

В ПОИСКАХ БОЗОНА ХИГГСА

Тим Фолджер



Даже сейчас, когда протоны завершили последние круги в самом успешном в истории физики элементарных частиц ускорителе, ученые надеются, что чудо произойдет и победа будет одержана



НАСТУПАЕТ НОЧЬ. Ускоритель частиц Теватрон, построенный недалеко от Чикаго, в течение 27 лет был самым большим окном в субатомную вселенную

ОБ АВТОРЕ



Тим Фолджер (Tim Folger) был отмечен как лучший редактор и автор, пишущий на научные темы, его работы опубликованы в *The Best American Science and Nature Writing*, ежегодной антологии издательской компании *Houghton Mifflin*.

Под поверхностью нетронутой зеленеющей иллинойской прерии с пасущимися по ней бизонами по четырехмильному туннелю мчатся в противоположных направлениях протоны и антипротоны. И каждую секунду сотни тысяч этих частиц сталкиваются, порождая взрывное испускание массы различных частиц. Это происходит на Теватроне, подземном ускорителе элементарных частиц, находящемся в Лаборатории ускорителей им. Энрико Ферми (Фермилабе), которая находится на участке в 2751,9 га поблизости от городка Батавия, в 80 км к западу от Чикаго. Эксперименты длились не один день, и многие из них дали выдающиеся результаты; из 17 фундаментальных частиц, которые, по мнению физиков, образуют всю обычную материю и энергию во Вселенной, три были открыты здесь. Но эти дни закончились: 1 октября было навсегда отключено электропитание всех (более тысячи) охлаждаемых жидким гелием сверхпроводящих магнитов, и завершилась 28-летняя работа ускорителя, который до недавнего времени был самым мощным в мире.

Для нескольких сотен физиков, которые провели здесь почти 20 лет в поисках гипотетической частицы, известной под названием бозон Хиггса, это означает лишь одно – пальма первенства в борьбе за Нобелевскую славу отдана главному сопернику – Большому адронному коллайдеру (БАК), новому, более мощному, ускорителю в CERN на швейцарско-французской границе. Окружность его главного ускорительного кольца длиной около 27 км обеспечивает значительно большую энергию частиц, БАК заместит

Теватрон в качестве главного исследовательского инструмента для физики элементарных частиц, и эту позицию он сохранит еще и в следующем десятилетии.

Решение Министерства энергетики США о закрытии Теватрона в конце текущего фискального года никого в Фермилабе не удивило. Некоторые физики рекомендовали министерству продлить финансирование стареющего ускорителя еще на три года для того, чтобы осуществить последнюю отчаянную попытку обнаружить эту ускользающую частицу – бозон Хиггса, которая, по убеждению физиков, определяет массы всех других частиц. Однако даже наиболее преданные старой машине ветераны понимают, что она уже стала излишней. «Я не огорчаюсь, – говорит Дмитрий Денисов. – Это похоже на расставание со своим старым автомобилем. Вся история науки – это история новых инструментов. Этот прослужил более 25 лет. Пришла пора двигаться дальше». Такое признание нелегко дается Денисову, участнику, команды *D0* (Д-ноль), одного из двух детекторов, работающих на Теватроне. Два года назад на пресс-конференции во время ежегодного заседания Американской ассоциации по развитию науки Денисов сказал: «Нам повезло, что мы увидим следы бозона Хиггса до того, как это сделает БАК». Тогда неполадки в электропитании остановили БАК на несколько месяцев, и надежды Денисова разделяли многие сотрудники Фермилаба. Но этого не произошло. Когда в ноябре 2009 г. БАК снова заработал, на нем в три раза была превзойдена энергия, которую мог обеспечить Теватрон.

В течение последних трех десятилетий единственным конкурентом *D0* был детектор *CDF* (*Collider Detector*

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Теватрон, первоначально самый мощный в мире ускоритель-коллайдер, детище Лаборатории им. Энрико Ферми, прекратил работу 1 октября. Ему на смену пришел Большой адронный коллайдер.
- Несмотря на остановку Теватрона, у физиков Фермилаба накоплено много данных, в которых могут быть обнаружены доказательства существования бозона Хиггса.
- Они также надеются к 2020 г. построить новый ускоритель, *Project X*, а затем и более мощный последователь БАК.

ТРИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ ОТКРЫТИЙ

at Fermilab). На каждом из них работали сотни физиков из десятков стран. Прошедшей весной физики с *CDF* заявили, что они обнаружили следы события, которое могло быть связано с новой частицей. Мог ли Теватрон в свои последние дни действительно обнаружить первые признаки бозона Хиггса? Денисов и его коллеги на *D0* немедленно начали тщательно проверять результаты *CDF*. Когда данный номер *Scientific American* пошел в печать, результат был еще не ясен. Однако ясно одно: соперничество двух групп, работавших на Теватроне, еще не закончено.

«Мне хочется победить Дмитрия, а ему – меня», говорит Роб Роузер (Rob Roser), руководитель команды *CDF*. «Мы хорошие друзья, мы обсуждаем все проблемы. Но каждый из нас желает опередить другого. Теперь игра изменилась. Сегодня плохой парень – это БАК, а не Дмитрий. Я не хочу, чтобы БАК опередил любого из нас. Это все равно что сказать: никто не может ударить моего младшего брата, это могу только я».

С прекращением (относительным) старого соперничества и стартом новых проектов Фермилаб переживает период неопределенности. То же можно сказать и обо всей физике элементарных частиц. Физики долго ждали создания новой машины, которая позволила бы им проникнуть в новую физическую реальность. В предвидении того, что через год-другой БАК удвоит энергию столкновений, нет недостатка в предположениях о новых открытиях: пространства других измерений, суперсимметрия (предположение о том, что каждая из известных частиц имеет так называемого суперсимметричного близнеца) и, конечно, бозон Хиггса. А лучше всего, чтобы это было что-то совершенно неожиданное. Однако существует и другая возможность, которую обычно предпочитают не рассматривать, но которой нельзя пренебрегать. И эта возможность одновременно и беспокоит, и интригует физиков: что если ни БАК, ни эксперименты, планируемые в текущем десятилетии в «бестеватронном» Фермилабе, не обнаружат вообще ничего нового?

Впереди неизвестность

Еще совсем недавно Теватрон будил в физиках те же надежды, что теперь они связывают с БАК. За 15 лет до того, как он был запущен, физики в Фермилабе думали, что Теватрон поможет им поймать бозон Хиггса, доказать существование суперсимметрии, понять природу темной материи и многое другое.

Помимо Нобелевской премии открытие этой частицы принесло бы возможность увенчать блестящую эру развития физики. Бозон Хиггса – это недостающий элемент Стандартной модели, величественного здания современ-

Почти все, что вам нужно знать о коллайдере, можно свести к двум факторам. Первый – это энергия ускоренных частиц: чем она больше, тем более тяжелые частицы (масса их измеряется в гигаэлектронвольтах, ГэВ) доступны для изучения. Второй – это светимость, или число столкновений в секунду. Первое десятилетие существования Теватрона инженеры потратили на повышение его энергии; в последние два десятилетия они занимались тем, чтобы интенсивность столкновения была сравнима с силой потока из пожарного шланга. Здесь приведены наиболее значимые события из жизни коллайдера

5 июля 1979 г.

Министерство энергетики уполномочило Фермилаб на постройку сверхпроводящего ускорителя, позже названного Теватроном

1 октября 1983 г.

Начало экспериментов: одиночный пучок протонов сталкивается с неподвижной мишенью

13 октября 1985 г.

Только что запущенный пучок антипротонов начинает сталкиваться с протонами. Детектор *CDF* фиксирует первые протон-антипротонные столкновения при энергии 1,6 тыс. ГэВ

31 августа 1992 г.

Начало первого долговременного эксперимента при 1,8 тыс. ГэВ



20 июля 2000 г.

В эксперименте *DONuT* получено доказательство прямого наблюдения тау-нейтрино

4 августа 2008 г.

Ученые Теватрона заявляют, что бозон Хиггса не может иметь массу больше 170 ГэВ. Необходимы дальнейшие исследования

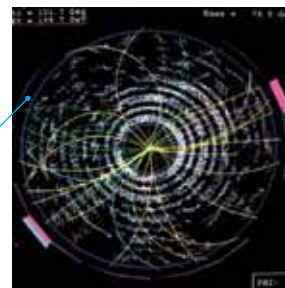
3 июля 1983 г.

