



*Для кофейников*

А.А. Прасол

**Вы сказали  
«квантовые технологии»?**

ТЕХНОСФЕРА  
Москва  
2025

*Издано при финансовой поддержке  
Министерства цифрового развития, связи  
и массовых коммуникаций Российской Федерации*

**УДК 004:530.145**

**ББК 99.1+ 32.86**

**П70**

**П70 Прасол А.А.**

**Вы сказали «квантовые технологии»?**

**Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2025. – 144 с. ISBN 978-5-94836-718-7**

Робототехника, искусственный интеллект и квантовые технологии – эти три понятия входят в число самых инновационных направлений развития современной науки, техники и технологий. К ним приковано наибольшее внимание и ученых, и государственных деятелей, и многочисленных представителей технической мысли. С квантовыми технологиями связаны большие надежды человечества, ведь не случайно ООН провозгласила 2025 год Международным годом квантовой науки и технологий: они сегодня формируют тренд развития, позволяют очертить зримые границы будущего.

Но ведь любое будущее имеет свое прошлое и настоящее. Об этом автор и решил рассказать в третьей книге, которая является своеобразным продолжением книг «Вы сказали "роботы"?"» и «Вы сказали "искусственный интеллект"?"».

Для широкого круга читателей.

**УДК 004:530.145**

**ББК 99.1+ 32.86**

© Прасол А.А., 2025

© АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление, 2025

**ISBN 978-5-94836-718-7**

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Вступление</b> .....	4
<b>Глава 1.</b> Да будет Свет – видимый и невидимый .....	8
<b>Глава 2.</b> Гиперболоид может не только разрушать .....	24
<b>Глава 3.</b> В поисках быстродействия .....	32
<b>Глава 4.</b> Кубит рулит! .....	52
<b>Глава 5.</b> «Не болтай – враг подслушивает!».....	58
<b>Глава 6.</b> Крылья для железнодорожного колеса.....	70
<b>Глава 7.</b> Великое в малом .....	82
<b>Глава 8.</b> Квантовые запутанности, или Повесть о том, как поссорились Альберт Эйнштейн и Нильс Бор.....	89
<b>Глава 9.</b> Мал золотник, да дорог .....	100
<b>Глава 10.</b> Проникая в тайны Вселенной.....	112
<b>Глава 11.</b> Точность – вежливость не только королей.....	118
<b>Глава 12.</b> Город как ближний космос .....	130
<b>Глава 13.</b> Гладко было на бумаге, да забыли про овраги .....	135
<b>Заключение</b> .....	141
<b>Список источников иллюстраций</b> .....	143

# ВСТУПЛЕНИЕ

Робототехника, искусственный интеллект и квантовые технологии – эти три столь различные понятия тем не менее входят в число самых инновационных направлений развития современной науки, техники и технологий. К ним приковано больше всего внимания и ученых, и государственных деятелей, и многочисленных представителей технической мысли. С квантовыми технологиями связаны большие надежды человечества. Они сегодня формируют тренд развития, позволяют очертить зримые границы будущего.

Но ведь любое будущее имеет свое прошлое и настоящее. Об этом и решили мы рассказать в третьей книге, которая является своеобразным продолжением двух предыдущих, вышедших в издательстве. (В серии «Для кофейников» издательство «ТЕХНОСФЕРА» выпустило книги «Вы сказали «роботы»?» и «Вы сказали «искусственный интеллект»?».)

Частично технические решения, используемые в робототехнике и искусственном интеллекте, созданы при помощи квантовых технологий. Это и всевозможные датчики и анализаторы, и мощные вычислительные комплексы, и системы для беспилотного движения, и защищенные средства связи. Поэтому двинемся, как за белым кроликом в известной истории об Алисе в Зазеркалье, за световым лучом, который поможет нам постичь множество секретов таинственных квантов – частиц видимого и невидимого света. А загадок и научно-технических проблем, связанных с квантовыми технологиями, множество. И их последовательно решают, продвигаясь от простого и очевидного к сложному и подчас неподдающемуся логическому объяснению. А понятие «квантовая запутанность» вызывало ожесточенные споры даже среди самых титулованных ученых. Одна полемика Альберта Эйнштейна и Нильса Бора на этот счет стоит...

