский циклотрон». В ре-

результате был создан 60-дюймовый (примерно 1,5 м) ускоритель, который вступил в строй в 1939 г. и был самым мощным в то время в мире.

Тем временем все больше времени на циклотроне, использующем старый магнит FTS (27-дюймовый до 1937 г. и 37-дюймовый впоследствии), тратилось на создание изотопов для биологических экспериментов и поиск более подходящих для этих целей новых изотопов. Важным результатом этой работы явился синтез многих новых источников искусственной радиоактивности, включая кобальт-60, технеций-99, углерод-14; в приложениях — лечение polycythemia vera и других заболеваний.

Опыт детектирования и идентификации малых количеств новых радионуклидов, также как и опыт эксплуатации ускорителей для создания этих нуклидов сделали возможным открытие нептуния и плутония за два года до открытия ядерного деления. Были получены также другие яркие физические результаты, включая измерение магнитного момента нейтрона, измерение протон-протонного рассеяния и открытие ядерного перехода, вызванного захватом орбитальных электронов.

Однако на пороге Второй мировой войны тематика лаборатории ни в какой мере не определялась только ядерной физикой или даже ядерной физикой и ядерной химией. Ее исследования в основном были посвящены уникальному гибриду: помеси физики и биологии, медицины и передовой технологии — гибриду, созданному Лоуренсом для достижения успеха, невозможного для каждой из составляющих в отдельности.

Для удовлетворения потребностей в используемых в биологии радиоизотопах в Беркли и за его пределами требовалось улучшение организации. В мае 1937 г. к двум дневным сменам на 27-дюймовом циклотроне была добавлена ночная смена (с 11 часов вечера до 3 часов утра). В июле циклотрон стал работать круглосуточно. Сотрудники лаборатории, которые организовывали свои часы работы на ускорителе произвольным образом, стали подчиняться формальному расписанию. Эксперименты организовывались в соответствии с программой создания изотопов. Создание расписания на ускорителе — явление, уже ставшее стандартным на всех больших ускорителях, — таким образом вошло в ядерную физику или, по крайней мере, в жизнь лаборатории, и не потому, что было слишком много новых экспериментов, которые требовали согласования во времени их проведения, а потому, что большая часть времени ускорителя требовалась для обеспечения лаборатории финансами. Объединение всего этого в единое целое стало возможным благодаря организационному умению и энтузиазму Лоуренса, приведшим к созданию процветающей лаборатории в годы глубокой депрессии.

2. Мобилизация и трансформация

Что означала Вторая мировая война для лаборатории — можно судить по тому, как создавался 184-дюймовый (более 4,5 м) ускоритель. Лоуренс начал собирать деньги для него в 1939 г. у своих обычных кредиторов, среди которых фонд Рокфеллера оказался наиболее щедрым (около 1,15 миллионов долларов). Субсидия была предоставлена, несмотря на критику, отмечавшую, что в достижении намечаемой Лоуренсом энергии ускорите-

ля — от 100 до 200 МэВ — могут возникнуть трудности, ибо при таких энергиях релятивистское увеличение массы частиц нарушит условие резонанса в циклотроне. Лаборатория намеревалась уменьшить эффекты нарушения синхронизации некоторыми не очень элегантными методами, как, например, увеличением максимальной напряженности поля, тем самым уменьшая число оборотов, необходимых для достижения проектной энергии, и соответственно уменьшая шансы выпадения из резонанса.

Магнит для 184-дюймового циклотрона (габариты определялись размерами и стоимостью стальных пластин, производимых в то время) не помещался в университетском дворе. Университет предложил для него место на холме выше Беркли с видом на залив Сан-Франциско, и на том месте, где вырос сегодняшний комплекс лаборатории, в течение октября 1940 г. был подготовлен фундамент для гигантской машины, на который ушло 10000 тонн бетона. Пресса, которая освещала заливку бетона, прощески, но без оснований, связывала это событие с войной в Европе. Отмечалось, что открытие деления привело к возможности создания ядерной взрывчатки и что циклотроны уже действуют или находятся на стадии сооружения в Германии и Японии.

Первое соприкосновение лаборатории с войной произошло тогда, когда она столкнулась с трудностями в приобретении стали и меди для магнита нового ускорителя. Хотя США пока еще не вступили в войну, они начали накапливать стратегические материалы и нормировать их расход. Никакой ускоритель не мог быть сооружен на холме Беркли, если бы университет не получил высокий приоритет в закупке необходимого металла.