Теватрон начал ускорять частицы до рекордной энергии 512 ГэВ



3 марта 1995 г.

Ученые, работающие на детекторах *CDF* и *D0*, объявляют об открытии топ-кварка



1 марта 2000 г.

В результате усовершенствований энергия увеличена до 2 тыс. ГэВ, и начинается второй сеанс работы. В течение следующего десятилетия светимость Теватрона будет учтена

30 сентября 2011 г.

На Теватроне происходят последние протон-антипротонные столкновения; анализ результатов будет продолжен в течение еще нескольких лет



ной теоретической физики, описывающей Вселенную в терминах взаимодействий 17 фундаментальных частиц. Она объединяет три из четырех сил природы: сильное взаимодействие, связывающее в одно целое ядра атомов, слабое взаимодействие, ответственное за распад частиц, и более знакомое нам элект-

ромагнитное (гравитация – единственная сила, не описываемая Стандартной моделью). Теоретики наложили последние мазки на портрет Стандартной модели почти 40 лет назад, и с тех пор все ее предсказания были подтверждены экспериментально.

В 1995 г. команды *CDF* и *D0* получили одно из наиболее замечательных подтверждений модели, открыв топ-кварк – массивную элементарную частицу, существование которой было предсказано еще в 1973 г. В той гонке Теватрон опередил европейский Протонный суперсинхротрон, который теперь служит инжектором частиц для БАК'a. Это был величайший триумф Теватрона, показавший, что Стандартная модель действительно чрезвычайно верно описывает Вселенную, по крайней мере при энергиях, которых физики смогли достичь на своих лучших ускорителях.

В 2001 г., после пяти лет работы по усовершенствованию Теватрона – лучшего в мире ускорителя, физики надеялись, что он не только поможет открыть бозон Хиггса, последнее неподтвержденное предсказание Стандартной модели, но и позволит приоткрыть завесу над явлениями, лежащими за ее пределами. Несмотря на всю предсказательную мощь Стандартной модели, физики понимали, что она не может служить для полного описания природы. Кроме того что она не включает в себя гравитацию, ей присущи два явных недостатка. Стандартная модель не может объяснить существование темной материи, влияющей на движение галактик и при этом никаким другим образом не взаимодействующей с обычной материей. В ней не учитывается и существование темной энергии, совершенно загадочного явления, проявляющегося в ускорении расширения нашей Вселенной. Однако, несмотря на усовершенствования, Теватрону не удалось проникнуть за пределы теории, которую он смог столь наглядно подтвердить. «Десять лет назад мы надеялись расколоть этот орех, но так и не смогли, – говорит Боб Чирхарт (Bob Tschirhart), физик теоретик из Фермилаба. – Там существует нечто, что мы еще не открыли. Стандартная модель оказалась весьма успешной в предсказании столь многих явлений, однако ее недостатки очевидны. Она подобна узкому специалисту». В известном смысле Теватрон оставляет в наследство понимание того, что Стандартная Модель действительно работает очень хорошо; однако доказательство этого никогда не рассматривалось как конечная цель. «Предполагалось, что мы обязательно найдем бозон Хиггса, – говорит Стивен Мренна (Stephen Mrenna), физик-компьютерщик, пришедший в Фермилаб в середине 1990-х гг. – А если суперсимметрия действительно существует, мы должны были открыть и ее».

Теперь физики надеются, что то, что не удалось сделать Теватрону, сделает БАК, что он приведет их на новую территорию и ученые смогут создать теорию взамен Стандартной модели. Мренна, как и большинство его коллег, уверен, что БАК рано или поздно найдет бозон Хиггса. «Я думаю, что это произойдет в этом или

