

# Средневековая физика

А. Хохлов

## 1 Что представляло собой развитие науки в средние века?

Живущему в наше время человеку сложно по достоинству оценить масштабы различий между физикой Аристотеля и физикой Нового времени. Более того, живущему в наше время человеку физика Ньютона кажется вполне логичной и само собой разумеющейся. Мы привыкли к таким понятиям, как сила, масса, скорость, мы понимаем, что многие явления можно рассчитать по формулам. По сути дела, любой современный человек запросто перескочил бы этот многовековой рубеж.

Главное различие физик Ньютона и Аристотеля — в различии интуиций, необходимых для того, чтобы мыслить в рамках одной или другой. Физика Аристотеля основывалась на других понятиях, исходила из других принципов, оперировала другими конструкциями, решала другие задачи. Можно сказать, что развитие науки в средние века — это развитие интуиций и понятий, необходимых для формирования новой физики.

## 2 С чего все началось

Аристотелева физика была в центре всей средневековой науки. Уже было понятно, что многие ее выводы сомнительны, но авторитет оставался высок. Дело в том, что физика Аристотеля была единственным логически завершенным и внутренне согласованным учением о природе на тот момент. Кроме того, любой ученый опирался в своих изысканиях на термины и структуры, введенные Аристотелем, и тем самым не мог уйти слишком далеко в своих рассуждениях.

Датой начала разрушения физики Аристотеля принято считать **1277** год. В этом году парижский епископ Этьен Тампье предал осуждению 219 положений физики Аристотеля как противоречащих католической вере.

Идиотизм, правда? Но тогда так было модно: шла активная охота на ведьм, боролись с ересью — одним словом, Средневековье. Авторитет религии был уже высок, так что Аристотелевой физике пришлось отступить. Конечно, позже столь радикальный подход к науке привел к появлению критики знания вообще и дал возможность объяснять все явления через сверхъестественное, но пока что поступок Этьена Тампье Парижского дал хорошие результаты.

Во-первых, авторитет Аристотеля перестал ограничивать свободу мыслителей, так что они могли зачастую принимать за основу прямо противоположное основам аристотелевой физики. Во-вторых, появилась возможность в рамках учения Аристотеля плодить различные "ереси", делать ложные выводы и категориальные ошибки. Некоторые понятия, совершенно очевидные современному человеку, начинались именно как "ереси" по отношению к учению Аристотеля.

### 3 Наука о движении

Субъектом натурфилософии являлись движущиеся тела. При этом под движением понималось не только перемещение из одной точки в другую, но еще и возникновение, исчезновение, изменение и рост. Например, то, что сейчас относится к биологии и медицине, тогда тоже было субъектом натурфилософии. Я буду описывать все так, как будто мы говорим о движении-перемещении, но нужно постоянно помнить, что Аристотель, а вслед за ним и средневековые мыслители, понимали под движением гораздо больший круг явлений.

Физика Аристотеля не дает позитивного определения понятию движения. В ней движении возникает как противопоставление покою: покоится значит имеет одно и то же положение в пространстве, не имеет одного и того же положения — движется. Можно еще вспомнить, что у Аристотеля "положение" всегда понимается в смысле взаимного расположения многих тел, а отсюда очень и очень неблизко до "икса", "игрека" и "зеда". Аристотель выделяет начальное и конечное взаимное расположение тел, а движение — это то, что происходит между ними. Шаг вперед был сделан лишь в XIV веке Уильямом Оккамом, сказавшим, что для движения требуется лишь понятие места и само тело. И никаких других тел! Хотя, заметьте, он не предложил чего-то совершенно нового, а лишь немножко подправил Аристотеля. Ни о каком абсолютном пространстве Ньютона речь пока не шла. Место у Оккама — это что-то вроде ячейки, в которой может разместиться тело. Движение — смена ячейки.

Нужно заметить, что даже само слово "движение" в физике Аристотеля жестко привязано к движущемуся телу. Движения вообще для Аристотеля не существует. Строго говоря, аристотелевская натурфилософия изучает не движение тел, а просто тела, в том числе и пребывающие в движении. И то, что небесные тела по Аристотелю в своем движении подчиняются другим законам, в рамках аристотелевского подхода вовсе не выглядит странным: разные тела просто имеют разные свойства. Предметом физики Аристотеля являются тела, движение рассматривается лишь потому, что окружающему миру присуща изменчивость. Физике нового времени, изучающей параметры и закономерности движения материальных точек, по сути, придется вернуться к точке зрения близкой к платоновской, изучать движение, абстрагировавшись от объекта, который в этом движении находится.

Еще одним шагом, сделанным Уильямом Оккамом было разделение понятий "быть в движении" и "быть движимым". Таким образом была проведена граница между кинематикой и динамикой. Граница же между причинами движения и пространственно-временными характеристиками была обозначена еще за век до этого (в XIII веке).

