

*Из истории науки*

УДК 141.201

DOI: 10.15372/PS20230108

**С.Б. Бондаренко****МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ И ОБЪЯСНЕНИЯ  
В ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКЕ**

В статье производится философский анализ методов описания и объяснения свойств света в геометрической оптике. Раскрываются причины и факторы, оказавшие определяющее влияние на методологию описания и объяснения в геометрической оптике.

*Ключевые слова:* свойства света; геометрическая оптика; натуральные эксперименты; описание; объяснение

**S.B. Bondarenko****METHODS OF DESCRIPTION AND EXPLANATION  
IN GEOMETRIC OPTICS**

The article provides a philosophical analysis of the methods for describing and explaining the properties of light in geometric optics. The causes and factors that have had a defining effect on the methodology of description and explanation in geometric optics are revealed.

*Keywords:* properties of light; geometric optics; natural experiments; description; explanation

Геометрическая оптика – начальный раздел физической оптики с ограниченной областью применимости (отражение и преломление лучей света, оптическая система глаза и т.п.). Древние философы размышляли о природе света и тени. Античные ученые, пытаясь познать тайну света, разрабатывали учения о свете в структуре создаваемых ими философских систем [4; 5]. В философских учениях

на основе метафизических картин мира происхождение и распространение света объяснялись либо как поток невидимых частиц, либо как особое состояние среды. В качестве средств познания света использовались метафизические категории (огонь у Гераклита, воздух у Анаксимена, стихии у Аристотеля, атомы у Демокрита, гомеомерии у Анаксагора).

Геометрическая оптика возникла в Древней Греции [16; 18]. Новый подход к познанию свойств света предложил Евклид. Геометрия Евклида – это не философская система. Аксиомы геометрии Евклида задают правила оперирования геометрическими объектами и не содержат картины мира. Евклид применил геометрические понятия к описанию свойств света, и для этого потребовалось ввести понятие светового луча. В геометрии Евклида нет понятия светового луча, и это понятие невозможно логически вывести из аксиом геометрии. Понятие светового луча Евклид использует в работах по оптике. Описание светового луча посредством прямых линий евклидовой геометрии положило начало развитию геометрической оптики. Евклид применяет геометрию для постановки и решения задач физической оптики, сохраняя за геометрией самодостаточность. В евклидовой оптике описание свойств света дается без обращения к какой-либо античной философской системе, так как аксиомы и понятия геометрии допускают возможность эмпирической интерпретации.

М. Льюэци высоко оценил заслуги основателя геометрии в физической оптике: «Евклид создал модель прямолинейного светового луча, остающуюся основой современной геометрической оптики, и первым дал рациональное объяснение образования изображений в плоских и сферических зеркалах» [9, с. 23]. Льюэци назвал Евклида великим ученым-физиком. Важно подчеркнуть, что «рациональное объяснение», о котором пишет Льюэци, есть метод геометрического объяснения распространения света. Геометрические построения в евклидовой оптике служат средством экспликации причины появления тени.

Геометрические объяснения с помощью законов евклидовой оптики зависели от эмпирической интерпретации геометрических понятий и не требовали обращения к таинственным богам античных мифов и абстрактным представлениям античных философов. Евклид на основе простых опытов выдвинул предположение о двух законах геометрической оптики: законе прямолинейного распро-

странения света в однородной среде и законе отражения света. Законы геометрической оптики дают формализованные универсальные способы описания распространения и отражения световых лучей без характеристики материальной субстанции света. В геометрии Евклида теоремы доказываются дедуктивным методом, но нет дедуктивных доказательств законов геометрической оптики. У Евклида не было общих идеалов научного доказательства [2].

По своей сути геометрические описания и объяснения имеют антиметафизический характер. Позитивисты XIX–XX вв. (О. Конт, А. Пуанкаре, М. Шлик, Р. Карнап и др.) подвергли основательной критике метафизические системы и выдвинули в качестве необходимого критерия научности эмпирическое происхождение и прямую верифицируемость физического знания. Но геометрическая оптика – это не часть позитивистской эпистемологии, и она не в полной мере соответствует позитивистским идеалам. Понятия геометрической оптики констатируют существование объектов, наблюдаемых средствами чувственного познания: светового потока и луча, объемного и точечного источника света, постоянной и изменчивой тени.