КОНКУРЕНЦИЯ

НАПЕРЕГОНКИ С БАК

Джефф Брафайл

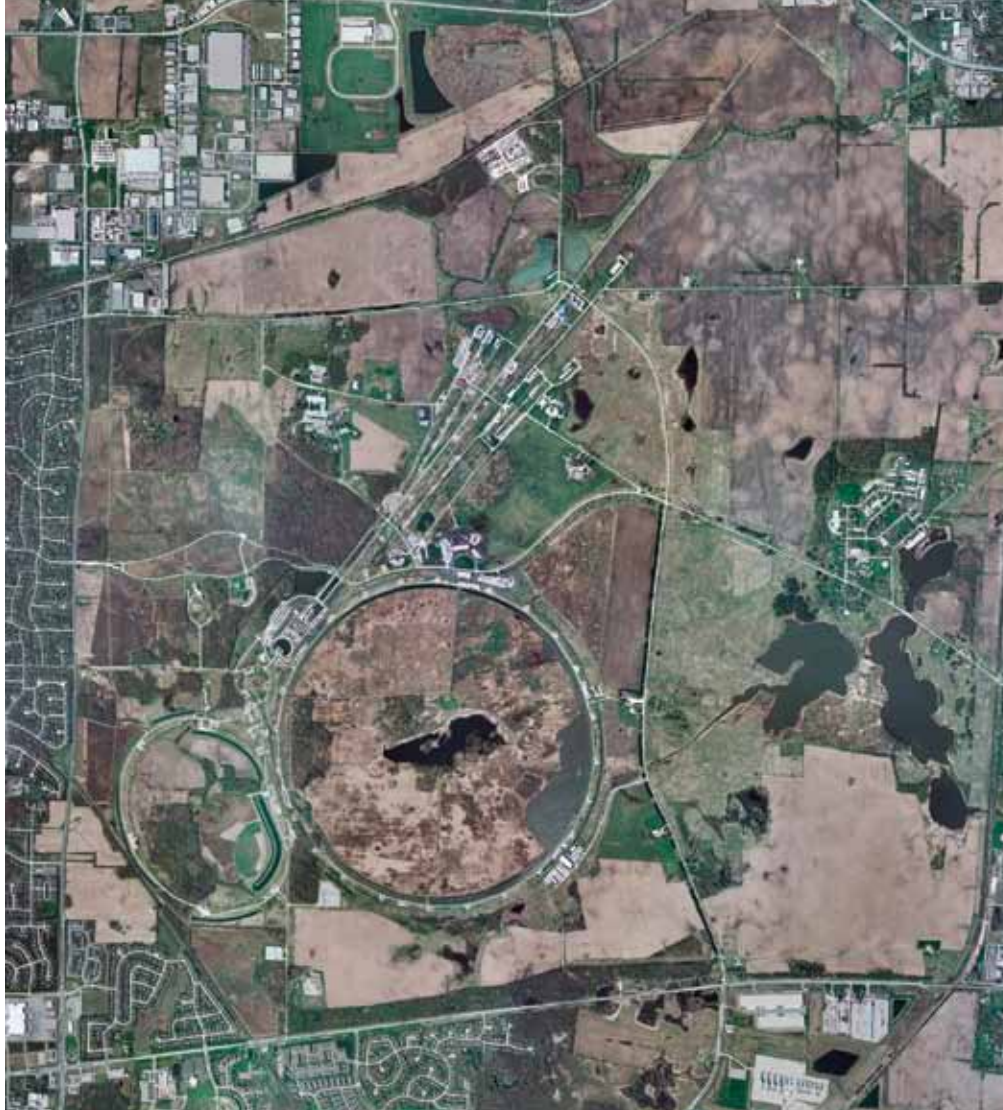
Несмотря на то что Теватрон остановлен, охота за бозоном Хиггса, самой неуловимой частицей в физике, идет полным ходом. И получение с помощью данных с Теватрона и Большого адронного коллайдера в *CERN* вблизи Женевы ответа на шекспировский вопрос, быть ему или не быть, – дело нескольких месяцев. Ученые предсказали его существование почти полвека назад. Обычно говорят, что бозон Хиггса – это частица, ответственная за массы всех остальных частиц, что правда, но для физиков он важен как объединитель всех сил. Физики любят упрощать, и бозон Хиггса предлагает элегантный способ объединить электромагнетизм со «слабыми» ядерными силами и создать единое «электрослабое» целое. Он может это сделать, только если его масса находится в диапазоне от 100 до 1 тыс. млрд электронвольт (ГэВ). БАК и Теватрон приблизились к этой многообещающей области. На конференции в Гренобле во Франции ученые, работающие на Теватроне, заявили, что масса бозона Хиггса не может быть заключена между 156 и 177 ГэВ. Большинство физиков считают, что если он существует, то скорее всего прячется между 115 и 140 ГэВ. Однако это наиболее труднодоступный энергетический диапазон, т.к. распад такой легкой частицы будет происходить путем испускания обычных частиц, которые будет трудно различить в хаосе других продуктов, рождаемых в гигантском коллайдере. Какое-то количество распадов бозона Хиггса, возможно, уже было зарегистрировано, однако для их обнаружения потребуется еще много работы. Даже после закрытия Теватрона анализ накопленных данных даст огромный материал для охоты на бозон Хиггса. Но все точки над «и» расставит более мощный БАК. Работа этой большой европейской машины будет продолжена, и в результате должны найти подтверждение ранее обнаруженные слабые сигналы. Тем не менее физики не смогут заявить, что бозону Хиггса быть, пока к концу 2012 г. не будут накоплены данные объемом 50 петабайт – количество информации в 10 млрд раз большее, чем содержится в полном собрании сочинений Шекспира.