О сложности нашего мира не писал только ленивый. За несколько тысяч лет, которые насчитывает современная цивилизация, познание окружающей действительности стало уделом десятков, если не сотен тысяч ученых, мыслителей,

экспериментаторов. Они сделали выдающиеся открытия в самых разных областях знаний. На службу человеку поставлены законы физики и химии, математики и биологии. Мы активно преобразуем мир, создаем новые материалы и проникаем в столь тонкие материи, о которых даже не подозревали.

Древние греки пытались найти причины возникновения каждого явления. В поисках истины они даже материю раздробили до мельчайшей частицы, которую назвали «атомос» — неделимый. Но кто мог тогда знать, что даже невообразимо малая частица может состоять из более мелких элементов! Лишь в XIX веке было экспериментально выявлено, что атомы, в свою очередь, состоят из протонов и электронов. Что у атома есть ядро, вокруг которого носятся электрически заряженные частицы.

То же самое происходило и со светом. Сначала древние ученые считали, что свет является просто отражением от предметов. Значительно позже появились теории о волновом характере видимого света, а затем и о том, что свет имеет двойственную природу — волновую и в виде частиц. Эти частицы и были названы квантами.

Это название пришло к нам из латинского языка. Словом *quantum* латиняне называли некие физические величины, меньше которых в природе не существует. В дословном переводе квантум обозначает «сколько». И достаточно было придумать это определение, чтобы пошли множиться термины и понятия. Квант энергии, квант света, квант вещества... Даже кинематографисты не стояли в стороне. Один из серии фильмов бондианы о супершпионе Джеймсе Бонде так и называется — «Квант милосердия»...

Сегодня мы оперируем десятком квантовых технологий. Оптика и связь, тонкая химия и физика, математические уравнения и целые вычислительные комплексы, построенные на новых физических принципах, — все это включается в понятие «квантовые технологии». Неравномерность развития этих технологий связана прежде всего с тонкостью самого предмета изучения — кванта. Он загадочен и подчас непостижим, с ним нужно действовать, соблюдая известную настороженность. Ведь кванты, несущие в себе две сущности, легко могут спутать все карты исследователя.



## *Вступление*

Двойственная природа света (волновая и квантовая) раздвинула границы понимания нашего мира. Квантовые технологии принесли многим ученым звания нобелевских лауреатов и открыли совершенно непостижимые законы, действующие во Вселенной. Поэтому, продвигаясь от простого к сложному, и мы попытаемся пройти тернистым путем познания. И пусть видимый и невидимый свет станет для нас настоящей путеводной звездой.

*В начале сотворил Бог небо и землю.  
Земля же была безвидна и пуста,  
и тьма над бездною, и Дух Божий  
носился над водою.  
И сказал Бог: да будет свет.  
И стал свет.  
И увидел Бог свет, что он хороши,  
и отдал Бог свет от тьмы.  
И назвал Бог свет днем, а тьму  
ночью. И был вечер, и было утро:  
день один.*

Библия. Бытие, глава 1

## ГЛАВА I

# ДА БУДЕТ СВЕТ – ВИДИМЫЙ И НЕВИДИМЫЙ

В московском метрополитене мне довелось увидеть рекламный щит с надписью, приписываемой Аристотелю: «Город – единство непохожих». И хотя дотошные пассажиры тщетно пытались отыскать источник этого умозаключения, фраза звучит по-аристотелевски достоверно. А значит, мы смело можем отправляться в глубь веков для изучения самого предмета нашего повествования. Тем более что приложимо к квантовым технологиям, выражение древнего мыслителя подходит очень здорово. «Единство непохожих» – лучше и не скажешь, анализируя то, что представляют из себя квантовые технологии. Их объединяет общее – исследование и использование мельчайших частиц – квантов, а вот направлений такого использования – десятки, если не сотни... Но по порядку!

Если бы в истории человечества не было древних греков, их бы следовало выдумать. И вовсе не из-за величественных архитектурных памятников и уникальных скульптур, которые чудесным образом дошли до наших дней. А из-за того неоцененного вклада в сокровищницу научной мысли, начало созданию которой положили выходцы из небольшой по географическим размерам Эллады. За несколько столетий созерцательного наблюдения за окружающим миром греки сформировали материалистический и идеалистический взгляды на мироздание, заложили основы многих наук, дали свои трактовки базовых понятий в философии, физике, математике, космогонии. Они первыми определили предел деления материального мира, введя понятие атома. Они научились использовать свет как инструмент, применяя прямые лучи как ориентиры для строителей, свет маяка – как путеводную звезду для мореплавателей.

