

Математика Манхэттенского проекта

Сергей Полянских

Оглавление

Предисловие автора	5
Введение	11
1. Вглубь атома	15
2. Проект “Манхэттен”	29
3. Зачем нужна математика?	31

Предисловие автора

6 и 9 августа 1945 года на Хиросиму и Нагасаки были сброшены атомные бомбы общей мощностью около 35 килотонн в тротиловом эквиваленте. Взрывы произошли в 500 метрах над землей, сформировав сильнейшую ударную волну и выделив огромное количество тепла и радиации. Более 180000 человек погибло в момент взрыва и в последующие дни от ранений и лучевой болезни. 15 августа Япония объявила о своей капитуляции, 2 сентября был подписан формальный акт.

Фактически, в атомных бомбардировках уже не было необходимости. Вторая Мировая война подходила к своему завершению. Германия капитулировала, Япония была как никогда близка к этому. Атомные бомбардировки в основном были призваны продемонстрировать всему миру беспрецедентную военную мощь США. Мощь, явившуюся результатом, пожалуй, самого амбициозного проекта в истории науки, объединившего сотни лучших физиков и математиков своего времени - проекта “Манхэттен”.

Результаты применения атомного оружия не оставили равнодушным никого. Весь мир начиная с простых людей и заканчивая учеными и политиками активно обсуждал нравственные и политические вопросы использования атомной энергии. Кто-то искренне поражался силе

научной мысли, освободившей энергию атома. Другие решительно критиковали столь безответственное, по их мнению, применение полученных знаний о природе. Руководители стран Европы, Советского Союза и Востока понимали, что США впервые в истории удалось получить в свои руки оружие беспрецедентной разрушительной силы. Это был именно тот эффект, на который надеялись основные заказчики атомного проекта в США - политики и военные. Началась ядерная гонка, продлившаяся несколько десятилетий и не оконченная полностью по сей день.

Отношение самих ученых к успеху атомного проекта США было неоднозначным. Многие из тех, кто призывал к созданию атомного оружия для победы над фашистской Германией и в конце концов осознал, что Германия не обладает ничем подобным, стали активно пропагандировать не использовать его и даже прекратить исследования в этой области. Сам Альберт Эйнштейн, подписавший в 1939 году знаменитое "письмо Эйнштейна Рузвельту" с призывом к созданию атомного оружия, позднее отчаянно критиковал его разработку и применение в военных целях.

Другие же ученые, напротив, продолжили активно работать в направлении увеличения эффективности и мощности ядерного оружия. Кто-то не видел своей личной вины за произошедшее в Хиросиме и Нагасаки, другие подозревали Советский Союз в активизации работ в этом направлении. Иные понимали, что работать бок о бок с лучшими умами своего времени над столь масштабными проектами им, возможно, уже не придется. Так или иначе, после событий августа 1945 года исследовательская лаборатория в Лос-Аламосе, в которой всего два года тому назад родился проект "Манхэттен", после небольшой передышки

начала работу над еще более смертоносным оружием - водородной бомбой. Далеко не все подразделения трудились в прежнем составе, но и того, что осталось, вполне хватило для успешного завершения и этого проекта. Полномасштабные испытания 1 ноября 1952 года явили миру мощь термоядерного оружия, гораздо более разрушительного, нежели атомное. Испытательный взрыв, осуществленный США на атолле Эниветок, по меньшей мере в 1000 раз превосходил по мощности бомбу, сброшенную на Хиросиму.

Годом позже, в 1953-м, к термоядерной гонке присоединился и СССР, взорвав сначала более слабый заряд, чем у США, но быстро нарастив темпы. Затем к гонке присоединились Великобритания, Китай и Франция. Мысли о повороте разрушительной мощи атома в мирное русло и разоружении возникли у политиков только во время Карибского кризиса в 1962 году, когда мир стоял на грани ядерной катастрофы. И лишь еще через десять лет, в 1972-м году, между СССР и США был подписан первый двусторонний договор, запрещающий сторонам наращивать ядерный арсенал.