Приоритет — впоследствии высший приоритет — исходил от Национального комитета оборонных исследований, который в 1940 г. возглавил «урановый проект», был первым шагом в цепи американских усилий в деле создания ядерной бомбы (из соображений безопасности название «Манхэттенский инженерный округ», MED (Manhattan Engineering District), было прикрытием проекта). Комитет решил, что большой магнит должен быть сооружен для того, чтобы проверить возможность разделения легкого изотопа U^{235} от его более распространенного компаньона U^{238} . Лоуренс, используя весь свой оптимизм и патриотизм, настаивал на электромагнитном методе разделения. Эта задача стала главной для лаборатории с 1941 г. до реализации процесса в 1944 г. в промышленном масштабе в Оак Ридж, штат Теннесси.

Основными элементами этого процесса, названными калютронами в честь Калифорнийского университета, где они были разработаны, в сущности являлись большие масс-спектрографы. Такие спектрографы были расположены вдоль «беговых дорожек» с общим числом 96. Каждая дорожка контролировалась магнитом, потребляющим в 100 раз большую мощность, чем магнит 184-дюймового циклотрона. Когда не нашлось достаточного количества меди для изготовления кабелей для питания магнитов, было взято 14 000 тонн серебра из федеральной казны. Почти все количество расщепляющихся материалов, содержащихся в бомбе, упавшей на Хиросиму, прошло через калютроны.

Сооружение 184-дюймового ускорителя было завершено после войны с оплатой займа, который в размере 170 000 долларов был получен от

MED. Его конечная конструкция имела мало общего с первоначальной. Он включал в себя принцип синхротронного ускорения, открытый к концу войны Эдвином Макмилланом (и независимо В. И. Векслером в СССР). Этот принцип позволил приспособиться к релятивизму с помощью модуляции частоты ускоряющего электрического поля или изменения напряженности направляющего магнитного поля, либо с помощью того и другого. Так как магнит уже был сооружен, для 184-дюймового «синхро-циклотрона» был принят первый вариант. Это привело к удвоению максимальной энергии, намеченной Лоуренсом в 1939 году.

В годы войны коллектив лаборатории быстро вырос благодаря, прежде всего, проекту калюотрона, а также другим программам, представляющим интерес для MED. Наиболее важным для будущего лаборатории было изучение биологического воздействия делящихся материалов и их продуктов, а также исследование влияния высоких температур на материалы, которые можно было бы использовать в ядерных реакторах. Во время войны максимальное число сотрудников лаборатории составляло 1170 человек, включая 65 человек охраны. Меры безопасности оставались навязанными еще много лет и не исчезли полностью, несмотря на завершение всех засекреченных исследований.

Наиболее заметным наследием лаборатории, полученным от войны, были ее размеры. В планах на будущее, которые прикидывал Лоуренс в 1944 г., он полагал, что лаборатория будет частью физического факультета университета Беркли, и имел в виду, что для медицинской физики будет создано отдельное подразделение. Он полагал также иметь лишь небольшой коллектив и возобновить экономную политику, привлекая студентов и визитеров к работе в лаборатории. Что касается бюджета, то он предусматривал его в размере 85.000 долларов плюс некоторое оборудование, поступающее от военных излишков. В 1945 г., однако, Лоуренс понял, что хотя наука должна почетно быть освобождена от воинской обязанности, она всегда должна оставаться в действующем резерве национальной безопасности и благополучия. За четыре месяца до успешного испытания плутониевой бомбы в Нью-Мексико он обратился в MED, запросив от 7 до 10 миллионов долларов для первого года работы после войны, т. е. в 100 раз больше, чем он полагал годом раньше. После завершения испытания, которое укрепило к нему доверие со стороны MED, он установил, что послевоенный коллектив его должен состоять из 239 человек. Но минимальный состав лаборатории в 1946 г. был в два раза больше. Лаборатория расширялась далее под руководством преемника MED — Комиссии по атомной энергии, АЕС (Atomic Energy Commission), и ее «потомков», пока не достигла сегодняшних размеров. Коллектив и бюджет лаборатории выросли в 6 раз по сравнению с тем, что имел Лоуренс в 1946 г.

