

Дефиниция физики

Алексей Буров

Физика — наука, ищущая фундаментальные законы природы и применяющая их для объяснения природных явлений и в технических изобретениях.

Такое или примерно такое определение можно найти в учебниках, энциклопедиях, получить от AI. Иногда к этому добавляют, что физические законы выражаются в математической форме, как уравнения. Но что такое — фундаментальный физический закон, почему и в каких границах знание законов может служить для объяснения явлений природы и для изобретений? Что это за схема познания вообще, где она работает и почему? Только начни задавать подобные вопросы, и все стандартные дефиниции физики рассыпятся в исходный хаос непонятного.

Взятая со своей исторической стороны, физика представляет собой длительный проект познания природы, складывавшийся веками, тысячелетиями, претерпевая при этом значительные переосмысления. Физика есть не только знание о материальной реальности, но и сама является реальностью, культурного и цивилизационного порядка; давать же дефиниции реальности — дело затруднительное.

Во все времена и во всем мире имелись люди-практики, поглощенные "несокружимыми и неподатливыми фактами"; во все времена и во всем мире существовали люди с философским взглядом на вещи, которые были поглощены сплетением общих принципов. Именно этот союз страстного любопытства к мелким фактам с равной преданностью к абстрактным обобщениям сформировали абсолютную инновацию в нашем нынешнем обществе.

All the world over and at all times there have been practical men, absorbed in 'irreducible and stubborn facts': all the world over and at all times there have been men of philosophic temperament who have been absorbed in the weaving of general principles. It is this union of passionate interest in the detailed facts with equal devotion to abstract generalization which forms the novelty in our present society. (Science and the Modern World, Cambridge, 1953 [reprint], p. 3.)

— писал Альфред Норд Уайтхед («Наука и современный мир», 1953), и этот взгляд на физику представляется особенно точным и глубоким. Там, где были лишь «люди-практики», знание о природе представлялось несвязным набором эмпирических наблюдений и рецептов. Там, где «люди с философским взглядом на вещи» не очень интересовались фактами, знание о природе представлялось в виде нечувствительных к наблюдениям общих схем.

Физика по-настоящему родилась лишь тогда, когда то и другое стало соединяться в одной личности.

Артур Кестлер, комментируя это высказывание Уайтхеда, подчеркивал, что

этот новый подход определил климат европейской мысли в последние три столетия, он выделил современную Европу среди всех остальных цивилизаций прошлого и настоящего времени и дал ей возможность трансформировать ее естественное и социальное окружение столь же полностью, как будто бы на нашей планете возник новый вид живых существ. («Лунатики», 1959)

This new departure determined the climate of European thought in the last three centuries, it set modern Europe apart from all other civilizations in the past and present, and enabled it to transform its natural and social environment as completely as if a new species had arisen on this planet. (Koestler, Arthur. *The Sleepwalkers* (Penguin Modern Classics) (pp. 294-295). Penguin Books Ltd. Kindle Edition.)

Сказанное порождает вопрос: каким же образом может быть реализовано внимание к мелким подробностям фактов? Каким должен быть язык, максимально пригодный для описания сколь угодно мелких деталей фактов, притом максимально объективный, отдаленный от всего только-человеческого, да еще и позволяющий формулировать общие принципы, которым ухваченные описанием факты строго подчинялись бы? Мы знаем лишь один язык, который в принципе мог бы претендовать на эту роль, обладая всеми перечисленными качествами — язык математики. Претендовать, однако же, совсем не то же самое, что реализовать — между первым и вторым может быть пропасть. Более того, эта пропасть должна была бы предполагаться из общих соображений, как необозримый разрыв между масштабами человека и Вселенной.

Как язык описания количественных отношений вещей, язык учета, расчета и проектирования, математика известна с незапамятных времен. По-видимому, наиболее трудными и стимулирующими ее развитие задачами были те, что порождались храмовым строительством; сложность и величие храмов архаичных цивилизаций Египта, Крита, Ближнего Востока свидетельствует о значительном уровне математического искусства, достигавшемся уже три и более тысячи лет тому назад.