По пути Евклида в оптике пошли античные математики и механики: Архимед Сиракузский, Герон Александрийский, Клавдий Птолемей и др. Они не стали создавать философских систем. Косвенные свидетельства подтверждают непосредственное участие Архимеда в проектировании и строительстве Александрийского маяка, в создании и установке сферических бронзовых зеркал на его верхней площадке. Историки античной техники не сомневаются в том, что строители использовали новейшие технологии Архимеда (блоки, винты, редукторы, краны). Архимед знал о зажигательной способности сферических зеркал, о которой упоминал Евклид. Геометрические модели распространения и отражения света использовали при строительстве больших зеркал, состоящих из множества маленьких зеркал, на Александрийском маяке.

Клавдий Птолемей, продолжая дело Евклида, применил геометрию в астрономии и оптике. Но непонимание специфики описания и объяснения в геометрической оптике приводило его к неверным представлениям и опасным заблуждениям. При изучении преломления света Птолемей ставил теорию над экспериментом, пытался подогнать экспериментальные данные под теорию, исходя из неверного истолкования соотношения теории и эксперимента в геометрической оптике. Он пытался доказать, что закон преломления

света состоит в пропорциональном отношении угла преломления к углу падения. Хотя Птолемей отказался от некоторых натурфилософских доктрин, он не понял, что геометрическая оптика прокладывала новый путь в методологии физического познания.

Р. Ньютон подверг обстоятельной критике астрономические работы Птолемея, обвинив того в умышленном и системном подлоге. Он попытался объяснить мотивы Птолемея, отметив при этом, что «истинных мотивов мы никогда не узнаем» [11, с. 365]. В качестве возможных мотивов Р. Ньютон предположил, что Птолемей либо был последователем религиозного учения, либо хотел достигнуть славы великого астронома. Учитывая работы Птолемея по оптике можно полагать, что Птолемей поверил в своеобразную геометрическую религию, основоположником которой он считал Евклида, и фанатично обосновывал в духе Платона геометрическую мистику, придавая «Началам» Евклида сакральный смысл и статус.

Оптика – экспериментальная наука. История геометрической оптики – это последовательная во времени цепочка выдающихся натуральных экспериментов со светом и их конечных результатов. В геометрической оптике никто не запрещал проведения натуральных экспериментов со световыми лучами и применения индукции. Изучение истории оптики показывает, что ученые во все времена не могли знать, какой будет оптика в будущем, и тем не менее в геометрическую оптику не допускались ссылки на интуицию, здравый смысл, суеверия, предрассудки, приметы, слухи. История геометрической оптики демонстрирует отсутствие врожденных знаний о свойствах света и плодотворность индуктивных методов, которые некоторые ультрамодные философы подвергли презрительной критике.

Непосредственных эмпирических доказательств прямолинейного распространения света в любых направлениях античные ученые не сумели представить. Впервые надежное экспериментальное доказательство прямолинейности распространения света предложил средневековый ученый Альхазен. Он использовал свет свечи, что свидетельствовало об отказе от мистификации солнечного света. Альхазен приставлял к глазу длинную трубку и смотрел через нее на зажженные свечи. Закрывая удаленное от глаза отверстие трубки, экспериментатор сделал исторический вывод: луч света распространяется по прямой линии от внешнего источника света к нашему глазу.

Для достоверности результатов эксперимента Альхазен собрал группу своих учеников и по сути организовал лабораторию по оп-

тике. Ученый объяснил возникновение световых ощущений прохождением светового луча через хрусталик и стекловидное тело до сетчатки, от которой свет в виде духовного образа (он использовал популярное в восточном мистицизме представление о движущихся духовных сущностях) по полой трубке в голове человека поступает в головной мозг. Он создал знаменитый трактат о свете, содержащий описания экспериментов по геометрической оптике и строения глаза.

Потребовалось около 1500 лет лучшим ученым для совершенствования методов описания и объяснения свойств света в геометрической оптике. Альхазен понял необходимость строгого экспериментального доказательства прямолинейности распространения света. Свет от свечи он изобразил в виде пучка лучей, испускаемых пламенем. Альхазен сформулировал понятие точечного характера источника света и обосновал два закона геометрической оптики: закон независимого распространения световых лучей, исходящих от одного источника света, и закон постоянства скорости света в однородной среде. Д. Линдберг подчеркнул, что теория света Альхазена стала доминировать в западной науке [17, р. 315]. Альхазен внес в методологию изучения света веру в силу экспериментального метода, показал ошибочность натурфилософских объяснений, предложил новые методы описания и объяснения свойств света (он рассматривал пламя свечи как множество точечных источников света). Альхазен изучил известные сочинения по оптике и продемонстрировал возможность успешной работы исследовательского коллектива во главе с опытным руководителем.