Интересен и другой, более мирный эффект событий 40-х - 50-х годов XX века, изменивший отношение к науке и ученым. Именно благодаря невиданной ранее мощи ядерного оружия репутация ученых среди простых людей взлетела до небес. До Второй Мировой войны на ученых смотрели как на людей чудаковатых, но безобидных и погрязших в своих никому больше непонятных задачах. Образ эксцентричного ученого имел свой шарм, то и дело возникая в фантастической литературе и кино. После Второй Мировой войны отношение к ученым сильно изменилось. Весь мир узнал, насколько разрушительными могут быть идеи, рождающиеся на кончике пера и университетских досках. Чело-

вечество, на протяжении всей своей истории принимавшее дары науки в лучшем случае с неосознанной благодарностью, в большинстве своем просто не было готово к столь кардинальным и потенциально опасным изменениям в их жизни. У многих возник естественный страх перед той разрушительной мощью, которую наука без особого труда могла призвать в этот мир.

О самом Манхэттенском проекте сказано и написано довольно много. С лица проекта постепенно исчезли темные пятна с гифами секретности, стала понятна мотивация заинтересованных сторон и отдельных его участников. Несмотря на то, что некоторые материалы по сей день остаются за секреченными, к настоящему времени вполне ясны политические и иные причины, приведшие к началу активных исследований в области атомной физики в середине XX века и являвшиеся затем их катализатором. Достаточно простой и понятной кажется теперь даже сама физика процессов, протекающих в атомной и водородной бомбах.

На сегодняшний день лишь немногие страницы Манхэттенского проекта остались неосвещенными должным образом. Одна из таких страниц - математический аппарат и ученые-математики, сыгравшие исключительно важную роль в проекте. Именно в Манхэттенском проекте, в условиях крайней опасности и даже невозможности проведения большого числа физических экспериментов математические модели продемонстрировали свою исключительную эффективность. Тогда же стала понятна огромная важность применения вычислительных машин для быстрого проведения численных симуляций физических процессов и быстрой проверки многочисленных физических гипотез.

В данной книге мы не касаемся морально-нравственных, экономико-политических и иных вопросов гуманитарного характера, непременно

связанных с созданием и использованием атомной и водородной бомб. Вместо этого в книге предпринята попытка собрать воедино основные математические методы и идеи, так или иначе повлиявшие на создание атомного оружия, и получившие широкое применение впоследствии. Несомненным плюсом здесь является крайняя выразительность и относительная простота использовавшегося при разработке ядерного оружия математического аппарата. Эту неожиданную простоту многие считают одним из главных факторов успеха Манхэттенского проекта.

Изложение материала в книге призвано представить основные математические идеи, использованные при разработке ядерного оружия, наиболее простым и понятным образом. Наиболее сложные места выделены в главы, которые можно пропустить без ущерба для общей картины. Приводимые в книге математические рассуждения, выкладки и формулировки некоторых утверждений и теорем не всегда соответствуют стандартам строгости, принятым в современной математике. Описываемые методы и подходы не всегда использовались в годы Манхэттенского проекта именно в том виде, в каком приводятся здесь.

[...благодарности....]

Эта книга явилась плодом многолетнего увлечения автора вопросами теории, применяемой в атомной физике. Искренне надеюсь, что изложение покажется простым и понятным даже читателям, не обладающим серьезной математической подготовкой, а чтение книги доставит такое же удовольствие, какое испытывал автор при ее написании.

————— IDEAS —————

Введение

Манхэттенский проект подвел выразительную черту под почти полувековыми размышлениями ученых о строении атома. Он получил статус национального и по сей день является по сути единственным примером столь успешного объединения лучших умов своего времени для достижения вполне практической и понятной каждому цели.