Революционный шаг вперед был совершен Пифагором и его школой, и он состоял в открытии математических доказательств. Чтобы оценить этот шаг по достоинству, следует иметь в виду, что никакой практической нужды в доказательствах не было: то, что доказывалось, было либо уже известно и несомненно, либо не представляло практического интереса. Архитекторы, звездочеты, землемеры пользовались унаследованными с незапамятных времен рецептами решения соответствующих задач, в доказательствах коих не только не нуждались, но и сама постановка вопроса о доказательствах должна была бы вызвать их недоумение, подозрение в неосведомленности, если не в безумии. Математика

была открыта Пифагором не для каких-либо нужд, но как самоценное созерцание вечных совершенных истин, как причастие божественному. Вот как пишет об этом Бертран Рассел:

The changes in the meanings of words are often very instructive. I spoke above about the word 'orgy'; now I want to speak about the word 'theory'. This was originally an Orphic word, which Cornford interprets as 'passionate sympathetic contemplation'. In this state, he says, 'The spectator is identified with the suffering God, dies in his death, and rises again in his new birth.' For Pythagoras, the 'passionate sympathetic contemplation' was intellectual, and issued in mathematical knowledge. In this way, through Pythagoreanism, 'theory' gradually acquired its modern meaning; but for all who were inspired by Pythagoras it retained an element of ecstatic revelation. To those who have reluctantly learnt a little mathematics in school this may seem strange; but to those who have experienced the intoxicating delight of sudden understanding that mathematics gives, from time to time, to those who love it, the Pythagorean view will seem completely natural even if untrue... So much by way of explanation of the two aspects of Pythagoras: as religious prophet and as pure mathematician. In both respects he was immeasurably influential, and the two were not so separate as they seem to a modern mind... The combination of mathematics and theology, which began with Pythagoras, characterized religious philosophy in Greece, in the Middle Ages, and in modern times down to Kant. Orphism before Pythagoras was analogous to Asiatic mystery religions. But in Plato, St Augustine, Thomas Aquinas, Descartes, Spinoza, and Leibniz there is an intimate blending of religion and reasoning, of moral aspiration with logical admiration of what is timeless, which comes from Pythagoras, and distinguishes the intellectualized theology of Europe from the more straightforward mysticism of Asia. It is only in quite recent times that it has been possible to say clearly where Pythagoras was wrong. I do not know of any other man who has been as influential as he was in the sphere of thought. I say this because what appears as Platonism is, when analysed, found to be in essence Pythagoreanism.

(Russell, Bertrand. History of Western Philosophy: Collector's Edition (Routledge Classics) (pp. 34-38). Taylor and Francis. Kindle Edition.)

Огромное историческое значение имела также интуиция Пифагора, что в основе космоса, гармонии природы, лежат числа; а коли так, то познание космоса следует искать на путях математики. Разумно предположить, что эта интуиция проистекала не только из открытых Пифагором численных законов музыкальной гармонии, но и из опыта переживания открытой им красоты математики. Пифагорейское кредо «вещи суть числа», из которого вышла вся математическая физика, выглядело безумным для непосвященных, даже и сегодня оно может таким выглядеть, что подчеркивает его исключительную смелость и глубину. Эта интуиция была в дальнейшем подхвачена Платоном; недаром над воротами его Академии было начертано «не геометр да не войдет». Учеником Платона был выдающийся математик Евдокс; именно ему Платон поставил задачу найти универсальный математический принцип движения планет. Задача была решена Евдоксом в виде предложения рассматривать планетарные движения в виде суперпозиции круговых; позже эта идея была доведена до совершенства Птолемеем. Пифагорейское видение фундаментальности числа Платон обобщил и выразил в своей теории форм, задающих

структуру предвечной материи. Материя обрела законосообразность, регулярность, будучи как-бы натянутой Создателем-Демииургом на формы, уподобляемые правильным многогранникам. Здесь Платон не только заложил идею математических симметрий, структурирующих ткань вселенной, но и оставил, осознанно или нет, возможность недоопределенности материи законами, возможность свободы воли: натягивание материи на формы может быть как-бы не слишком тугим, оставляя возможность доопределения ее состояния случаем и свободными субъектами без нарушения законов.