следующем году. Я мог бы держать пари, – говорит он. – В том случае, если мы его не обнаружим, моя уверенность в том, что мы там не найдем ничего, возрастет».

В этом и заключена проблема предстоящих исследований: возможно, что там ничего нет. Некоторые физики полагают, что существует «энергетическая пустыня» между областями, доступными их исследованиям, и теми, где может возникнуть действительно новая физика. Если это так, то новых открытий придется ждать еще десятки лет. БАК, конечно, самый мощный ускоритель настоящего времени, но он не настолько мощен, чтобы дать физикам уверенность в том, что он поможет им проникнуть на новый уровень реальности.

Реальным инструментом для этой работы мог бы стать Сверхпроводящий суперколлайдер (*Superconducting Super Collider, SSC*). Перед его 97-километровым главным ускорительным кольцом БАК показался бы карликом. SSC смог бы генерировать пучки частиц с энергией в три раза большей, чем БАК. Однако ввиду огромных расходов, предусмотренных проектом, он был отклонен Конгрессом в 1993 г., хотя строительство уже началось недалеко от маленького городка Уоксахачи, штат Техас. «С самого начала проект SSC создавался с целью проникновения в область энергий, где, как мы ожидали, должно было бы обязательно найдено нечто новое, – говорит Мренна. – Это был бы необходимый инструмент. БАК – всего лишь его бедный родственник. Но пока и он достаточно хорош».

Если, конечно, это соответствует действительности. По словам Мренна, если БАК не поможет найти таинственный бозон или сделать какое-то другое значительное открытие, физикам будет трудно обосновать затраты на более совершенный ускоритель. «Вы можете спросить, чем обнаружение бозона Хиггса поможет экономике США, борьбе с терроризмом, или чему-то еще, – замечает он, – и как всегда мы говорим, что знание выгодно всем. Люди хотят знать, как устроена и живет Вселенная. Мы обучаем многих. Всегда полезно собрать вместе умных людей и поставить перед ними трудную задачу – из этого обычно получается что-то стоящее. Но в какой-то момент в физике такие вещи становится сделать труднее».



Главное кольцо Теватрона выключено, но физика в Фермилабе не закончена. Ученые генерируют нейтрино, используя меньшее, инжекционное кольцо (*слева внизу*), и направляют их пучок сквозь толщу Земли к подземному детектору, расположенному на расстоянии в 724 км в заброшенной шахте в штате Миннесота

Другими словами, если энергетическая пустыня существует, то возможно, что мы не сможем собрать свою волю, чтобы ее пересечь. «Поэтому сейчас нам нужен успех. Мы должны найти что-то новое», – говорит Мренна.

Жизнь продолжается

Первый в мире ускоритель частиц был создан в 1929 г. Эрнестом Лоуренсом (Ernest Lawrence) в Калифорнийском университете в Беркли. Он называл этот прибор протонной каруселью. Диаметр ее составлял пять дюймов, сделана была из латуни, сургуча и стекла и обошлась примерно в \$25. БАК, запущенный почти на 80 лет позже, стоил \$10 млрд. Для его постройки потребовалось международное сотрудничество ученых и инженеров, и сейчас он занимает территорию

размером с небольшой город. Но даже если на БАК будут достигнуты большие успехи, шансы на то, что в обозримом будущем можно будет совершить подобный скачок в энергии частиц, невелики. «Мы знаем, как увеличить энергию в десять раз, но это будет стоить вдесятеро дороже, – говорит директор Фермилаба Пьер Оддон (Pierre Oddone). – Мы достигли предела тех расходов, которые страны готовы себе позволить».