В физическом познании формировалось специализированное научное сообщество по проблемам оптики, участники которого проводили исследования свойств света и написали научные труды по оптике. Постепенно специализированное научное сообщество по оптике распадается на многочисленные специализированные субсообщества. В геометрической оптике происходит разделение описания и объяснения, раскрывается их внутреннее неразрывное единство, показывается определяющее значение экспериментального метода исследования. Ф. Мавролик, Дж. дела Порта, Ф. Гримальди расширяют границы применимости геометрической оптики. М.А. де Домини подвергает критике натурфилософские объяснения возникновения радуги у Аристотеля и Сенеки. Он ставит эксперименты с висящими шарами, наполненными водой, и дает геометрическое

объяснение первичной и вторичной радуг, возникающих при освещении шаров световыми пучками. В. Снелл, анализируя оптические эксперименты, записывает приближенный закон преломления света.

Значительный вклад в развитие геометрической оптики и ее методологии внес И. Кеплер [1; 8; 16]. Он основательно изучил сочинения по оптике Евклида, Птолемея, Альхазена, дела Порты и др. Кеплер ввел понятия фокуса линзы, оптической линии, оптического центра, вывел формулу тонкой линзы. Он объяснил различия изображений на экране и на сетчатке глаза. Новый комплекс понятий изменил средства описания и объяснения, так как раскрывалось значение среды, и в частности линзы, в которой распространялся световой луч. Зародилась тенденция ослабления роли геометрии в физической оптике, реализующая имплицитную физическую идею о недостаточности геометрических понятий для познания природы света. Отказ от метафизических систем и категорий в геометрической оптике привел к постановке проблемы поиска новых физических понятий, законов, моделей, теорий. Потребность в новых физических знаниях стимулировала распространение законов и формул геометрической оптики на акустику и другие разделы физики.

Несмотря на развитие геометрической оптики, модель описания состояла из двух частей. В первой части средствами геометрии (точки, линии, плоскости, сферы и т.п.) исследователь изображал конкретную эмпирическую ситуацию, в которой выделялся путь распространения луча света, в виде простого графического рисунка в трехмерном пространстве, но чаще на плоскости. Во второй части на языке геометрической оптики записывался краткий понятийно-терминологический текст о графическом рисунке. Объяснения в геометрической оптике эксплицировали в виде краткого текста правила, обоснованного законами геометрической оптики, и графического изображения распространения света. В объяснениях использовались законы геометрической оптики без каких-либо теорий об их происхождении или субстанции. Отказ от метафизических доктрин не требовал абсолютного отказа от поиска физического объяснения того, почему световой луч подчиняется этим законам.

Решение проблемы физического понимания природы света и законов геометрической оптики зависело от решения вопроса о величине скорости света. Если скорость света принималась бесконечной, то время в описаниях и объяснениях геометрической оптики не

фигурировало. Однако нужны были экспериментальные доказательства. Альхазен предполагал конечность скорости света. Г. Галилей попытался измерить скорость света, но его опыт показал, что она по земным меркам огромна. Геометрическая оптика отличалась от механики, в которой применялись понятия времени, скорости, ускорения, силы, массы. В принципе Ферма выражена универсальная гипотеза, исходящая из математической теории экстремальных величин: при движении света из одной среды в другую время минимально. Принцип Ферма не противоречил законам геометрической оптики и допускал распространение луча света по кратчайшему пути, т.е. по прямой линии. Таким необычным для физики способом П. Ферма ввел в геометрическую оптику понятие времени и представление о конечной скорости распространения светового луча.

В XVII в. западно-европейское общество начинает понимать значение науки и осознавать сложность научных исследований, растет интерес к геометрической оптике. Профессиональные исследователи света были большой редкостью, поэтому специализированное научное сообщество по геометрической оптике в XVII в. представляло собой малочисленную группу ученых, живших в разное время и оставивших труды по оптике. Как нейтрализовать действие субъективных факторов при организации и проведении научного исследования с целью достоверного описания свойств света? У ученых, живущих в разное время, были различные интересы, потребности, ценности, идеалы, умения, привычки, вкусы. Систематического изучения методологии оптики не проводилось. Например, спор по проблемам оптики между Декартом и Ферма отражал разные теории движения [3]. Ферма обосновывал минимальное время движения света из одной среды в другую математизированным натурфилософским представлением о максимальной бережливости: природа ничего зря не расточает [13, с. 133]. В геометрической оптике ученые копировали успешные методы исследования свойств света и производили их дальнейшую модернизацию.