Следующий важный шаг был сделан Евклидом, структурировавшим накопленный объем доказательств на небольшое число аксиом, самоочевидность которых не должна была вызывать сомнения, и выводимых из них теорем. Математика приобрела тот самый, отмеченный Уайтхедом, характер единства общих принципов и сколь угодно детального знания следующих из них фактов. Это единство созерцалось и передавалось как религиозно-заряженное переживание совершенства и красоты. Казалось бы, после этого всё было готово, чтобы вплотную заняться поиском тех самых физических форм, о которых говорил платоновский Тимей, поиском аксиом природы, ее математических первопринципов или законов. Этого движения мысли, однако же, пришлось ждать еще две тысячи лет. На всю античную эпоху приходится один-единственный математический физик — Архимед, которого хорошо помнили, но которому никто не последовал. Что-то серьезно блокировало экспансию античных математиков в направлении физики и астрономии. Историками гипотетически предлагаются следующие факторы, чье совместное действие и могло ставить такую блокировку.

Во-первых, античные математики были по преимуществу, если не исключительно, платониками, и не все аспекты этого учения поощряли детальное исследование физического мира. Материальный мир уподоблялся Платоном теням на стенах пещеры, отбрасываемым первичным миром форм. В системе неоплатоника Плотина природа занимала самый нижний этаж в иерархии эманаций. Подобные представления имплицитно сразу и низкую ценность познания материальной реальности и невозможность сколько-нибудь точного описания последней. Другой фактор — та ужасающая пропасть, что разделяет масштабы человека и Вселенной. Намеки на возможность преодоления этой пропасти содержались и в греческой мифологии (в виде браков богов и людей) и у того же Платона (в виде определенной божественности человека), но эти указания были, судя по всему, недостаточны для преодоления бездны. Нередко отмечается и третий факт, что существенным образом блокировал экспериментальную науку античности — платоническое и стоическое представление о Вселенной как об особом божестве; ставить эксперименты над божеством — не слишком увлекательная идея, мягко говоря. В свете сказанного, представляется уже не столь удивительным, что содержательная научная критика аристотелевой физики была высказана лишь в VI веке, христианским платоником Иоанном Филопоном из Александрии. Однако дальнейший прогресс науки был примерно тогда же прерван, и надолго — катастрофой «великого переселения народов» на западе Средиземноморья и переходом империи в жесткую тоталитарную фазу на его востоке.

Когда Галилей утверждал, что книга природы написана на языке математики, его мысль вовсе не заключалась в том, что природные процессы допускают количественный анализ, что существуют взаимосвязи и корреляции между измеряемыми величинами. Тогда, как и теперь, это было бы банальностью, в то время как идея Галилея была революционной. В действительности Галилей провозглашал именно ту программу поиска «постулатов» природы, что интеллектуально провоцировалась уже античной математикой. Галилей был гораздо ближе к пифагорейцам, чем к эмпирицистам а-ля Фрэнсис Бэкон. Сегодня для многих, особенно для ученых, может быть непростым делом — оценить, насколько революционной была идея математизируемой природы, ведь теперь ею пронизано всё; так или иначе люди постоянно слышат ее с самого детства. Однако, на свежий взгляд, природа совсем не похожа на конструкцию Евклида. Если отвлечься от предрассудков нашего, очень пост-галилеевского времени, то можно осознать, что идея фундаментально математизируемой материи была не только не банальной, но более того, адекватная оценка ставит ее на грань безумия, что, по словам Нильса Бора, характеризует глубокие истины.

Природный мир должен основываться на совершенных формах разума, в принципе доступных для человеческого познания и более чем заслуживающих усилий ради их открытия — такое странное, чуждое очевидностям здравого смысла представление было естественным для христианских платоников, основоположников новоевропейской физики Галилея, Кеплера, Декарта, Лейбница, Ньютона.