В течение следующего десятилетия, а, возможно, и дольше, главная физическая лаборатория Соединенных Штатов будет жить в тени БАК. По словам Оддона, в Фермилабе будет продолжена работа по проектам, которые были бы отложены или закрыты, если бы Теватрон продолжал работать, однако ясно, что центр тяжести в мире физики элементарных частиц сместился.

В Фермилабе сейчас ведутся эксперименты в области физики нейтрино – вероятно, самой загадочной из фундаментальных частиц: их направляют из источника в Фермилабе сквозь 724-километровую толщу земной коры к детектору, установленному в шахте в Миннесоте. Ученые из Фермилаба примут также участие в астрономической исследовательской программе «Обзор темной энергии» (*Dark Energy Survey*).

Но главная цель института – возвращение к идее создания самого мощного в мире ускорителя частиц. Оддон надеется, что к 2020 г. Фермилаб закончит постройку ускорителя *Project X*. Ближайшей целью этой машины длиной в полтора километра будет генерирование нейтрино и других частиц для экспериментов в Фермилабе. В будущем сравнительно небольшой ускоритель послужит испытательным стендом для отработки технологий при постройке достойного последователя БАК.

Руководитель проекта Стив Холмс (Steve Holmes) говорит: «*Project X* – мост, вновь ведущий нас к передовым рубежам физики высоких энергий. Это даст возможность захватить лидирующие позиции и сохранить их. Когда люди за ланчем спрашивают меня, какое будущее нас здесь ожидает, я говорю им, что в физике высоких энергий США были ведущими в мире в течение 70 лет. Это самая фундаментальная область физики, и как великая страна мы должны сохранять такое положение. Но я не могу ответить, когда мы достигнем этого».

Об этом не говорят те, кто работал на самом Теватроне. Денисов, Роузер и их коллеги с двух детекторов накопили достаточно данных, чтобы обеспечить себя работой по крайней мере на два года после остановки машины. Огромный запас данных может помочь расшифровать первые открытия, сделанные на БАК. Возможно даже, что какой-то новый результат лежит, скрытый в памяти компьютеров в Фермилабе, и ждет, когда его расшифруют. Прошлой весной было время, когда казалось, что Теватрон дал нам первый намек на физику за пределами Стандартной модели. В апреле команда Роузера на детекторе *CDF* объяви-

ла, что в их данных было обнаружено свидетельство, хотя и весьма слабое, существования новой частицы или силы. В небольшом, но статистически значимом числе случаев физики обнаружили пик, свидетельствующий об избытке частиц сверх предсказаний Стандартной модели. Эти частицы проявили себя как продукты распада некоторой более массивной частицы, возможно, какой-то неожиданной формы бозона Хиггса. К концу мая команда *CDF* снова проанализировала свои данные. «Пик все еще там», – заявил после этого Роузер. Но менее чем через две недели давний коллега и соперник Роузера Денисов сказал, что команда *D0* завершила независимый анализ данных *CDF*. «Мы не увидели ничего», – заявил он на пресс-конференции. Пока не ясно, сохранится ли этот пик при дальнейшем тщательном анализе. Обе группы сейчас сравнивают свои результаты, чтобы найти ошибку в анализе *CDF*, если там действительно есть ошибка. А пока, похоже, ожидаемый в течение 30 лет доступ в новую эру физики отложен. Будет досадно, если пик исчезнет. Открытие бозона Хиггса стало бы достойным завершением работы Теватрона. В течение следующего года, или через немного большее время, мы узнаем, сможет ли БАК работать лучше. ■

Перевод: А.А. Сорокин

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Кейн Г. Заря новой эры // В мире науки, 2003, № 9.
- Квигг К. Грядущая революция в физике частиц // ВМН, 2008, № 5.
- Коллинз Г. Фабрика открытий // ВМН, 2008, № 5.
- Fermilab: Physics, the Frontier, and Megascience. Lillian Hoddeson, Adrienne W. Kolb and Catherine Westfall. University of Chicago Press, 2008.
- Massive: The Missing Particle That Sparked the Greatest Hunt in Science. Ian Sample. Basic Books, 2010.