И пусть евклидову геометрию «подправил» русский математик Николай Лобачевский, введший понятие искривления пространства, а наивные представления об атомах дополнили физики-ядерщики, увидевшие в строении атома еще более мелкие сущности – электроны, протоны, нейтроны и неуловимые нейтрино, значение древнегреческих ученых огромно и непреходяще.

К нашему сегодняшнему разговору о квантовых технологиях самое непосредственное отношение имеет оптика. Оптика не может без света, это ее «рабочий инструмент». Одна из древнейших наук, тесно связанная с потребностями человека на всех этапах своего развития, оптика сформировала некоторые свои функции примерно за пять тысяч лет до нашей эры. Уже первым народам Месопотамии была известна прямолинейность распространения света. Невозможно было вести гигантское строительство, сельское хозяйство без использования измерительных инструментов. Но на открытой местности ими становились не линейки и циркули, а геодезические приспособления. В них как раз и задействован тонкий луч света. Прообразы современных лазерных указателей использовались в Древнем Египте при строительных работах задолго до нашей эры. Благодаря этому удавалось возводить не только громадные усыпальницы-пирамиды, но и гармоничные и красивые здания, некоторые из которых сохранились до наших дней.

Задолго до появления научных обоснований астрономических определений древний человек строил примитивные, но исправно работающие мегалитические конструкции вроде сохранившегося до наших дней Стоунхенду. Гигантские каменные блоки были сориентированы так, что точно указывали на положение Солнца в период летнего солнцестояния. Другие прорези обозначали расположение на ночном небе знаков Зодиака. Благодаря солнечному свету и свету далеких звезд жрецам удавалось прогнозировать начало весенних полевых работ, вести календарное летоисчисление. С развитием цивилизации ученые начали использовать более совершенные приборы и технические приемы. Созерцательность была свойственна не только древнегреческим мыслителям. И она привела к поразительным по силе научного предвидения результатам. В Древнем Египте, странах

Междуречья в той или иной мере использовались эмпирические знания о Солнечной системе, ближайших планетах, видимых невооруженным глазом, а также далеких созвездиях, которые, казалось, водили вокруг Земли свой нескончаемый хоровод. Но представители эллинистического мира добились наиболее выдающихся результатов.

Наблюдения за окружающей действительностью, умение делать поразительные обобщения и высказывать парадоксальные гипотезы позволили мыслителям древности опережать свое время на столетия вперед. Так, например, Пифагор еще в VI веке до н. э. высказал близкую к современной точку зрения, что тела становятся видимыми благодаря испускаемым ими частицам.

Аристотель (IV в. до н. э.) полагал, что свет есть возбуждение среды, находящейся между объектом и глазом. Он занимался атмосферной оптикой и считал причиной появления радуги отражение света каплями воды.

В том же веке в школе Платона были сформулированы два важнейших закона геометрической оптики – прямолинейность лучей света и равенство углов их падения и отражения. Евклид (III в. до н. э.) в трактатах по оптике рассматривал возникновение изображений при отражении от зеркал.

Главный вклад греков, явившийся первым шагом в развитии оптики как науки, состоит не в их гипотезах о природе света, а в том, что они нашли законы его прямолинейного распространения и отражения (катоптрика) и умели ими пользоваться.

Указанные два закона были описаны знаменитым греческим ученым Евклидом, жившим в III в. до нашей эры. С помощью этих законов Евклид объяснил целый ряд наблюдаемых явлений и, в частности, явлений отражения света от плоских и даже сферических зеркал.

Исследованием отражения света плоскими и сферическими зеркалами занимался другой знаменитый учений древности – Архимед, живший также в III в. до нашей эры. Он знал свойство вогнутого сферического зеркала собирать световые лучи в фокусе. Об этом сообщается в сочинениях ученых древности: Архимед знал, «почему вогнутые зеркала, помещенные против солнца, зажигают подложенный трут». Архимеду даже приписывают изобретение специальных зажигательных устройств из



вогнутых зеркал, с помощью которых он, защищая родной город Сиракузы от неприятельской морской осады, будто бы сжег вражеский флот. Это, конечно, легенда. Но то, что Архимед знал зажигательное свойство вогнутого зеркала, – это факт.