————— IDEAS —————

Тысячелетнее стремление человека проникнуть внутрь атома Стремление человека познать микро- и макромир. Атомизм - Греция, Индия Стало понятно, что пришло время совершенно новой науки. Основные достижения физики начала XX века: история Ущемленная роль математики, причины Основные достижения математики начала XX века: история. Мало кому что понятно :) Война как катализатор науки. Второе великое объединение: физика - использует математику В некотором роде венец и черта - ПМ Проект "Манхэттен": [кратко] история амбициозность результаты использование лучших мировых ученых результаты влияние на науку и технику в будущем Советский атомный проект - тоже сила мысли и пр. Описание источников - другие книги и пр. Описание глав Пара слов о задачах и ответах

вырос из страха перед Германией многие лучшие умы - беженцы из

захваченных Германией территорий, некоторые потеряли семьи [описать] ученые сами искали встечи с политиками, убеждали, что смогут построить супероружие даже когда стало понятно, что Германия к концу войны по сути только приступила с созданием супероружия ... запущенная машина уже не могла остановиться, предостережения ученых уже не слушали военные опасались только одного - скорой капитуляции Японии и всеми силами стремились успеть сбросить бомбы до окончания второй мировой войны

состав МП в итоге оказался поистине звездным [раскрыть]

Во всем обилии имеющейся информации по МП плохо прослеживается, пожалуй, лишь один мотив - роль в нем выдающихся математиков и математики как науки. А она была колоссальна. Сама специфика поставленной перед учеными МП задачи была такова, что новая физика атома говорила на языке математики на совершенно новом, разработанном незадолго до этого - функциональном анализе. Более того, основной источник информации в физике - эксперименты - были просто недоступны в большом количестве из-за крайне дорогого рабочего материала - ??? - и крайне высокого уровня опасности проведения любых экспериментов с ним. Подобные эксперименты стоили жизни по меньшей мере двум физикам МП - ???

именно благодаря этим факторам, модели и объяснения, даваемые математиками МП, сыграли выдающуюся роль при создании сначала атомной, а затем и водородной бомб. Роль, которая осталась за кадром как наиболее трудно объяснимая и лишенная той прямолинейной романтики, которой обрела роль физика-ядерщика после второй мировой войны.

Последствия также были - разделы теорвера - ветвящиеся про-

цессы, метод Монте-Карло - основа вероятностного вывода, основы вычислительной математики и кибернетики, [еще].

благодаря усилиям таких мировых величин науки как Дж. фон Нейман были созданы первые электронные вычислительные машины, роль которых и в самой войне и впоследствии переоценить сложно. первые компьютеры были размером ... не будет преувеличением сказать, что весь окружающий нас сегодня цифровой мир в значительной степени взял свое начало именно тогда

Есть еще один довольно интересный и несколько неожиданный фактор - прикладная часть математики МП была сравнительно простой. детали BigBoy, FatMan , детали современного автомобиля.

Спекулируя аналогией с известным в квантовой механике принципом неопределенности Гейзенберга, можно сказать, что при описании любого явления реального мира невозможно полностью уйти ни от физики явления, ни от стоящей за ней математики. Чем более логически строже будет изложение, тем более высокий математический уровень будет требоваться от читателя. Напротив, желание вовсе избавиться от математики скорее всего приведет к скомканному изложению, похожему на гору взятых с потолка фактов, которые предлагается принять на веру.

Глава 1.

Вглубь атома

TODO

TODO

В книгах по математическим вопросам ядерной физики обычно принято без долгих предисловий переходить к моделям из сложных уравнений и длинных формул. При этом изложение ведется на принятом в математике высоком уровне строгости. Это имеет свой смысл. Дело в том, что оформившаяся математическая теория того или иного физического процесса вполне может быть изложена отдельно от своего физического контекста. К сожалению, такого рода книги обычно носят довольно академический характер и зачастую понятны только узкому кругу специалистов, имеющих должный уровень математической подготовки. Для первого погружения в задачу, такой подход подходит плохо.

Математику, стоящую за современной ядерной физикой, не стоит на начальном этапе пытаться рассматривать в отрыве от самого ее предмета - атома. Для полного понимания используемых математических

моделей крайне полезно хотя бы в общих чертах понимать как физику атома, так и полные проб и ошибок пути, которые привели ученых к их ключевым идеям.