Как уже было сказано, о динамике движения стало возможным говорить после отделения понятия "быть движимым" от "пребывать в движении". Говоря о причинах движения, Аристотель выделяет два типа движений: естественное и насильственное. Для естественного необходимы две причины: потенциальная и энтелехияльная. Иначе говоря, тело должно быть способным двигаться (потенция) и у его движения должна быть цель (энтелехия). Может показаться, что отсюда недалеко и до ньютоновских сил, но это не так. Энтелехия Аристотеля — это причина целевая, а не действующая. Энтелехия не выталкивает тело из начальной точки, а стремится его к конечной. В рамках аристотелевой физики ответ на вопрос "Почему движение началось?" отнюдь не так прост.

Фома Аквинский, известный своими религиозно-философскими работами, высказал предположение, что движение может происходить и без специального движителя. Почему началось движение? — Само по себе. Достаточно, чтобы этому благоприятствовали две аристотелевские причины. Казалось бы, в чем ценность такого предположения? А ценность в том, что в рамках Аристотеля вопрос "что побудило двигаться?" не возникал, "само по себе" — это простейший ответ на вопрос, который не может быть задан в терминах учения Аристотеля. И это еще один шаг вперед.

Вспомним классический пример движущегося тела — камень, брошенный под углом к горизонту. Аристотелевская физика предъявляет два обязательных требования: сопротивление среды движению и непрерывность материи. Движение не начинается и не завершается скачком. Бросающая рука испытывает сопротивление со стороны воздуха и при этом разгоняет воздух. Когда камень отпущен, он еще некоторое время подталкивается воздухом, но, опять-таки из-за сопротивления среды, достигает верхней точки, а дальше движется вниз. Почему? Физика Аристотеля отвечает несколько на другой вопрос: "*Почему* камень движется *вниз*?" (точнее, "*Почему* **камень** движется *вниз*?" ) вместо "*Почему* камень *движется* вниз?" Вниз камень тянет энтелехия, стремящая все тела занять места поближе к центру мира, но это не ответ на наш вопрос.

Кстати, у Аристотеля есть еще и движение небесных тел, которое происходит в пустоте и подчиняется совершенно другим законам. Мостик между "подлунным" миром и физикой небесных тел попробовал перекинуть арабский мыслитель Авемпас, заметивший, что примерно тех же качественных результатов можно добиться, если оперировать не скоростями движения тел (лучше сказать "быстро́тами", до ньютоновского  $\frac{dx}{dt}$  еще очень далеко), а замедлениями. Если считать, что замедление тела обратно пропорционально плотности среды, то оказывается, что движение в пустоте возможно. Оно не происходит скачком, а просто является незамедленным (у Аристотеля быстрота движения была обратно пропорциональна плотности среды). Хорошая идея? Все гораздо грандиознее. Ведь если возможно движение в пустоте, значит среда для движения вовсе и не нужна! Значит для движения нужно лишь "место", никак не зависящее от среды и тел, и само тело. Но этот вывод сделан пока что не был.

Вернемся к движению камня. Грубо говоря, по Аристотелю все движения, начинающиеся "не вниз" (для легких тел "не вверх"), являются насильственными. Они происходят лишь пока тело испытывает воздействие со стороны какого-то "двигателя". В примере с камнем видно, что воздух в качестве та-

кого двигателя, конечно, может быть выбран, но не слишком это выглядит убедительно. Решение было найдено в теории "импетуса", предложенной Жаном Буриданом в XIV веке.

В чем идея Буридана? Движение тел происходит под действием особой движущей силы — "импетуса". При контакте тел импетус перетекает из одного в другое и дальше начинает это "другое" толкать. Полет камня объясняется теперь проще: рука передает импетус камню, во время движения вверх импетус постепенно заканчивается и камень летит вниз. Буридан представлял себе импетус как некий внутренний двигатель, который нужно запустить для движения. Из того, что мы знаем сейчас, импетус больше всего напоминает энергию (хотя никакой энергии у них, ясное дело, не было). Но есть одно серьезное отличие импетуса от ньютоновских импульса и энергии: импетус — это не характеристика движения, а движение не происходит по инерции. Импетус — это прикрепленная к телу движущая причина. Ни о какой инерции и речи не идет.

Тем не менее, были сделаны решающие шаги: динамика была отделена от кинематики, а движение было объяснено из внутренних причин без непосредственного присутствия двигателя.

## 5 Кинематика

Нужно заметить небольшое внутреннее разногласие в учении Аристотеля о движении. Когда Аристотель говорит о движении, он описывает либо движение как переход  $A \rightarrow B$ , либо как переход вдоль последовательности промежуточных состояний покоя  $A_{n-1} \rightarrow A_n \rightarrow A_{n+1}$ , но в его физике нет описания связи между этими двумя понятиями. В рамках аристотелевой физики нельзя дать удовлетворительного объяснения парадоксу стрелы "если в каждый промежуточный момент тело покоится, то когда же оно движется?" На самом же деле проблема в согласовании указанных двух понятий между собой. В каждый момент времени тело где-то находится, по Аристотелю — занимает место, что неявно предполагает возможность подойти к нему, рассмотреть и сопоставить с положением других тел. Прошел малый промежуток времени и тело перескочило в *следующую* точку на своем пути. Точки пути могут быть ближе или дальше, но тело перемещается от одной к другой скачками. И это портит всю аристотелевскую картину непрерывного движения.