От себя хочу добавить, что в детстве я всегда носил в кармане небольшую линзу. В солнечную погоду мы легко разжигали с другом костры, на дощечках выжигали свои инициалы. Отец друга однажды в поле нашел обломок вогнутого зеркала от отражателя немецкого зенитного прожектора. Обломок был размером в школьную тетрадь. С его помощью мы легко прожигали отверстие в куске каменного угля. И мне кажется, что история с Архимедом вовсе не выдумка более поздних поколений...

Ученые древности имели представление о преломлении света и даже пытались установить закон преломления. Птолемей Александрийский поставил с этой целью специальный опыт. Он взял диск, по которому вокруг центра вращались две линейки – указатели А и В. Этот диск Птолемей наполовину погружал в воду и перемещал верхнюю линейку до тех пор, пока она не казалась продолжением нижней, находящейся в воде. Вынув затем диск из воды, он определял углы падения и преломления.



Птолемей Александрийский – знаменитый ученый древности

Однако, хотя эксперимент Птолемея и был поставлен правильно и он получил достаточно хорошие численные значения для углов падения и преломления, истинного закона он установить не сумел.

Второй важный шаг в истории развития оптики состоял в понимании законов преломления света (диоптрика) и был сделан лишь много веков спустя. Диоптрические опыты описывались Евклидом и Клеомедом (I в. н. э.), о применении стеклянных шаров как зажигательных линз упоминали Аристофан (около 400 г. до н. э.) и Плиний Старший (I в. н. э.), а обширные сведения о преломлении были изложены Птолемеем Александрийским (130 г. н. э.). Для повседневной практики такие знания не пригодились, но важность этого вопроса тогда состояла главным образом в его непосредственной связи с точностью астрономических наблюдений. Однако законы преломления не удалось установить ни Птолемею, ни арабскому ученому Ибн аль-Хайсаму, написавшему в XI в. знаменитый трактат по оптике, ни даже Галилео Галилею и Иоганну Кеплеру. Галилей построил первый в мире телескоп, через который наблюдал за звездами и планетами и смог установить, что Земля вращается вокруг Солнца и своей оси, чем нанес удар по церковным верованиям.



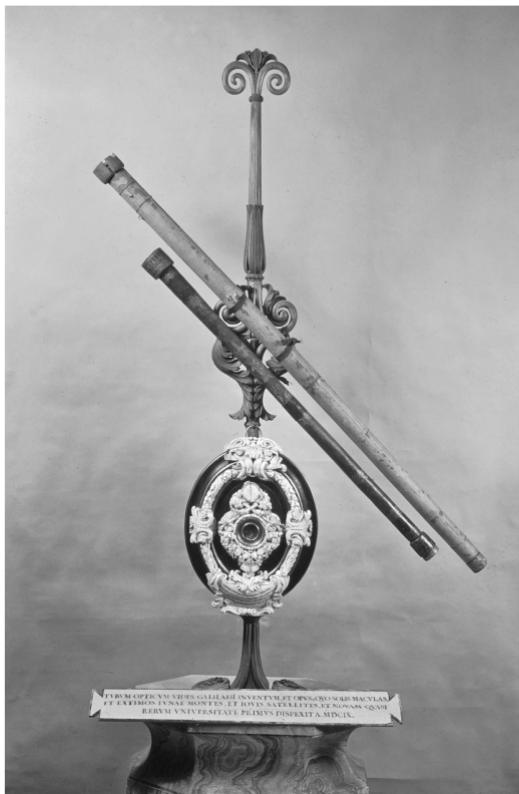
Галилео Галилей

В Средние века оптика продолжала развиваться на Востоке, а затем и в Европе. Однако каких-либо новых существенных результатов за этот длительный период в жизни человечества получено не было. Единственным важным достижением стало изобретение в XIII в. очков. Но это изобретение существенным образом не повлияло на развитие теоретической оптики.

Лишь позднее оптические приборы начали использовать в более широких масштабах. Толчок к этому дало развитие астрономии. Но, как ни парадоксально прозвучит, помочь в познании макромира помогли наблюдения за микромиром. Нидерландский натуралист Антони ван Левенгук загорелся идеей исследовать животный мир при помощи увеличительных приборов. Он был искусным шлифовальщиком стекла и смог изготовить первый свой микроскоп, в который разглядывал каплю воды. И обнаружил в ней мельчайшие организмы. Увиденное до такой степени поразило воображение Левенгука, что он задался целью создать еще более совершенные микроскопы. Его лучшие творения, которые, кстати, дошли до наших дней, давали увеличение до 300 раз! Но если законы оптики давали возможность увидеть столь мелкие предметы, то обратить всевидящее око в безграничное небо было делом техники.