3. Демобилизованная наука

Война дала лаборатории не только парадный костюм большой науки, находящейся под покровительством государства, — организацию, безопасность, иерархию, обезличивание и большие ресурсы — но и содействовала изменению направленности исследований. Физики, занимающиеся ядер-

ной физикой и физикой высоких энергий, стали героями времени, чародеями, способными производить разрушительные взрывы с помощью незначительнейших кусочков материи. Их большие ускорители ошибочно воспринимались как нечто необходимое для национальной безопасности, и необходимость сотрудничества при эксплуатации и использовании этих машин замечательным образом совпадала со структурой и возможностями лаборатории.

Другим фактором, способствовавшим развитию физики высоких энергий, была заинтересованность и щедрость MED. Благодаря этому стало возможным получение 230 000 долларов и почти на такую же сумму военных излишков в виде конденсаторов для электронного синхротрона Макмиллана, а также была выделена субсидия и 750 излишних радарных генераторов стоимостью 1,5 миллиона долларов для протонного линейного ускорителя Луиса Альвареса. Физика высоких энергий и разработка ускорителей заняли в лаборатории более высокое положение, чем прежде занимали их предшественники — ядерная химия и ядерная медицина.

Но это не означало, что химия и медицина не процветали в период гегемонии физики высоких энергий, которая продолжалась до начала 60-х годов. Что касается химии, то работы по термодинамике высоких температур, работы военных лет по реакторным материалам продолжались до тех пор, пока в 1960 г. они не объединились с другими проектами и не образовали новый отдел молекулярных исследований и материаловедения.

В ядерной химии Глен Сиборг, возвратившись из MED в 1945 г. с субсидией в 75 000 долларов на создание специальной установки для работы с интенсивными радиоактивными изотопами, проводил работы в области химии актинидов, которые он начал во время войны, и синтезировал новые трансурановые элементы. Два из них — берклий и калифорний — были названы в честь прославившего науку Дальнего Запада. Что касается медицины, Джон Лоуренс и его сотрудники продолжали терапию рака с помощью циклотронных пучков, а также смогли использовать изотоп C^{14} , получаемый в избытке в реакторах Ханфорда, для мечения и прослеживания за молекулами в биологических процессах. Наибольшим драматическим достижением в этой области явилась расшифровка фотосинтеза Мелвином Кельвином и его коллегами.

Количество и успех этих работ являются общим показателем усилий лаборатории в основных исследовательских программах в течение полутора десятилетий после войны. В 1946 году либо сооружались, либо находились на последней стадии проектирования три различных типа ускорителей, каждый из них — крупнейший для своего типа. Это были 184-дюймовый синхроциклотрон (6 ноября давший дейтроны с энергией 200 МэВ), протонный линак на энергию 32 МэВ, запущенный в ноябре следующего года, и электронный синхротрон, впервые заработавший в декабре 1948 г. и давший γ -кванты с энергией 335 МэВ. В то время как эти машины становились в строй, Уильям Броубек разрабатывал протонный синхротрон с энергией в области нескольких ГэВ. В апреле 1948 г. АЕС санкционировала строительство двух таких машин: одну на 2—3 ГэВ — в Брукхевене и другую на 6 ГэВ и более — в Беркли.

4. Частичная ремобилизация

Одним из достижений этого первого поколения послевоенных ускорителей был захват инициативы в физике элементарных частиц от исследователей в области космических лучей. В начале 1948 г. среди множества следов, выходящих из мишени, облученной пучком синхроциклотрона, были зарегистрированы заряженные мезоны (пионы), а в конце 1949 г. в экспериментах на той же машине были получены весьма обнадеживающие данные о существовании нейтрального пиона. Аналогичные данные, полученные на электронном синхротроне в 1950 г., не оставили никаких сомнений в этом. В 1952 г. вступил в строй более мощный Брукхевенский Космотрон, и вскоре был генерирован каон, ранее наблюдаемый в космических лучах.