На протяжении всей книги нам не потребуются ни глубокие факты современной ядерной физики, ни продвинутый аппарат квантовой механики. Вполне достаточно будет общих фактов о строении атома и ядерных реакциях, без которых было бы крайне тяжело понять, почему те или иные задачи ставились перед физиками и математиками Манхэттенского проекта.

В данной главе мы вкратце проследим историю самой идеи об атоме начиная с древних времен вплоть до принятой сегодня точки зрения. Читатель, знакомый с основами физики атома, может пропустить эту главу и сразу перейти к математической сути вопроса в гл. 3.

Первые идеи

С древнейших времен не прекращались попытки человека проникнуть в суть материальных объектов, мысленно разбив их на минимально возможные части. Вообще говоря, это универсальный метод исследования любых сложных объектов - пытаться разложить их на более простые, желательнo элементарные части. Далее следует изучать отдельно каждую часть и то, как они взаимодействуют друг с другом. Поэтому не столь удивительно, что ученые древности пытались найти и описать первоэлементы, из которых могут состоять все объекты окружающего мира. История этих попыток насчитывает более двух с половиной тысяч лет.

Идея существования мельчайших, далее неделимых частичек мироздания появлялась в разных религиозно-философских школах древней Греции, Индии и стран Востока, играя в них основополагающую роль. Атомизм в древнеиндийской философии и буддизме, по некоторым данным, возник даже раньше наиболее известного древнегреческого. Однако именно в древней Греции идеи атомизма заиграли всеми красками, глубоко проникая и давая плоды в философии, физике и даже самой математике.

Сразу стоит оговориться, что у древних существовало два взгляда на атомарную структуру объектов - философский и математический. Философский атомизм пытался в принципе описать все объекты реального мира как состоящие из некоторых элементарных частиц. Математический атомизм носил выраженный прикладной характер, служа вполне конкретной цели - точному вычислению площадей и объемов тел. Позже мы увидим (см. главу ?????), что это по сути единственный возможный способ вычисления *меры* (площади или объема) сложного объекта - приблизить его более простыми объектами, мера которых известна. Именно так определяют меру объектов на плоскости и в пространстве в современной математике. Оба этих подхода, философский и математический, тесно переплетались, подкрепляя друг друга.

Истоки древнегреческого атомизма стоит искать у Пифагора и его учеников в VI веке до н.э. О тех временах осталось не так много достоверных свидетельств. Вымыслы и легенды практически не отделимы от реальных событий. Более-менее достоверно известно, что в центр своего учения пифагорейцы ставили целые числа. Они считали, что все объекты Вселенной должны описываться ими или их отношениями - дробями. По легенде эта атомистическая числовая концепция была

опровергнута одним из пифагорейцев - Гиппасом, впервые нашедшим несоизмеримые отрезки, то есть отрезки, отношение длин которых не равно никакому отношению двух целых чисел. Неизвестно, что это были за отрезки - диагональ и сторона квадрата, правильного пятиугольника или что-то еще. Также достоверно неизвестно наказание, которое Гиппас понес за свое открытие - смерть или простое изгнание.

Так или иначе, атомистическая концепция в числах продержалась недолго, но натолкнула на правильные мысли других мыслителей античности - Левкиппа и Демокрита. Про Левкиппа известно немного помимо того, что он был учителем Демокрита - основного создателя древнегреческого атомизма. Некоторые историки ставят под сомнение даже само его существование, настолько мало информации о нем сохранилось. Демокрит же - вполне реальный выдающийся мыслитель античности, впервые развивший идею атомизма по отношению уже не к числам, а к объектам реального мира.