После открытия в 1668 г. Парижской Академии наук король Франции Людовик XIV пригласил Д. Кассини, известного итальянского астронома, на должность директора Парижской обсерватории. Указ короля ограничивал мировоззренческие дискуссии в обсерватории и предписывал сосредоточиться на астрономических наблюдениях. Сотрудники обсерватории получали солидное королевское жалование.

Д. Кассини с 1664 г. начал наблюдение планет с помощью мощных и качественных телескопов, изготовленных выдающимся итальянским мастером Д. Кампани. Кассини сделал сенсационные астрономические открытия. В 1668 г. он составил таблицы движения спутников Юпитера и предположил, что неравенства в движениях спутников можно объяснить конечностью скорости распространения света: половину диаметра земной орбиты свет проходит за 11 минут. Но Кассини отдавал предпочтение авторитетным консервативным теориям и поэтому отверг собственное предположение о конечности и величине скорости света. Он поручил датскому астроному О. Ремеру изучить движение спутников Юпитера. В 1676 г. Ремер измерил скорость света, используя стандартную модель геометрической оптики, применяемую при описании лабораторных оптических экспериментов [15]. Успешное применение стандартной модели описания распространения света, разработанной в геометрической оптике, в астрономических исследованиях способствовало укреплению доверия ученых к геометрической оптике.

И. Ньютон предложил решение проблемы единства физики, связал механику и оптику, создал единый понятийный аппарат физики. Механика Ньютона задает эмпирически проверяемый способ оперирования абстрактными объектами – материальными точками. В оптике Ньютон ввел представление о корпускулярной природе света.

Можно ли назвать геометрическую оптику сложившейся физической теорией? В современной методологии физики нет строгих критериев идентификации физических теорий. Из истории физики известно о разнообразии видов физических теорий. Поэтому не будет методологической ошибкой, если геометрическую оптику признать полноценной физической теорией со специфическими понятиями, законами, моделями, задачами, экспериментальными данными, выполняющей функции описания и объяснения.

История геометрической оптики отчетливо демонстрирует фундаментальное значение методологии. Научное исследование невозможно провести спонтанно, хаотично, мгновенно, виртуально. На подготовительном этапе научного исследования стоят такие задачи: сформулировать проблему и цель исследования; договориться о совокупности стандартных методических требований специализированного научного сообщества, синхронное выполнение которых необходимо для достижения поставленной цели и проведения за-



планированных действий; определить оптимальные условия для проведения научного исследования с учетом ситуации; разработать план и порядок действий; выбрать язык для записи познавательных действий и результатов; приготовить и изучить технические средства; собрать и проанализировать имеющуюся информацию о предмете исследования с учетом поставленной цели. Какая-то мистическая самоорганизация методологических принципов при проведении научного исследования невозможна. Натуральные эксперименты требуют синхронного выполнения методических инструкций для реализации стандартной модели научного эксперимента. Споры о методологии науки, и особенно физики, не прекращаются. В XX в. в философии науки появились понятия этоса [10], парадигмы [6], сети [7], неявного знания [12], мегатеории [14].

## Литература

1. Араго Ф. Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2000. Т. 1. 496 с.
2. Бондаренко С.Б. Развитие идеи научного доказательства // Философия науки. 2020. № 4 (87). С. 3–14.
3. Декарт Р. Мир, или Трактат о свете // Декарт Р. Соч.: В 2-х т. М.: Мысль, 1989. Т. 1. С. 179–249.
4. Диоген Лаэртский. О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов. М.: Мысль, 1979. 620 с.
5. Кессиди Ф. От мифа к логосу: Становление греческой философии. 2-е изд. СПб.: Алтейя, 2003. 360 с.
6. Кун Т. Структура научных революций. М.: АСТ, 2009. 317 с.
7. Латур Б. Наука в действии. СПб.: Изд-во Европейского университета, 2013. 414 с.
8. Линник В.П. Труды Кеплера в области оптики (к 400-летию со дня рождения) // Успехи физических наук. 1973. Т. 109, вып. 1. С. 167–174.
9. Льюис М. История физики. М.: Мир, 1970. 464 с.
10. Мертон Р.К. Социальная теория и социальная структура. М.: АСТ, 2006. 873 с.
11. Ньютон Р.П. Преступление Клавдия Птолемея. М.: Наука, 1985. 384 с.
12. Полани М. Личностное знание. М.: Прогресс, 1985. 344 с.
13. Розенбергер Ф. История физики. Москва, Ленинград: ГТТИ, 1933. Ч. 2. 342 с.
14. Achinstein P. Concepts of Science. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1968. 279 p.
15. Bobis L., Lequeux J. Cassini, Romer and the velocity of light // Journal of Astronomical History and Heritage. 2008. No. 11 (2). P. 97–105.
16. Darrigol O. A History of Optics: From Greek Antiquity the Nineteenth Century. Oxford: Oxford University Press. 2012. 327 p.

