

Примечания*

¹ Речь, произнесенная 13 августа 1946 г. перед студентами Геттингенского университета. Первая публикация: Heisenberg W. *Wissenschaft als Mittel zur Verständigung unter den Völkern*//Heisenberg W. *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*. Stuttgart, 1959. Русский перевод: Гейзенберг В. Философские проблемы атомной физики. М., ИЛ, 1953.

² Речь, произнесенная 13 августа 1949 г. на праздновании 100-летнего юбилея Максимилиановской гимназии в г. Мюнхене. Первая публикация: Heisenberg W. *Über das Verhältnis der Humanität, Naturwissenschaften und Abendland*//Heisenberg W. *Das Naturbild der heutigen Physik*. Rowohlt's deutsche Enzyklopädie, Bd. 8. Hamburg, 1955, S. 36—46.

³ В. Гейзенберг имеет в виду неформальную молодежную организацию, стихийно возникшую в Германии после поражения 1918 г. Главным занятием «молодежного движения» были многодневные туристические походы, собирание и исполнение народных песен, поощрение и развитие народных ремесел, организация и комплектование народных университетов и школ. Участниками движения был негласно принят трезвенный и простой образ жизни. Гейзенберг неоднократно руководил походами, вел в Мюнхене курсы астрономии и классической музыки для рабочего населения.

⁴ Речь идет о книге древнегреческого историка Ксенофonta (конец V—начало IV в. до н. э.) «Анабасис», в которой описывается поход греческого войска в глубь Малой Азии.

⁵ Первая публикация на датском языке в книге: N. Bohr. Hans liv og virke fortalt af en kreds af venner og medarbejdere. København, 1964. Первый русский перевод с датского языка Ю. С. Памфилова опубликован в сборнике: Н. Бор. Жизнь и творчество. М., «Наука», 1967, с. 5—20. Настоящий перевод сделан с немецкого языка по публикации: Heisenberg W. Erinnerungen an Niels Bohr aus den Jahren 1922—1927//Heisenberg W. Schritte über Grenzen. Gesammelte Reden und Aufsätze. München, 1973, S. 52—70.

⁶ Основополагающие работы Э. Шредингера были опубликованы в начале 1926 г., в «Annalen der Physik». Русский перевод: Шредингер Э. Квантование как задача о собственных значениях//Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М., «Наука», 1976, с. 9—50, 75—138.

⁷ В основе статьи лежит текст доклада, прочитанного В. Гейзенбергом 26 мая 1975 г. в Геттингене. Первая публикация: Heisenberg W. Tradition in der Wissenschaft. Reden und Aufsätze. München, 1977, S. 43—60.

* Составители примечаний: А. Ахутин, В. Бибихин, А. Кожевников.

⁸ Карл Болин (K. Bohlin) — шведский астроном. В 1888 г. предложил приближенный метод решения частного случая задачи многих тел в небесной механике (Bohlin K. Über eine neue Annäherungsmethode in der Störungstheorie//Bihand till Kungl. Svenska Vetenskap Akademiens Handlinger. Stockholm, 1888, Afd. I, № 5, v. 14. Метод Болина был использован М. Борном и В. Гейзенбергом в статье: Born M., Heisenberg W. Über Phasenbeziehungen bei den Bohrschen modellen von Atomen und Molekülen//Z. f. Physik. 1923, Bd. 14, S. 44—55.

⁹ Born M. Über Quantenmechanik//Z. f. Physik, 1924, Bd. 26, 379—395. Русск. перев.: Борн М. О квантовой механике//Борн М. Размышления и воспоминания физика. М., «Наука», 1977, с. 133.

¹⁰ Thomas W. Über die Zahl der Dispersionselektronen, die einem stationären Zustande sugeordnet sind//Die Naturwissenschaften. 1925. Bd. 13, S. 627. Kuhn W. Über die Gesamtstärke der von einem Zustande ausgehenden Absorptionslinien//Z. f. Physik. 1925. Bd. 33, S. 408—412. Born M., Jordan P. Zur Quantenmechanik//Z. f. Physik. 1925. Bd. 34, S. 858—888.

