

# Оглавление

Предисловие.....	5
Слова благодарности.....	11
Пролог .....	15
<b>1. ЧТО НАМ ИЗВЕСТНО</b>	
СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ .....	21
<b>2. ЧТО МЫ ПРЕДПОЛАГАЕМ</b>	
ТЕОРИИ, КОТОРЫЕ НУЖДАЮТСЯ В ПРОВЕРКЕ.....	49
<b>3. КАК МЫ ЭТО ДЕЛАЕМ</b>	
БОЛЬШОЙ АДРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР .....	119
<b>4. КАК МЫ ЭТО УВИДИМ</b>	
ГИГАНТСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ .....	161
<b>5. КУДА МЫ ДВИЖЕМСЯ</b>	
ОБЩАЯ КАРТИНА, ВСЕЛЕННАЯ И БУДУЩЕЕ .....	221
Эпилог .....	263
Список рекомендуемой литературы.....	265

# Предисловие

Большой адронный коллайдер (или БАК) — это новый научный инструмент. Изобретение инструментов для наблюдения и измерения всегда имело огромное значение для науки. Хотя в последнее время не утихают дебаты о сравнительных достоинствах «чистой» и прикладной науки, инструменты необходимы для обоих направлений и служат своего рода мостом, объединяющим их. В конце XIX и начале XX веков прогресс как в фундаментальной, так и в прикладной науке, способствовал созданию все более совершенных инструментов, устройств и приспособлений. Многие из них использовались для удобства и развлечения, но при этом способствовали лучшему пониманию природы. Получается довольно своеобразная картина: наука добывает новые знания, за счет чего создаются новые инструменты, которые, в свою очередь, дают возможность получать новые знания.

Вот вам пример. Галилей, узнав об изобретении телескопа в Голландии, сам построил много телескопов. Однажды на досуге он взглянул в телескоп на небо и обнаружил четыре спутника Юпитера! Это убедило его, что Земля действительно вращается, как и предполагал Коперник. Эволюция телескопа дала человечеству возможность открыть для себя Вселенную с ее миллиардами галактик, каждая из которых состоит из миллиардов солнц. А наука по-прежнему создает все более совершенные и мощные телескопы.

И еще один пример, имеющий прямой отношение к теме данной книги. Понимание структуры и свойств электрона — это ключ к пониманию устройства мира в

целом. В то же время многие из свойств электрона используются в бесчисленном множестве научных инструментов. С помощью электронов мы получаем рентгеновские лучи, которые применяются в медицинских целях и для познания биологической структуры молекул. Электронные лучи используются в осциллографах, телевизорах и сотнях других устройств, которые можно обнаружить в лабораториях, больницах и в наших домах.

Развитие технологии дало возможность управлять пучками электронов высоких энергий в ускорителях частиц. Они были созданы в 30-х годах XX века и позволили получить точные данные о размерах, форме и структуре атомов. Чтобы исследовать ядро атома, потребовалась уже более высокая энергия, и к числу инструментов физики добавились ускорители протонов.

Интересно взглянуть на динамику прогресса в использовании ускорителей. В ядерной физике энергия измеряется в электронвольтах (эВ). Один килоэлектронвольт равен  $10^3$  эВ, один мегаэлектронвольт —  $10^6$  эВ, один гигаэлектронвольт —  $10^9$  эВ, а один тераэлектронвольт —  $10^{12}$  эВ. В приведенной ниже таблице можно увидеть, что чем выше энергия ускоренной частицы, тем меньше размеры объектов, которые можно исследовать. Правда, для того чтобы исследовать самые малые объекты, ускорители становились все больше по размерам, сложнее и дороже. По сути, ускорители представляют собой своего рода микроскопы, позволяющие увидеть то, чего рассмотреть обычными средствами уже невозможно.

Год	Энергия	Размеры исследуемых объектов (метры)
1930	~100 кэВ	$10^{-11}$
1950	~100 МэВ	$10^{-14}$
1970	100 ГэВ	$10^{-17}$
1990	1 ТэВ	$10^{-18}$
2010	10 ТэВ	$10^{-19}$
2020	?	?

За прошедшие 80 лет во всем мире были построены сотни ускорителей. Главное их назначение — открытие тайн в области физики элементарных частиц. Кроме того, ускорители используются в медицине как мощные источники рентгеновских лучей, в промышленности и разведке нефтяных месторождений. Сложность и стоимость новых исследовательских устройств потребовали широкомасштабного международного сотрудничества. Впервые в истории финансирование строительства Большого адронного коллайдера осуществлялось совместно Европой, Россией, Японией, Китаем и США.