Как происходит скачок из одной промежуточной точки покоя в другую, если природа непрерывна?

Эта трудность была разрешена в средневековой науке с появлением понятия непрерывного континуума точек. Нет никакой соседней точки — нет прыжков.

Наибольший вклад в развитие кинематики был сделан мыслителями из Мертон-колледжа (Англия, XIV век). Этих мыслителей, любивших числа и математику, называли еще "Мертонскими вычислителями", точнее, "Мертонскими калькуляторами". Если вспомнить, что до изобретения арифмометра оставалось несколько веков, и вспомнить изначальное значение слова "калькулюс" — "бросать камешки и считать их", то это прозвище приобретает шутливо-ироничный оттенок, который, вероятнее всего, и присутствовал в XIV веке.

Колледж выдвинул много хороших идей, которые, ясное дело, жестоко конфликтовали с учением Аристотеля, а потому и воспринимались окружающими с иронией.

Итак, во-первых, мертонцами было выдвинуто учение об интенсии и ремиссии качеств. Вспомним Аристотеля, движение (и, в частности, изменение качеств) происходит между начальной и конечной точкой. Мертонцы предложили другой способ описания того же процесса. Можно считать, что движение имеет начальную точку и интенсию — удаление от начальной точки. Начальная точка фиксирована, а интенсия нарастает. Можно и иначе — через конечную точку и убывание ремиссии. В чем отличие от Аристотеля? Выделена *одна* точка, относительно которой происходит движение, и выделена *величина*, характеризующая само движение. Теперь можно уже правильно задавать вопросы о движении: "Почему интенсия возрастает?" Заметим, что ответ, данный так же в терминах начальной точки и интенсии, исходя из логических соображений, не должен содержать упоминания о конечной точке, а потому никаких энтелезиальных причин не нужно.

Следующий шаг, сделанный в Мертон-колледже, — это введение чисел для описания мира. В древности Пифагор пытался объяснить структуру мира, исходя из чисел. Мертонцы пошли иначе. Они стали пытаться описать явления при помощи чисел.

Мы положили на стол апельсин и апельсин остался на столе. Поставили на стол слона и стол сломался. Почему? Объяснения мертонцев выглядели примитивно. Например, так: потому что у Апельсина число 0, у стола число 45, а у слона 100. Апельсин остается на столе, потому что его число меньше, а слон потому и проламывает стол, что его число больше. Так и кажется, что осталось только сопоставить числа с реальностью и ... Но вот тут все и заканчивается. Мертонцы описывали мир числами, но не *измеряли* его. Интуиции измерения еще не было. Не придавая физического смысла используемым терминам, мертонцы ввели понятие равноускоренного и равнозамедленного движения, даже вывели соответствующий формулы, но смысл чисел, опять-таки, оставался за кадром.

Может возникнуть вопрос, почему же за такое большое время расстояние между конечной и начальной точками ни разу не было поделено на время, чтобы получить один из важнейших параметров движения — среднюю скорость? Ответ прост: время и пространство у Аристотеля являются различными категориями. И хотя делить одно число на другое уже умели, но запись  $\frac{S}{T} = V_{\text{средн}}$  представляла собой жуткую ересь. Посмотрим внимательнее: мы взяли расстояние (параметр пространства), разделили на время и назвали результат новой категорией "скорость". Мы просто совершили ошибку! Это как если бы мы решили объединить "красное" и "теплое" в одну категорию "красно-теплое" и потом утверждали бы, что такая категория существует. Только что совершенную нами категориальную ошибку совершил 7 веков назад Николай Орем, заявивший, что получившаяся величина является характеристикой движения. Параллельно в математике начало формироваться представление о функциональной зависимости между величинами, которое позже и сделало скорость очевидным и понятным параметром движения.

## 6 Заключение

Итак, в средневековой науке формируются основные интуиции науки нового времени. Формируются они во многом в рамках учения Аристотеля, но так же и в виде отдельных "ересей". Понятия и структуры аристотелевой физики были подвергнуты некоторой критике, что позволило позже полностью их пересмотреть. Параллельно в математике формировался новый аппарат для формализации появляющихся интуиций. Почему же понадобилось еще несколько веков для появления новой физики? Причины в том, что авторитет древнего мыслителя был все еще высок, его учение было логичным и самосогласованным, а главное — массовое мышление все еще опиралось на структуры и понятия физики Аристотеля.

## Список литературы

- [1] В.П.Гайденко, Г.А.Смирнов Западноевропейская наука в средние века. - М.: "Наука", 1989
- [2] П.П.Гайденко Эволюция понятия науки (становление и развитие первых научных программ). - М.: "Наука", 1980.