Взрыв первой советской ядерной бомбы в августе 1949 г. шокировал и даже оказал паническое действие на западных политиков, равно как и оправдал мнения их технических советников. В последующей паранойе были усилены меры безопасности, затребованы заверения в лояльности, сделаны увольнения и санкционирована программа создания водородной бомбы. Лоуренс, который сам никогда не был демобилизован, продолжал настаивать на разделении изотопов с помощью калютронного процесса и накоплении радиологических материалов военного назначения, способствуя тем самым инициативе развития гонки за супероружие. После того, как АЕС отменила его план создания тяжеловодного реактора, он предложил обеспечить достаточное количество материалов для термоядерных и ядерных бомб, а также военных радиологических материалов, производя их с помощью ускорителей.

План Лоуренса, предложенный им АЕС в канун нового 1950 г., предусматривал сооружение ускорителя, который должен был производить 1 грамм нейтронов в день. Нейтроны могли быть направлены на различные мишени в зависимости от того, какие расщепляющиеся материалы желательны: на литий — для производства трития (для термоядерной бомбы), на висмут — для производства полония (для радиологического оружия) и на уран — для производства плутония (для атомной бомбы). Последняя цель, вероятно, была наиболее весомой для АЕС, которая беспокоилась о том, как бы в один прекрасный день США не остались без природного урана, который и без того в то время целиком поставлялся из-за рубежа.

Перспектива, предложенная Лоуренсом, сделать нечто полезное из практически неисчерпаемых отходов от реакторного урана, обедненного U^{235} , была настолько значительной, что АЕС санкционировала сооружение прототипа нейтронной фабрики. Проект с кодовым названием «ускоритель для испытания материалов», МТА (Material Testing Accelerator), был реализован в 45 милях от Беркли на бывшей военно-морской авиабазе в Ливерморе, штат Калифорния. Прототип требуемого ускорителя, или Марк I, представлял из себя линейный ускоритель Альвареца, в основном состоящий из резонатора, заполненного электромагнитным полем, которое ускоряет частицы, когда они пересекают щели между пролетными трубками, подвешенными к стенке резонатора. Марк I, который стоил свыше 200

миллионов долларов, имел самое большое в то время вакуумное пространство длиной 60 футов и почти 60 футов в диаметре (60 футов \approx 18,3 м). Потребляемая им мощность, 18 МВатт, могла удовлетворить нужды общины численностью 20 000 человек. Большая из его пролетных трубок весила 40 тонн, а фокусирующий магнит потребовал 100 тонн медной проволоки для своего изготовления.

И все же Марк I был игрушкой по сравнению с проектировавшимся для крупномасштабного производства ускорителем Марк II, который должен был иметь полость длиной 1500 футов (450 м) и почти 60 футов в диаметре. Этот ускоритель стоил более чем 300 миллионов долларов, не считая его мишени. Только потребляемая энергия обходилась в 14 миллионов долларов в год. Лоуренс считал, что 10 таких машин должны быть построены в различных частях страны, каждая из которых должна быть окружена бетонной защитой высотой 80 футов (\sim 25 м) и иметь толщину от 7 до 20 футов (2—6 м).

В то время как АЕС обсуждала достоинства этого проекта, Лоуренс предложил еще один тип нейтронной фабрики, Марк III. Это должен был быть циклотрон, использующий еще неопробованный принцип секторной фокусировки, развитый Л. Томасом в 1938 г. для учета требований релятивизма. Комиссия санкционировала изучение возможности реализации этого проекта, и в лаборатории были построены два модельных циклотрона, которые продемонстрировали работоспособность принципа. Но в 1952 г. АЕС сократила программу ускорителя для производства и уменьшила программу прототипа, Марка I, до небольшой программы в своем исследовательском отделе. Был найден существенно более дешевый способ получения делящихся материалов. Установление премии за открытие новых залежей руды и высокие цены на уран стимулировали разведку, что привело к обнаружению богатых залежей урана на Колорадском плато. США уже не нужно было предпринимать чрезвычайные меры для получения плутония из отходов урана.

Однако проект МТА имел важные последствия для лаборатории. Во-первых, он привел к росту коллектива лаборатории от 300 человек в 1949 г. до 1600 человек в 1952 г. — на 1/3 больше, чем достигнутый максимум во время войны. С этого уровня начался другой резкий подъем в ответ на новую советскую инициативу — сообщение в 1956 г. о создании в Дубне ускорителя на 10 ГэВ.