17. *Lindberg D.C.* The Beginnings of Western Science. Chicago: University of Chicago Press, 1992. 455 p.
18. *Vohnsen B.* A short history of optics // *Physica Scripta*. 2004. Vol. 109. P. 75–79.

## References

1. *Arago, F.* (2000). Biografii znamenitykh astronomov, fizikov i geometrov [Biographies of Distinguished Scientific Men], Vol. 1. Izhevsk, Scientific-Publishing Center “Regularnaya i Khaoticheskaya Dinamika” [“Regular and Chaotic Dynamics”], 496. (In Russ.).
2. *Bondarenko, S.B.* (2020). Razvitie idei nauchnogo dokazatelstva [The development of the idea of scientific proof]. *Filosofiya nauki*, 4 (87), 3–14.
3. *Descartes, R.* (1989). *Mir, ili Traktat o svete* [The World, or Treatise on Light]. In: Descartes, R. *Sochineniya: V 2 t.* [Works: in 2 vols], Vol. 1. Moscow, Mysl Publ., 179–249. (In Russ.).
4. *Diogenes Laertius.* (1979). *O zhizni, ucheniyakh i izrecheniyakh znamenitykh filozofov* [On the Life, Teachings and Sayings of Famous Philosophers]. Moscow, Mysl Publ., 620. (In Russ.).
5. *Kessidi, F.* (2003). *Ot mifa k logosu: Stanovlenie grecheskoy filosofii* [From Myth to Logos: The Formation of Greek Philosophy]. 2<sup>nd</sup> ed. St. Petersburg, Aleteya, 360.
6. *Kuhn, T.* (2009). *Struktura nauchnykh revolyutsiy* [The Structure of Scientific Revolutions]. Moscow, AST Publ., 317. (In Russ.).
7. *Latour, B.* (2013). *Nauka v deystvii* [Science in Action]. St. Petersburg, European University Publ., 414. (In Russ.).
8. *Linnik, V.P.* (1973). *Trudy Keplera v oblasti optiki (k 400-letiyu so dnya rozhdeniya)* [Kepler's works in the field of optics (to the 400th anniversary of his birth)]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in Physical Sciences], Vol. 109, Iss. 1, 167–174.
9. *Gliozzi, M.* (1970). *Istoriya fiziki* [History of Physics]. Moscow, Mir Publ., 464. (In Russ.).
10. *Merton, R.K.* (2006). *Sotsialnaya teoriya i sotsialnaya struktura* [Social Theory and Social Structure]. Moscow, AST Publ., 873. (In Russ.).
11. *Newton, R.R.* (1985). *Prestuplenie Klavdiya Ptolemeya* [The Crime of Claudius Ptolemy]. Moscow, Nauka Publ., 384. (In Russ.).
12. *Polanyi, M.* (1985). *Lichnostnoe znanie* [Personal Knowledge]. Moscow, Progress Publ., 344. (In Russ.).
13. *Rozenberger, F.* (1933). *Istoriya fiziki* [History of Physics], Part 2. Moscow & Leningrad, Gosudarstvennoe Tekhniko-Teoreticheskoe Izdatelstvo [State Technical and Theoretical Publishing House], 342. (In Russ.).
14. *Achinstein, P.* (1968). *Concepts of Science*. Baltimore, Johns Hopkins Press, 279.
15. *Bobis, L. & J. Lequeux.* (2008). Cassini, Romer and the velocity of light. *Journal of Astronomical History and Heritage*, 11 (2), 97–105.
16. *Darrigol, O.* (2012). *A History of Optics: From Greek Antiquity to the Nineteenth Century*. Oxford, Oxford University Press, 327.
17. *Lindberg, D.C.* (1992). *The Beginnings of Western Science*. Chicago, University of Chicago Press, 455.
18. *Vohnsen, B.* (2004). *A short history of optics*. *Physica Scripta*, 109, 75–79.

**Информация об авторе**

*Бондаренко Станислав Борисович* – Курский государственный университет  
(305000, Курск, ул. Радищева, 33).  
bondsб@rambler.ru

**Information about the author**

*Bondarenko, Stanislav Borisovich* – Kursk State University (33, Radishchev st.,  
Kursk, 305000, Russia).  
bondsб@rambler.ru

Дата поступления 02.12.2022