Эти люди были окрылены тем синтезом пифагореизма-платонизма и Св. Писания, что им открылся; силой этой особенной веры они и подвинули горы познания. Основные моменты этой «пифагорейской веры», никогда не обсуждавшейся никаким собором и сыгравшей величайшую роль в истории человечества, могут быть обозначены следующим образом:

1. *Теизм: мир создан всеблагим и сверхмудрым Богом.* Этот принцип указывает на единство мира, на его высшую красоту, разумность и ценность его познания как особого причастия Создателю. Это убеждение — общее для Библии и платонизма. Христианство добавляет сюда значительное усиление: единство предвечного Логоса и вочеловечившегося Спасителя. Альтернатива теизму включает в себя учения о порождении мира бессмысленным началом, хаосом (хаосогенез), о порождении мира конфликтующими богами (политеизм), а также уверения в бессмысленности самого вопроса об истоке, причине, резоне мира (скепсис). В любом из этих альтернативных вариантов нет смысла искать познания вселенной.
2. *Трансцендентность: вселенная не является ни богом, ни живым существом.* Это библейский принцип, противостоящий платоническому учению о вселенской Душе, пантеистическим учениям. Его важность — в открывающейся свободе физического эксперимента, снятие беспокойства о его возможном неблагочестии.
3. *Богосыновство: человек создан по образу и подобию Творца, своего Небесного Отца.* Отсюда следует вера в возможность подлинного, а не иллюзорного, познания

Космоса и значение этого познания. Этот принцип — общий для Библии и Платонизма. Христианское понимание любви как сущности Бога придает дополнительную силу этому принципу.

4. *Божественность математики: совершенный мир математических идей принадлежит уму Бога и доступен человеку.* Отсюда следует уникальное значение математики, как причастия Всевышнему через умозрение предвечных универсальных истин. Это платонически-пифагорейский принцип, принятый христианскими платониками. Математика, порождаемая этой интуицией, подчинена особой эстетике элегантных форм разума, она открывает красоту вечных узоров идей.
5. *Математичность материи: материальный мир структурирован каркасом математических идей.* Это пифагорейская догадка, центральная для физики; она есть нить Ариадны в поиске законов природы. Математика, в этом ключе, есть не просто набор каких угодно формул и доказательств, но лишь элегантных (небанальных, но простых, разносторонне-симметричных, с богатым набором решений, с неожиданными связями).

Вытекавшая отсюда стратегия поиска логико-математического каркаса материи была явно или неявно основана на вере в особое совершенство скрытых аксиом материи, ее платоновых форм или законов, сочетающих в себе достаточную для их открываемости простоту принципов с достаточной для разнообразия природы конструктивной сложностью их следствий. Последовавшее развитие физики продемонстрировало адекватность этой стратегии ее задачам. Попробуем обозначить основные качества физических законов, открытых за прошедшие с тех пор века. Фундаментальные физические законы, или математические принципы устройства материи, обладают весьма специальным характером, а именно, они:

- a) Выражаются короткими, компактными формулами, что отражает математическую простоту стоящих за ними идей.
- b) Эстетически притягательны (элегантны, изящны): следуют не слишком запрытаным симметриям, инварианностям, соответствиям и эквивалентностям.
- c) Чрезвычайно точны; сегодня — до 12 десятичных знаков.
- d) Универсальны — охватывают примерно 45 порядков величины, от размера видимой вселенной до бозона Хиггса и топ-кварка.
- e) Упорядочены по трудности открытия: классика проще квантовой и релятивистской физики, а не наоборот.
- f) Асимптотически точны: классические выводы о наблюдениях совпадают с выводами релятивистских и квантовых теорий в соответствующих математических пределах: бесконечной скорости света и нулевой постоянной Планка.