Главные идеи атомизма Демокрита состояли в следующем:

- 1) Вселенная состоит из *пустоты* и *атомов*.
- 2) Есть бесконечно много различных, но однородных и непроницаемых *атомов*.
- 3) *Атомы* взаимодействуют друг с другом путем случайных столкновений, являющихся причиной всех остальных движений.
- 4) Все объекты мира состоят из конечного числа *атомов*.
- 5) Никакие объекты не возникают из ничего, только путем комбинации других объектов.

- 6) Никакие объекты не исчезают бесследно, только распадаются на другие объекты.

Таким образом, идея атомизма, рассорившая адептов крупнейшей античной математической школы, послужила хорошей почвой для идей в философии. Примечательно, что через некоторое время та же идея опять с успехом использовалась, причем никем иным, как самим Архимедом.

Великий ученый античности получил прекрасное образование в Александрии - одном из крупнейших научных центров того времени. Там он среди прочего изучал труды Демокрита и Евдокса, откуда и узнал об идее атомизма в ее математической и физической интерпретациях. Фактически только из трудов Архимеда и можно узнать об античном атомизме, так как все, что было до него, по большей части утеряно. Сам Архимед использовал концепцию математического атомизма в виде идеи равноставленности Евдокса, значительно усовершенствованной им самим.

Идею равноставленности можно проиллюстрировать на следующем примере (см. рис. ???). Рассмотрим круг радиуса R на плоскости. Постараемся найти его площадь, зная что длина окружности есть произведение 2π на ее радиус. Представим круг состоящим из неделимых объектов - концентрических окружностей с центром в центре круга. Далее мысленно разрежем круг вдоль вертикального радиуса и развернем каждую окружность в отрезок, сохранив ее длину и положение центра на нижнем радиусе OR . В результате получится треугольник с основанием $2\pi R$ и высотой R . По известной формуле, его

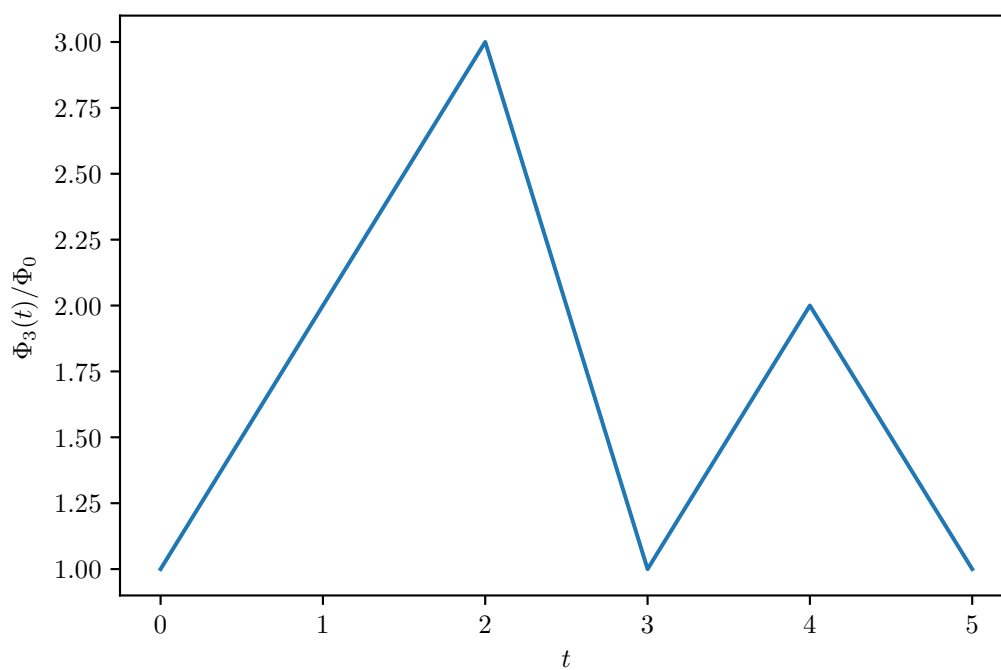


Рис. 1.1. Plot of function.