Другим следствием было то, что Ливерморская лаборатория стала частью лаборатории в Беркли. Ливермор взял на себя большинство прикладных исследований, включая проект Витни (усовершенствование оружия), Плутон (ядерные ракеты), Плушер (мирное применение ядерных взрывов) и Шервуд (контролируемые термоядерные реакции). Засекреченные исследования постепенно переходили из Беркли в Ливермор, который в 1971 г. стал отдельным учреждением, руководимым университетом, но работающим для АЕС.

Третий ряд следствий касался ядерной физики и ускорительной техники. Опыт МТА послужил толчком к созданию циклотронов с секторной фокусировкой во всем мире, включая 88-дюймовую машину для ядерной химии, запущенную в Беркли в 1961 г. Компенсационные платежи за

МТА, около 300 000 долларов, позволили лаборатории увеличить магнитное поле синхро-циклотрона до 23 кГаусс, так что протоны могли быть ускорены до 750 МэВ. Возможно, наиболее важным было приобретение нового опыта при разработке проекта МТА, а также оставшиеся от него материалы, способствовавшие завершению долгожданного Бэватрона с энергией, почти в два раза превышающей запланированную в 1950 г.

5. Небывалый урожай

Бэватрон заработал в 1954 г. В течение последующих пяти лет, до того, как заработали протонные синхротроны в ЦЕРНе и Брукхевене, Бэватрон имел самую большую энергию в западном мире и оказался наиболее результативным для физики частиц. Благодаря также его совершенным системам детектирования и анализа — относительно большие пузырьковые камеры и электронные системы, анализирующие данные, — Бэватрон оставался конкурентоспособным в течение ряда лет и после того, как он потерял лидерство по энергии.

Многие эксперименты, проведенные в течение первого года работы Бэватрона (1954 г.), были связаны с историей о времени жизни каонов. В космических лучах различались 6 разных сортов каонов, каждый из которых отличался способом распада. Возник вопрос, должен ли физик принять подюжины каонов в качестве элементарных, т. е. отражают ли различные типы вторичных частиц независимые первичные или же только различные пути, по которым одна исходная частица распределяет запас своей энергии.

Эксперименты установили, что все каоны имеют почти одинаковые массы и что все положительные каоны имеют почти те же самые времена жизни. Очевидному выводу, что существует всего лишь один сорт каона с различными модами распада, противостояла точка зрения, что две из этих мод, называемые тета и тау, не могут обе одновременно сохранять четность.

Вывод, сделанный Т. Д. Ли и Ц. Н. Янгом, что нет необходимости в том, чтобы четность сохранялась в слабых взаимодействиях, разрешил тау-тета загадку, на которую было обращено внимание в работах на Бэватроне. Другие загадки каонов нашли свое решение введением Мюрреем Гелл-Манном и другими нового квантового числа — странности. Дальнейшие работы на Бэватроне подтвердили теорию, например, установлением нарушения четности и в распаде гиперонов.

Изучение каонов, возбуждающее и благодарное, в одном аспекте уже имело известность — снова стало возможным с помощью большого ускорителя детальное изучение частиц, найденных сперва в космических лучах. Манили другие поисковые эксперименты — обнаружение частицы фундаментальной значимости, пока еще не найденной в природе, — и несколько групп в 1955 г. начали поиски антипротона. Проектная энергия Бэватрона 6,2 ГэВ позволяла практически наверняка образовать их, если такие частицы могли существовать.

Трудность заключалась в том, что нужно было среди большого числа вторичных частиц, полученных при столкновении пучка Бэватрона с опре-

деленной мишенью, найти небольшое число отрицательно заряженных протонов. В методе, который привел к успеху впервые в октябре 1955 г., тщательно подобранный набор отклоняющих и фокусирующих магнитов, сцинтилляционных и черенковских счетчиков, соединенных в цепь совпадений, детектировали один антипротон на фоне 50000 отрицательных мезонов. Год спустя вторая античастица, антинейтрон, была обнаружена среди частиц, рожденных Бэватроном.

В некоторых случаях новые быстрые электронные детекторы не могли заменить старых медленных способов, основанных на методиках камеры Вильсона и ядерных эмульсий. В физике частиц, как и везде, наглядная картина иногда стоит тысячи слов. Но чтобы полностью использовать возможности Бэватрона, нужно было иметь трековый детектор, более быстрый, чем камера Вильсона, и с большим разрешением, чем у эмульсий.