Чтобы иметь возможность вести наблюдения за новым миром, открытым с помощью ускорителей, необходимо дополнительно создать специальные детекторы (см. главу 4). Здесь также не обойтись без тесного сотрудничества тысяч ученых. Естественно, в ходе такой работы возникает потребность в официальном языке общения, которым по необходимости становится причудливо исковерканный «английский» язык.

Следует заметить, что физика высоких энергий родилась в конце 1940-х годов в процессе объединения усилий ядерной и космической физики. Сегодня мы наблюдаем слияние на еще более высоком уровне физики высоких энергий, вооруженной ускорителями, с астрофизикой, которая пользуется телескопами. Давно признанная связь микрокосма и макрокосма становится в наши дни еще теснее вследствие получения обескураживающих данных в области гравитации (темная материя и темная энергия) и до сих пор неразрешенной загадки несимметричности элементарных частиц. Но как бы то ни было, связь микро- и макрокосма убеждает нас, что родившаяся Вселенная состояла из элементарных частиц, из которых образовались звезды, галактики, планеты и, в конечном итоге, люди.

Немало потрудившийся ускоритель «Теватрон» в лаборатории Ферми, бывший в 1985 году пределом мечтаний ученых, и в первом десятилетии XXI века по-прежнему

работает на полную мощность в надежде пополнить внушительный список открытий. И вот пришла пора его последователя — Большого адронного коллайдера, который создан под эгидой ЦЕРНа (Женева, Швейцария) и запуск которого был запланирован на 2008 год.

В преддверии начала его работы все ожидают выдающихся открытий. Перечень злободневных вопросов сегодня намного длиннее и весомее, чем тот, с которым мы подходили к 1985 году.

Не все вопросы удастся разрешить с помощью БАКа, а к имеющемуся списку наверняка добавятся новые. Поэтому сегодня в умах подрастающего поколения ученых уже зреют проекты новых, более совершенных ускорителей.

Их час славы еще придет.

Пока же книга Дона Линкольна расскажет вам о том лихорадочном возбуждении, которое охватывает ученых в ожидании запуска БАКа, и разъяснит, почему этот коллайдер представляет такой большой интерес для всех физиков. Мы живем в чрезвычайно интересное время.

ЛЕОН ЛЕДЕРМАН

Чтобы дать некоторое представление о том, что вас ожидает в этом захватывающем путешествии вместе с Доном Линкольном, приведем несколько цитат.

*Человек всегда мечтал о том, чтобы открыть несколько простых и всеобщих законов, позволяющих объяснить, почему природа со всей ее кажущейся сложностью и многообразием устроена именно так, а не иначе.*

*БАК нужен нам, чтобы разобраться в деталях механизма нарушения симметрии, который придает массу элементарным частицам.*

Стив Уайнберг,  
лауреат Нобелевской премии 1979 года в области физики

Высшая цель физика заключается в том, чтобы прийти к универсальным и элементарным законам, на основании которых с помощью чистой дедукиции можно построить весь космос.

*АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН*

Впервые увидев в капле воды из пруда мельчайших живых существ, Антони Левенгук уже в XVII веке по сути расширил способность человека познавать то, что недоступно невооруженному глазу.

Число доступных нам измерений мира — это количество объектов, которые вы способны выделить в каждой точке пространства.

Суперсимметрия представляет собой расширение известных концепций физики элементарных частиц, и существуют хорошие шансы, что она, в отличие от теории струн, будет подтверждена последующими экспериментами.

*Лайза Рэндалл,  
ПРОФЕССОР ФИЗИКИ ГАРВАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА*

Образование в результате Большого взрыва расширяющегося облака, состоящего из миллиардов галактик — это, возможно, лишь фрагмент гораздо более обширной Вселенной, в которой подобные Большие взрывы происходят непрерывно, и в каждом из них фундаментальные константы отличаются друг от друга.

*Андрей Линде,  
ПРОФЕССОР ФИЗИКИ СТЭНФОРДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА*

Каждый день ученые во всем мире разгоняют в ускорителях протоны и электроны до невероятных уровней энергии и сталкивают их. В ходе этих столкновений на короткое мгнове-

ние можно воссоздать условия, существовавшие во Вселенной четырнадцать миллиардов лет назад.

*ЭДВАРД КОЛЬ,  
ПРОФЕССОР АСТРОФИЗИКИ ЧИКАГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА*

Ученый исследует природу не потому, что это приносит пользу. Он занимается исследованиями потому, что находит в этом удовольствие, которое объясняется тем, что природа прекрасна. Если бы она не была таковой, ее не стоило бы изучать, и жизнь потеряла бы всякий смысл.

Красота заключается в простоте и необъятности, и именно поэтому мы заняты поиском простых и всеобъемлющих фактов.