- g) Синтаксически скоррелированы: более глубокие законы могут получаться из менее глубоких синтаксическим преобразованием (принцип соответствия, сыгравший центральную роль в открытии квантовой физики).
- h) Сапиентны, то есть совместимы с жизнью, притом весьма разнообразной и включающей сапиенсов, разумных живых существ.
- i) При всех этих параллелях и соответствиях, законы едва-открываемы, то есть обнаруживаются и формулируются на пределе возможности гениальных первопроходцев.

Подчеркнем главное в сказанном. Даже небольшое увеличение колмогоровской сложности законов привело бы к гигантскому скачку в трудности их открытия, подобно тому, как это происходит с разгадыванием паролей. В то же время, будь законы хоть немного проще, такой вселенной не хватило бы структурного разнообразия для простейшей жизни, не говоря уже о годном для космического познания мозге, как на это указывают все имеющиеся оценки по т. н. тонкой настройке фундаментальных констант. Пифагорейское кредо, таким образом, выражало латентную уверенность в том, что такой минимум сложности законов существует, и что фактические законы открытой нашему познанию вселенной этому минимуму принадлежат. Возможно, никаких иных законов там и нет.

Таким образом, Вселенная, в которой мы себя обнаруживаем, является не только *сапиентной*, допускающей появление мыслящих живых существ, *сапиенсов*, но и *пифагорейской*, чьи фундаментальные законы не только существуют, но с невообразимой точностью могут познаваться сапиенсами. На сегодня, имеется только одно выдерживающее критику объяснение этого удивительного характера Вселенной — она есть плод разумного замысла. До тех пор, пока это так, рациональная стратегия познания требует полагаться на это объяснение как на основное, как на рабочую гипотезу.

Хотя обозначенное пифагорейское кредо было и остается осознанным и явным образом признанным лишь горсткой ученых и философов, вся физика вышла именно из него. Будучи устроенной описанным образом, физика сводит явления к «аксиомам», т. е. к фундаментальным законам, оказываясь редуционистской по самой своей сути. Отсюда также следует, что растет она не только в глубину, в поисках новых и более глубоких законов, но и вширь, применяя известные законы ко все более сложным системам; объектом изучения физики является весь материальный мир *в той мере, в какой он редуцируется до законов*. Имеются серьезные основания полагать, что жизнь и мышление до законов не редуцируются, но эта тема лежит за пределами данной статьи.

То, что естествознание вообще и физика в частности основаны на данных опыта, давно уже перешло в разряд банальных школьных истин. И действительно — разве можно с этим спорить? Банальности, однако же, имеют тенденцию терять важную часть правды, тем самым оказываясь полу-ложью. Теряемое здесь — другой источник физического познания: интуиция математической красоты. При всей неопределенности этой сущности, она

сыграла незаменимую роль чудесной нити Ариадны, снова и снова выводившей основоположников разных эпох к великим физическим открытиям.

В последнее время стали все более слышны голоса — не зашла ли физика в тупик с этой нитью? С какой вообще стати вселенная должна следовать нашим, якобы эволюционно сформированным, представлениям о том, что красиво, а что нет? [Хоссенфельдер]. На это можно ответить, что вполне мыслимо, что наши представления о красоте вообще и математической красоте в частности остаются неоправданно зауженными; возможно, нас ждут еще новые открытия на этих путях. Но вот принципиальный отказ от поиска истины как красоты не только противоречит всему опыту физики, но и совершенно бессмыслен — он оставил бы нас ни с чем перед темным лесом возможных гипотез, подавляющее большинство которых были бы вдобавок еще и лишены всякой ценности. Каков был бы смысл даже и в «единой теории всего», в «финальной теории», выражайся она чуждым всякой эстетике набором уравнений?

Это эссе было начато дефиницией физики; им же его и завершим. Физика, как она складывалась исторически, есть ни что иное, как попытка описать структуру ткани Вселенной на путях математической красоты, при всей неопределенности и загадочности последних. Насколько человечеству удастся здесь продвинуться еще далее — знать нельзя, но иных путей у нас для того нет.