площадь равна

$$S = 2\pi R \cdot \frac{R}{2} = \pi R^2.$$

Заметим, что исходный круг и полученный треугольник *равносоставленны*: каждой внутренней окружности круга однозначно соответствует горизонтальный отрезок треугольника, причем той же самой длины. Так что можно ожидать, что найденное значение и равно искомой площади круга, что действительно верно.

К сожалению, идея равносоставленности в приведенной выше формулировке годится только для отдельных случаев и в целом неверна. Несложно придумать, как говорят в математике, *контрпример* рассуждений подобного рода, но приводящим к совершенно неверным результатам. Интересно, что и сам Архимед не относился к этому методу как к строгому, вероятно зная, что он может привести к ошибкам. Архимед использовал его скорее как способ угадать правильный ответ, который затем тщательно проверял. И тем не менее, отношение к идее атомизма как конкретному математическому инструменту (пусть и не идеальному) позволило Евдоксу и Архимеду заложить основы современного интегрального исчисления, а вместе с ним и значительной современной математики.

Идеи раннего атомизма, конечно же, довольно далеки от современного взгляда на вещи. И тем не менее кажется удивительным то, насколько удалось продвинуться в своих размышлениях философам древности, не обладавшим серьезными измерительными приборами. При должной фантазии в философских учениях восточной и древнегреческой философии вполне можно увидеть намеки на современное представление о микромире. В буддизме, например, с древних времен

фактически фигурировал вакуум как материальная среда, в которой мельчайшие частицы непрерывно возникают и исчезают. Сегодня подобный взгляд на вещи составляет основу квантовой теории поля, согласно которой так называемые *виртуальные частицы* ведут себя схожим образом. Атомы по Демокриту участвовали в непрерывных случайных столкновениях друг с другом, порождая всевозможные движения объектов. Последнее весьма похоже на описание броуновского движения, если считать атомы Демокрита современными молекулами.

Идеи философского атомизма были довольно популярны в древнем мире, но в итоге исчерпали себя ввиду невозможности пойти дальше умозрительной философии. В средневековье атомизм как учение находился под запретом господствующей религии и чуть не был утерян совсем. Лишь в XVII веке к этим идеям вернулись вновь.

Время новой физики

Серьезный прорыв был сделан в начале XIX века английским химиком Джоном Дальтоном, фактически возродившим атомизм. Дальтон сформулировал понятие атома, довольно близкое к современной точке зрения. Дальтон считал (и это верно), что атомы участвующих в химических превращениях веществ лишь перераспределяются, но не распадаются на части и не создаются. Таким образом, впервые возникла идея об атоме как *химически неделимом* элементе мироздания, участвующем в любом превращении веществ в природе.

Строение атома

Цепные реакции

————— IDEAS —————

Атомизм как философское учение занимает особое место в философии древней Греции. Воображение античных философов и их умение делать обобщения на основе наблюдаемых явлений природы позволило предвосхитить даже некоторые открытия недавнего прошлого. Так философ Демокрит, один из основоположников древнегреческого атомизма, полагал, что вселенная состоит из *пустоты* и *атомов*. Атомы по Демокриту могут иметь разнообразную форму, в совокупности составляют отдельные объекты мира и участвуют в непрерывных столкновениях друг с другом, порождая всевозможные движения объектов. Таким образом, Демокритом было фактически описано броуновское движение, если считать его атомы современными молекулами.

В древней индийской философии также в свое время родились и развивались концепции атомизма, причем, вероятно, даже раньше древнегреческих. При всем многообразии конкурирующих религиозных школ и различии в своих учениях практически все они единогласно принимали концепцию атомизма в том или ином ее виде. В буддизме идеи атомизма традиционно понимались гораздо шире, фактически основывая свое учение на понятии *дхармы* как элементарной и неделимой сути объектов - центральном для всей буддийской философии.