Для изучения звездного неба потребовались мощные телескопы, которые могли значительно расширять угол зрения, а значит, давать более крупное изображение небесных тел. Все более совершенная оптика помогла ученым-звездочетам сделать множество сенсационных открытий.

Осенью 1609 г. профессор Падуанского университета, одного из старейших в Европе, итальянский физик, астроном Галилео Галилей проводил свободное время за шлифовкой линз. Разработав способ шлифовки линз для астрономических наблюдений, Галилей создал первый телескоп. Узнав об изобретенной в Голландии «волшебной трубе», устройстве из двух линз, что позволяло втрое приближать далекие объекты, он за несколько месяцев радикально усовершенствовал оптическое приспособление. Подзорные трубы голландских мастеров из очковых стекол имели диаметр 2–3 см и давали увеличение в 3–6 раз. Галилей добился 30-кратного увеличения. Его труба имела длину 1245 мм. Объективом была выпуклая очковая линза диаметром 53 мм.



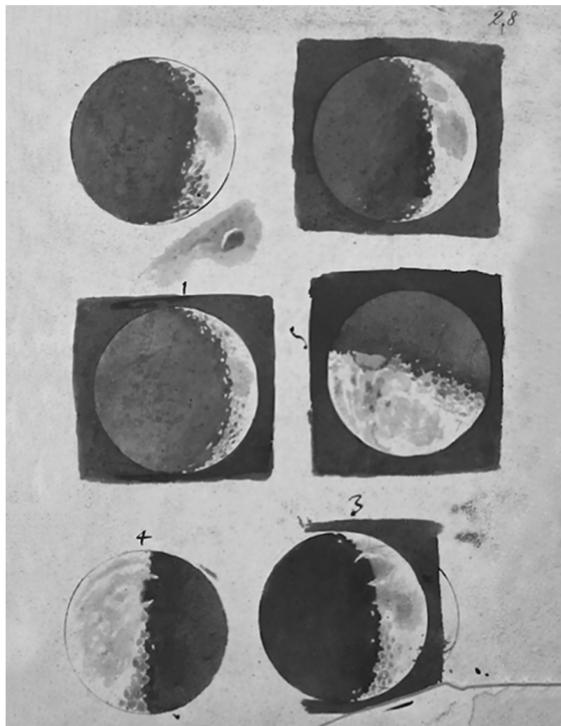
Телескоп Галилея

Плоско-вогнутый окуляр имел оптическую силу 25 диоптрий. Телескоп Галилея был на порядок мощнее и лучше всех зрительных труб того времени.

Технологию шлифовки линз Галилей долго держал в секрете, чтобы конкуренты не смогли опередить его в открытиях. Но даже у лучшего из телескопов Галилея диаметр объектива составлял всего 37 мм, при фокусном расстоянии 980 мм он давал очень бледное изображение. Хотя это не мешало наблюдать Луну, планеты и звездные скопления, но увидеть в него туманности было затруднительно. Галилей изготовил около десятка телескопов по заказам высоких духовных и светских персон. Телескопы Галилея были самыми совершенными для своего времени, но продавал

он их только своим покровителям, а не конкурентам – астрономам и оптикам. Вежливый отказ получил даже император Рудольф II, при дворе которого работал большой поклонник Галилея – немецкий астроном Иоганн Кеплер.

Надо ли нам винить Галилея в таких предосторожностях? Может быть, лучше разберемся в правилах того времени, когда ученый делал свои открытия? Охрана цеховых секретов была повсеместной нормой. Заветные сведения передавались от отца к сыну, и даже внутри цеховых объединений существовала большая конкуренция. Вот краткий пример из правил деятельности знаменитых стеклодувов с острова Мурано близ Венеции: «Если какой-нибудь рабочий или мастер перенесет свое искусство из Венеции в другое место в ущерб республике, ему будет выслан приказ вернуться.



Фазы Луны, рисунок Галилео Галилея (музей Галилея, Флоренция)