Литература

1. A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, 1925, (Cambridge, 1953) p. 3.
2. A. Koestler, *The Sleepwalkers* (Hutchinson, 1959), Penguin Classics. Kindle Edition, p. 294.
3. B. Russell, *History of Western Philosophy* (Routledge Classics, 1945). Taylor and Francis. Kindle Edition, pp. 34-38.
4. Plato, *Timaeus* (53-56).
5. А. Койре, Этюды о Галилее (НЛО, 1966) стр. 214.
6. A. Einstein, *Ideas And Opinions* (Crown Publishers, 1954).
7. A. Burov & L. Burov, *Metaphysical Status of Physical Laws*, in *Plato in Late Antiquity, the Middle Ages and Modern Times*, XVII ISNS Conf., selected papers, ed. J. Finamore and M. Nyvlt, (Prometheus Trust, 2019). <https://pythagoreanuniverse.com/>
8. А. Буров, Загадка жизни, (альманах Лебедь, 06-03-2021) <https://lebed.com/2021/8115.htm>, <https://pythagoreanuniverse.com/essays/ZagadkaZhizni.pdf>
9. E. Wigner, *Unreasonable effectiveness of mathematics in natural science*, *Communications on Pure and Applied Mathematics*, vol.13, issue 1, pp. 1-14 (1960).
10. M. Steiner, *The Applicability of Mathematics as a Philosophical Problem* (Harvard University Press, 1998).
11. J. D. Barrow and F. J. Tipler, *The anthropic cosmological principle*, (Clarendon Press, Oxford University Press, 1986), p. 1.

12. M. Rees, *Just Six Numbers* (Weidenfeld & Nicolson, 1999).
13. P. Davies, *The Goldilocks Enigma* (The Penguin Press, 2006).
14. G. F. Lewis and L. A. Barnes, *A Fortunate Universe: Life in a Finely Tuned Cosmos*. (Cambridge, 2016).
15. E. J. Squires, Do we live in the simplest possible interesting world? *Eur. J. Phys.* 2, p. 55 (1981)
16. R. Collins, God and the Laws of Nature. *Philo* 12 (2):142-171 (2009).
17. А. Цвелик, Жизнь в невозможном мире, (Изд. Ивана Лимбаха, 2012) стр. 258-271.
18. A. Tselik, Non-probabilistic Approach to Anthropic Principle and a Fallacy of the Fine-Tuning Argument, in *Plato in Late Antiquity, the Middle Ages and Modern Times*, XVII ISNS Conf., selected papers, ed. J. Finamore and M. Nyvlt (Prometheus Trust, 2019). <https://www.prometheustrust.co.uk/Non-probabilistic Approach to Anthropic Principle and a Fallacy of the Fine-Tuning Argument.pdf> .
19. A. Burov & L. Burov, Genesis of a Pythagorean Universe, in *Trick or Truth? The mysterious connection between physics and mathematics*, ed. A. Aguirre et al., FQXi, (The Frontiers Collection, Springer, 2016) <https://pythagoreanuniverse.com/> .
20. I. Kant, *The Critique of Pure Reason*, B649-B658.
21. K. Ferguson, *The music of Pythagoras* (Walker Publishing, 2008).
22. И. С. Дмитриев, Упрямый Галилей (Новое Литературное Обозрение, 2015).
23. M. C. Travis, *Science and the Mind of the Maker* (Harvest House Publishers, 2018).
24. J. Polkinghorne, ed., *Meaning in mathematics*, Oxford, 2011.
25. M. Planck, *Scientific Autobiography*, in *Great Books of the Western World*, vol. 56 (Encyclopaedia Britannica, Inc., 1990), p. 110.
26. S. Hossenfelder, *Lost in Math*. (Basic Books, 2018).
27. Plato, *Symposium* (206d).
28. A Burov & L. Burov, Moira and Eileithyia for Genesis. FQXi contest *Wandering Towards a Goal* (2017) <https://pythagoreanuniverse.com/>
29. R. Penrose, *The Road to Reality* (Vintage Books, 2007).

~~~~~

Английская версия опубликована в журнале *Scientific Israel — Technological Advantages*, Vol. 25, No 2-3, 2023.