Такой детектор — пузырьковая камера, впервые предложенная Дональдом Глезером, был разработан Альваресом с коллегами. Их первая камера, созданная в 1953 г., имела 1,5 дюйма в диаметре ($\sim 3,8$ см). Наибольшая камера, создание которой было начато в 1955 г. и завершено в 1959 г., уже имела размеры $72 \times 20 \times 15$ дюймов ($\sim 1,8 \times 0,5 \times 0,4$ м). Большое оптически прозрачное стекло камеры для наблюдения выдерживало давление в 100 тонн жидкого водорода, находящегося в камере. Наряду с камерами группа Альвареса создала ряд все более мощных автоматизированных приборов для сбора и обработки огромного количества экспериментальных данных.

Среди многих важных свидетельств, полученных на снимках с пузырьковых камер, была демонстрация нарушения четности и зарядового сопряжения в распаде гиперонов, открытие неуловимого нейтрального кси и серии новых резонансов. Первым среди них был Y^* -гиперон, найденный в 1959 г. и вызвавший большой интерес на Рочестерской конференции по физике высоких энергий в 1960 г., на которой был доложен этот результат. В последующей гонке в целях создания спектроскопии более тяжелых элементарных частиц Бэватрон сделал наиболее заметный вклад, пока требуемые экспериментами энергии не превзошли его возможности.

На основе систематики элементарных частиц, развитой независимо Гелл-Манном и Ювалом Неэманом, было предсказано существование пока еще не обнаруженной частицы, названной омега минус, так как полагалось, что эта частица должна быть последней из определенного сорта частиц. Ее обнаружение должно было подтвердить основное положение систематики спектроскопической системы или «восьмеричного пути», и потому ее усиленно искали. Ее рождение лежало за пределами возможностей Бэватрона, и ее обнаружение в Брукхевене в 1954 г. на (сильнофокусирующем) синхротроне со знакопеременным градиентом, AGS (Alternating Gradient Synchrotron), можно считать концом лидерства Бэватрона в физике частиц.

Лаборатория намеревалась вернуть это лидерство, построив новый ускоритель на 200 ГэВ. Планы эти возникли еще в 1953 г., когда Брукхевен и ЦЕРН были заняты синхротронами типа AGS, создание которых и привело к развитию процесса старения Бэватрона. В начале 1960 г. в лаборатории проектные работы по машине на 200 ГэВ расширились под

патронажем АЕС. Однако, в конечном счете, место ее сооружения определилось политическими и региональными соображениями. Она была построена на Среднем Западе, и стала затем Фермиевской лабораторией (в Батавии близ Чикаго), с тем, чтобы удовлетворить пожелания избирателей, мнением которых ранее пренебрегали.

6. Конец начала

Лоуренс скончался 27 августа 1958 г. Его преемником университет выбрал его соратника в течение долгого времени — Эдвина Макмиллана, который находился на этом посту до 1973 г. Под его руководством лаборатория стала центром междисциплинарных исследований в таких различных областях, как металлургия, катализ и наука о поверхности, электронная микроскопия, теоретическая химия, фотоэлектронная спектроскопия, наука о земле, гидрология, физическая химия, биология клетки, онкология и лазерная химия и биология. Его преемники — Анджо Сесслер (1973—80) и Дэвид Ширли — осуществляли дальнейшее расширение исследований в таких областях, как сохранение и развитие источников энергии, — исследований, имеющих отношение к патрону лаборатории — департаменту энергии.

В то время как открывались эти новые возможности, финансирование физики высоких энергий постепенно уменьшалось, а ускоритель на 200 ГэВ строился в Батавии, штат Иллинойс. Хотя в результате физика высоких энергий в лаборатории и пришла в относительный упадок, вклад в эту область продолжал поступать и из Беркли, в особенности в результате коллаборации с соседним Стенфордским центром линейного ускорителя, SLAC (Stanford Linear Accelerator Centre). В частности, лаборатория приняла участие в сооружении и эксплуатации электрон-позитронного накопителя PEP (Proton-Electron-Positron Storage Ring), а также в сооружении большого современного детектора, известного как камера проекции времени (Time Projection Chamber), недавно начавшая функционировать.