XX век был поистине богатым научными открытиями в самых разных областях науки. Ученые как никогда приблизились к пониманию механики как микро, так и макро процессов окружающего мира. В

биологии был обнаружен и описан основной строительный блок всего живого - молекула ДНК. Стремительно начала развиваться генная инженерия, находя приложения в самых разных отраслях человеческой деятельности. В физике были открыты общая и специальная теории относительности, квантовая механика. Выдающиеся достижения физиков и биологов активно освещались в прессе и практически сразу становились предметом жаркого обсуждения даже людьми, далекими от мира науки и в лучшем случае довольно приблизительно понимающими, о чем идет речь. Подобного, к сожалению, нельзя сказать об отношении к достижениям математики XX века - кроме самих математиков и, пожалуй, некоторых физиков, о них не знал практически никто. А они были поистине впечатляющими, вполне сравнимыми по потенциальной мощи с квантовой механикой или открытием ДНК. Стоит упомянуть хотя бы появление и активное использование компьютеров, необходимых для сложных расчетов тогда и распространенных повсеместно сейчас.

Отсутствие должного освещения открытий математики отчасти связано с самой спецификой данной науки. Лишь в редких случаях понастоящему сложную математическую теорию можно объяснить широкому кругу людей-непрофессионалов. Чувство красоты математических рассуждений, доказательств и окончательных выводов необходимо упорно воспитывать в себе некоторое время, прежде чем появится понимание того, что стоит за длинными формулами и придет осознание того, как полученные выводы можно применить на практике. Данная книга призвана восполнить этот пробел и рассказать, какую роль сыграли математики в знаменитом манхэттенском проекте, явившим миру всю мощь ядерной энергии. Я попытаюсь осветить мат. аппарат,

который использовался при расчетах, связанных с конструированием атомной и водородных бомб, уделяя особое внимание методам, созданным именно в процессе работы над проектом “Манхэттен”.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся математикой и ее приложениями в ядерной физике. Книга будет интересна студентам и аспирантам физико-математических специальностей, а также просто интересующиеся тематикой атомной физики начала-середины XX века и применяемого там мат. аппарата. От читателей в большинстве случаев требуются лишь общие знания об основных понятиях математики - множествах и отображениях. Для понимания наиболее сложных моментов книги будет полезна специальная подготовка в рамках не ниже 2 курса физико-математических специальностей, общие знания по математическому анализу, теории вероятностей, дифференциальным уравнениям и функциональному анализу.

Формулу $E = mc^2$ как мантру может повторить практически любой современный человек. Многие из нас так или иначе слышали о ней еще в детстве, не подозревая, что же она в действительности означает.

Попытки разобраться в сути какого-либо уже исследованном кем-то ранее явлении реального мира чем-то напоминают процесс очистки гипотетического фрукта с многослойной кожурой. Первым и самым простым слоем являются личный опыт, мнения других людей и “авторитетных” источников о данном вопросе. На этом, собственно, можно и остановиться, сказав, что достаточно разобрались в вопросе.

Если полученные ответы нас не устраивают, не понятны, либо не полны и желание разобраться в сути явления не угасло, то придется перейти к следующему слою - предметной области явления, например, физике. Необходимо хотя бы в общих чертах понять, что же именно

происходит в интересующем нас явлении природы. Какие объекты в нем участвуют и по каким правилам взаимодействуют друг с другом. Какие моменты существенны, а какими можно пренебречь. Продвинувшись в понимании физической сути процесса, мы

Наконец, последний и традиционно самый трудный слой - математика явления. Каждое явление природы имеет свой язык описания ... сложно .. вместо объектов - абстракции, вместо простых правил взаимодействия - сложные уравнения.