¹¹ Борн М., Йордан П. О квантовой механике//УФН, т. 122, вып. 4, 1977, с. 586—611.

¹² В. Гейзенберг делал в Кембридже доклад на заседании семинара молодых физиков, организованном П. Л. Кащицей, работавшим в Англии у Резерфорда в 1921—1934 гг. П. Дирак участвовал в заседаниях «клуба Кашицы», как называли этот семинар. Действительно ли темой доклада была новая работа Гейзенberга по квантовой механике, вопрос спорный. Во всяком случае, Дирак начал заниматься этими проблемами только осенью, когда ознакомился с текстом статьи Гейзенберга. Русский перевод статьи П. Дирака «Основные уравнения квантовой механики» опубликован в УФН (прим. 11), с. 611—621.

¹³ Born M., Heisenberg W., Jordan P. Zur Quantenmechanik. II//Z. f. Physik. 1926, Bd. 35, S. 557—615.

¹⁴ В основу статьи положен текст доклада, прочитанного В. Гейзенбергом 27 июля 1974 г. в Ульме, в доме Эйнштейна. Первая публикация: Heisenberg W. Begegnungen und Gespräche mit Albert Einstein//Heisenberg W. Tradition in der Wissenschaft, S. 111—125.

¹⁵ Эйнштейн А. Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света (1905 г.); Эйнштейн А. К теории возникновения и поглощения света (1906 г.)//Эйнштейн А. Собрание научных трудов в четырех томах. М., «Наука», 1966. Т. III, с. 92—107, 128—133.

¹⁶ Первая публикация на английском языке: Heisenberg W. Development of concepts in the history of quantum theory//The Physicist's Conception of Nature, ed. by J. Mehra. Dordrecht—Boston, 1973, p. 264—275.

¹⁷ Это противоречие снимается в квантовой механике с помощью принципа «суперпозиции состояний». Состояние атома, которое не изменяется, если применить крайне слабое поле, можно, однако, представить как суперпозицию двух состояний с вращательным моментом, определенным относительно двух разнонаправленных осей. Изменение поля изменяет «вес» соответствующего состояния.

¹⁸ Гильбертово пространство — это бесконечномерное линейное пространство, в котором определено скалярное произведение элементов (векторов) и выполняются требования полноты и сепа-

бельности. В квантовой механике его впервые применил Ф. Лондон в 1926 г., а И. фон Нейман положил его в основу всего математического формализма теории (И. Нейман фон. Математические основы квантовой механики. М., 1964. Первое издание — 1932 г.). Вероятности того или иного значения физической величины определяются коэффициентами разложения вектора по базису, соответствующему этой величине.

¹⁹ Dirac P. The quantum theory of the electron//Proc. Roy. Soc., L., A 117, p. 610—624; A 118, p. 351—361 (1928). Русский перевод: Труды Института истории естествознания и техники. 1959. Т. 22, с. 32—68.

П. Дирак получил здесь релятивистское уравнение для волновой функции свободной частицы со спином $\frac{1}{2}$. Решение этого уравнения для покоящейся частицы предполагает состояние с отрицательной энергией. Для уравнения электрона это состояние можно было интерпретировать как указание на существование положительно заряженного «двойника», в качестве которого первоначально предполагали протон. Позитрон был предсказан Дираком позже, в 1931 г. В 1932 г. экспериментально обнаружен в космических лучах К. Андерсоном. См. прим. 54.

²⁰ Изоспин (изотопический спин), одна из внутренних характеристик (квантовых чисел) адронов, определяющих число зарядовых состояний адрона.

В. Гейзенберг поддерживает здесь сравнительно новую тогда идею о спонтанном нарушении симметрии в калибровочных теориях элементарных частиц (в данном случае — в электродинамике). В 1983 г. основанная на этих идеях единая теория электромагнитных и слабых взаимодействий (теория Вайнберга — Салама) была экспериментально доказана.