*АНРИ ПУАНКАРЕ, МАТЕМАТИК И ФИЗИК*

# Слова благодарности

Прежде всего, мне хотелось бы поблагодарить физиков, инженеров, программистов, техников и весь вспомогательный персонал, у которых хватило широты мышления и решимости, чтобы воплотить в жизнь идею Большого адронного коллайдера. БАК — одно из самых сложных научных начинаний, и я испытываю глубочайшее уважение к людям, которые сумеют заставить его работать. По мере того как начинают появляться первые научные результаты, формируется группа ученых, которые сообщают о них общественности и которых считают как бы «голосом» БАКа. Однако нельзя забывать и тех людей, которые разработали и построили коллайдер. Без них мы бы никогда не услышали этого «голоса».

Я признателен Дэну Клейсу за то, что он снабдил меня некоторыми нарисованными от руки иллюстрациями. Он не раз помогал мне в прошлом, и я очень благодарен ему. Если бы я нарисовал эти рисунки сам, они были бы далеко не такими красивыми. Я бы хотел также поблагодарить Барри Панаса и Джеффри Митчелла за компьютерную графику, которая использовалась в ряде иллюстраций.

Я выражаю признательность Леону Ледерману за то, что он любезно согласился написать к книге предисловие. Леон принадлежит к числу величайших из живущих ныне ученых, работающих в области физики элементарных частиц. Ему принадлежит не одно открытие, достойное номинации на Нобелевскую премию. Кроме того, он

неустанно пропагандирует фундаментальную науку и, будучи уже на пенсии, тратит больше времени на поездки по стране и встречи с общественностью и политиками, чем многие люди, находящиеся на пике своей карьеры. Кролик, рекламирующий батарейки «Энерджайзер», ничто по сравнению с ним.

Я в большом долгу перед первыми читателями моей рукописи. Без них текст воспринимался бы намного труднее. Линда Оллеволт, Дрю Олтон, Ли Блейкли, Ребекка Мессер, Фрэнк Нортон, Чак Осборн, Мэнди Ромински и Майкл Уолш внесли массу ценных предложений, касающихся языка, содержания, глубины и широты охвата материала.

Нескольких коллег я попросил проверить приведенные мною данные об оборудовании на предмет их правильности. Здесь очень легко допустить ошибку, так как технические детали такого сложного проекта как БАК после строительства могут несколько отличаться от проектных. Марцио Несси проверял данные по секции ATLAS, Дэвид Барни — по секции CMS, а Ив Шутц и Роджер Форти — по секциям ALICE и LHCb, в то время как Майкл Корацинос скрупулезно исследовал раздел, посвященный самому ускорителю. Помимо всего прочего я должен поблагодарить Джеймса Джиллса за помощь в поиске этих экспертов, которые не только обладают коммуникативными талантами, но и всегда готовы оказать помощь.

Мне хотелось бы выразить благодарность Тиму Тейту за проверку правильности теоретических предпосылок. Он делает это уже не в первый раз, и его дотошность по отношению к деталям позволяет быть уверенным, что мною упомянуты все важнейшие аспекты обсуждаемых теорий. Я перед ним в большом долгу.

У меня нет никаких сомнений, что, несмотря на доблестные усилия всех этих людей, в книге все же остались некоторые недочеты. Ответственность за них в полной мере несет Фред Титкомб, обладающий вредоносным из-

лучением мозга, которому невозможно сопротивляться. Это и заставляет меня допускать ошибки. Между нами говоря, Фред даже не знал, что я пишу эту книгу, но я знаком с ним уже 35 лет, и он всегда выполнял роль козла отпущения, начиная еще с детского сада. Поскольку в предыдущей книге я уже возлагал на него ответственность за допущенные ошибки, мне не хотелось бы нарушать сложившуюся традицию. Извини, Фред!

Я благодарен Брюсу Шумму, который позаботился о включении некоторых важных моментов во вступительную часть книги.

И, конечно же, мне хотелось бы выразить признательность издательству «John Hopkins University Press», в первую очередь, его главному редактору Тревору Липскомбу. По моей просьбе он побил рекорд скорости редактирования рукописи, чтобы книга вышла в свет одновременно с запуском Большого адронного коллайдера. Я хочу также поблагодарить неизвестного мне редактора, который сумел буквально за пару дней «протолкнуть» представленный мною в издательство проект по написанию книги. Майкл Каллаген провел изумительную работу по редактированию первого варианта рукописи, благодаря чему из него были устранены многие шероховатости. Нельзя не упомянуть и команду дизайнеров, печатников и рекламистов в связи с той ролью, которую сыграл каждый из них, чтобы эта книга стала реальностью.

И, наконец, я чрезвычайно благодарен своей семье, которая мирилась с тем, что я уделял ей мало времени, работая над рукописью, и особенно жене за то, что она прочла первый черновик и внесла ряд важных предложений, которые задали нужный тон всей книге. Благодаря ее вкладу книга стала значительно понятнее.