Бэватрон, долгое время являвшийся инструментом физики элементарных частиц, в качестве последней ступени был подключен к ускорительному комплексу, называемому Бэвалак, который может ускорять тяжелые ионы вплоть до урана. Эти ионы сначала создавались в Суперхайлаке — усовершенствованном варианте линейного ускорителя тяжелых ионов, Nilac (Heavy Ion Linear Accelerator), запущенного в Беркли еще в 1957 г. После ускорения до максимальной энергии 8,5 МэВ на нуклон в Суперхайлаке тяжелые ионы могут быть направлены сразу на установки для ядерной химии либо инжектироваться в Бэватрон. Из большого ускорителя ионы выходят с максимальной энергией 2,1 ГэВ на нуклон и используются для ядерной медицины и ядерной физики. Бэвалак и 88-дюймовый (~ 2,2 м) циклотрон, сооруженный в 1961 г., являются основными установками для исследований по физике тяжелых ионов в США. Стоит отметить, что и для циклотрона, и для первого Хайлака использовалась технология, разработанная ранее для МТА.

Потеря ускорителя на 200 ГэВ и соответствующее снижение финансирования для физики высоких энергий привели к существенному сокраще-

нию численности лаборатории и ее бюджета в течение 1966—74 годов. Возрождение и быстрый рост начался в конце 70-х годов в результате развития новых междисциплинарных исследований, предпринятых в соответствии с национальными потребностями. Отдел молекулярных исследований и материаловедения, MMRD (Materials and Molecular Research Division), расширил программу уже существующих работ в лаборатории. Как отмечалось выше, отдел был образован в связи с исследованиями реакторных материалов, начатыми во время войны и продолженными в связи с термодинамикой высоких температур.

Примерно в 1960 г. для выполнения этой программы исследований был сформирован отдел с заданием, среди других вопросов, исследовать также экзотические материалы для применения в ядерной и космической технологиях. Согласно традициям лаборатории MMRD разработала большие специализированные приборы, как, например, электронный микроскоп на 1,5 МэВ, занимающий три этажа и стоящий 1,5 миллиона долларов. С сооружением в 1982 г. микроскопа с атомным разрешением Национальный электронно-микроскопический комплекс MMRD станет ведущим микроскопическим центром США.

Когда Конгресс внес изменения в Акт об атомной энергии и позволил АЕС поддерживать программы развития неядерной энергии и охраны окружающей среды, Макмиллан организовал службу по исследованию окружающей среды, чтобы способствовать новому направлению исследований. Вопросы изучения проблемы опреснения воды, проблемы атмосферных аэрозолей и болезней, вызванных загрязнением среды, а также воздействия сверхзвукового транспорта на запасы озона на земле — были одними из первых задач этой службы. Много других вопросов было добавлено после того, когда под руководством Сесслера служба выросла в самый большой отдел лаборатории. В 1977 г. этот отдел был разделен на два — отдел энергии и окружающей среды и отдел науки о земле, который включал в себя исследования по геотермальной энергии и проблемы захоронения ядерных отходов. В последние годы эти два отдела вместе использовали почти четверть бюджета лаборатории.

Чрезмерно специализированные институты, подобно чрезмерно специализированным организмам, долго не выдерживают больших изменений в окружающей среде. Главный принцип адаптации лаборатории — это создание междисциплинарных коллективов, которые расширили бы обычные институтские рамки для того, чтобы далее развивать установки, исследовательские проекты и программы. Основываясь на этом принципе, Лоуренс и создал свою лабораторию. Чтобы продемонстрировать широкие возможности своего ускорителя и его результаты своим финансовым покровителям, он привлекал биологов, медиков и химиков наряду с физиками и инженерами к совместным исследованиям на циклотроне. После войны он вновь подтвердил свою приверженность этому принципу, содействуя такому гибриду, как биоорганическая химия Мелвина Кельвина, а материаловедение — первая большая междисциплинарная программа, начатая уже после смерти Лоуренса, — поставило на твердую основу механизм таких исследований. Отдел энергии и окружающей среды и отдел науки о земле

представляют собой новые вариации успешно действующего принципа роста через расширение в новые междисциплинарные исследования.

Если наша биологическая метафора имеет некий смысл и, возможно, если даже нет — лаборатория имеет твердые основания для продолжения курса на большие достижения и успешную адаптацию от своих первых пятидесяти лет к следующей половине столетия.