атомы - интуиция еще со времен древних греков, но дальше - перерыв почти на 2000 лет связанный с тем, что увидеть объект своих измышлений уже не возможно. прорыв - с появлением соответствующих средств измерений, но тут ученых ждал очень большой сюрприз до этого схема научных открытий в большинстве своем состояла в следующем - смотрели, измеряли, придумывали теорию основанную на уже известных аналогиях, потом совершенствовали приборы, и снова смотрели и придумывали аналогию и т.п. в атомной физике известных аналогий не нашлось. Наблюдения зачастую в корне противоречили известным фактам о макром мире. Любая попытка посмотреть на макроанalogии заканчивалась появлением множества противоречий теории с экспериментом и в конце концов полным провалом

физика - ранее умение делать открытия зависело от того, насколько наблюдателен был ученый, насколько хорошо он умел проводить параллели между уже известными явлениями и только изучаемыми. Движения огромных небесных тел описывалось исходя из аналогичных движений, которые можно было повторять в удобном масштабе в своей лаборатории и т.п. [еще примеры] Новая физика потребовала от ученых вообразить нечто не имевшее аналогов с ранее изученным

в принципе. Это восхищало даже далеких от физики современников. В математике такие штуки привыкли проворачивать довольно давно. Стефан Банах, один из создателей современной математики в ее [современном] виде, говорил "Хорошие математики видят аналогии, лучшие могут видеть аналогии между аналогиями". Сам он, безусловно, был одним из лучших.

слова "теория относительности" "квантовая механика" носились в воздухе. Их можно было слышать понимающих и истолковыва

<https://ru.wikipedia.org/wiki/> В качестве модели состояния электрона в атоме, в квантовой механике принято представление об электронном облаке, плотность соответствующих участков которого пропорциональна вероятности нахождения там электрона.

Электронное облако часто изображают в виде граничной поверхности. При этом обозначение электронной области при помощи точек опускают. Пространство вокруг ядра, в котором наиболее вероятно пребывание электрона, называют атомной орбиталью (смысл которого вытекает из волнового уравнения Шрёдингера).

Применяются графические изображения распределения электронной плотности относительно ядра.

Кривая радиального распределения вероятности показывает, что электрон находится в тонком концентрическом шаровом слое радиуса r толщины dr вокруг ядра атома водорода[1].

Проекция максимума кривой соответствует боровскому радиусу $a_0 = 0,53A_w^{1/3} r_c$.

Во многих случаях для решения уравнения Шрёдингера используют различные приближения. Вероятностную (статистическую) ин-

терпретацию волновой функции разработал Макс Борн. В 1954 году М.Борн удостоен Нобелевской премии по физике с формулировкой «За фундаментальные исследования в области квантовой механики, особенно, за статистическую интерпретацию волновой функции.»

[https://ru.wikipedia.org/wiki/ М. Борн](https://ru.wikipedia.org/wiki/М._Борн) вспоминал: Он (Шрёдингер) рассматривал электрон не как частицу, но как некоторое распределение плотности, которое давалось квадратом его волновой функции $||$.

Он считал, что следует полностью отказаться от идеи частиц и квантовых скачков, и никогда не сомневался в правильности этого убеждения. Я, напротив, имел возможность каждодневно убеждаться в плодотворности концепции частиц, наблюдая за блестящими опытами Франка по атомным и молекулярным столкновениям, и был убеждён, что частицы не могут быть упразднены. Следовало найти путь к объединению частиц и волн. Я видел связующее звено в идее вероятности...

Глава 2.

Проект “Манхэттен”

*Каждое орудие несет в себе дух,
благодаря которому оно создано.*

Вернер Гейзенберг, “У истоков квантовой теории”

TODO

————— IDEAS —————

персоналии физики персоналии математики, Львовская школа и
т.п.

Глава 3.

Зачем нужна математика?

*Каждая включенная в книгу формула
уменьшает число ее читателей вдвое.*

С. Хокинг, Р. Пенроуз

TODO

————— IDEAS —————

На этом подготовительную часть книги можно считать законченной. Мы знаем, какие физические процессы стоят за созданием атомного оружия ([стоит ли упираться на оружие]) и в целом понимаем суть связанных с этим задач. Мы представляем, какая работа была у физиков.... Что же делали математики?

Прежде чем пытаться разобраться в конкретных уравнениях и моделях, полезно значть в целом, а что же вообще способна дать математика?

Дмитрий Иванович Менделеев утверждал, что наука начинается там, где начинают считать

Литература