²¹ Симметрию можно определить как инвариантность относительно некоторого преобразования. Так, например, квадрат обладает поворотной симметрией, потому что переходит сам в себя при поворотах на углы, кратные 90° . Фундаментальные законы природы остаются инвариантными при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой (релятивистская инвариантность или симметрия относительно Лоренцевой группы преобразований). $SU(2)$ -симметрия основана на том, что сильное взаимодействие частиц не меняется при замене протонов на нейтроны (или u-кварка на d-кварк); $SU(3)$ — на том, что u- и d-кварки взаимозаменяемы с s-кварком. Эти симметрии в действительности справедливы лишь приближенно. РСТ-симметрия — инвариантность фундаментальных законов природы при таком преобразовании, когда одновременно от «правой» системы координат переходят к «левой», изменяют направление времени и заряды всех частиц на противоположные.

²² Речь, произнесенная 3 июля 1964 г. на холме Пникс, древнем месте народных собраний возле Акрополя в Афинах. Первая публикация на немецком и английском языках: Heisenberg W. Das Naturgesetz und die Struktur der Materie//Meilensteine des Denkens und Forschens. Stuttgart, 1967.

²³ При столкновении быстрых частиц могут рождаться новые частицы, суммарная масса которых может превышать массу исходных частиц. Увеличение массы происходит за счет уменьшения суммарной кинетической энергии частиц. Масса и энергия связаны формулой Эйнштейна $E=mc^2$. Теория относительности ставит на место двух независимых законов сохранения — массы и энергии — один закон сохранения массы-энергии.

²⁴ См. прим. 21. Для теории относительности недостаточно одного требования релятивистской инвариантности, нужен еще постулат о направлении передачи взаимодействия (от прошлого к будущему) и о максимальной его скорости. Это и есть релятивистский принцип причинности.

²⁵ Так Сократ отвечает софисту Калликлу в диалоге Платона «Горгий» (491 а—с).//Платон. Сочинения в трех томах. М., «Мысль», 1968. Т. 1, с. 317.

²⁶ Неустранимая «двуязычность», двумерность физической теории, в которой конструктивные интуиции математического языка всегда дополняются понятийными интуициями языка естественного (лучше сказать, культурного), — глубокая и мало продуманная особенность теоретического мышления математической физики. Уяснение физического смысла предполагает не только математическое конструирование понятий и их экспериментальную интерпретацию, но и философский анализ смысла. См. по этому поводу главу «Дисциплина чистого разума» в разделе «Трансцендентальное учение о методе» кантовской «Критики чистого разума»//Кант И. Сочинения в шести томах. М., «Мысль», 1964. Т. 3, с. 597—617. См. также статью В. Гейзенберга «Язык и реальность в современной физике» — наст. изд., с. 208—225.

²⁷ Ср., например, понятия «сила», «работа», «энергия» в теоретической физике и в естественном языке.

²⁸ См. статью В. Гейзенберга «Философские взгляды В. Паули»—наст. изд., с. 283—289.

²⁹ Доклад, прочитанный 12 февраля 1952 г. в Сент-Галлене. Первая публикация: Heisenberg W. Atomforschung und Kausalgesetz//Universitas. 1954. 9. Jg., Heft 3, S. 225—236 (Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, m. b. H., Stuttgart).

³⁰ Кант И. Соч., т. 3, с. 263.

³¹ «Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движения величайших тел Вселенной наравне с движениями легчайших атомов: не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверным, и будущее так же, как и прошедшее, предстало бы перед его взором» (Лаплас П. С. Опыт философии теории вероятностей. М., 1908, с. 10).

³² «По установленному обычаю (убишу) сладкое и по обычаю горькое, по обычаю теплое, по обычаю холодное, по обычаю цветное, в действительности же — атомы и пустота». Этот фрагмент (B9 по изданию Г. Дильтя) передает Секст Эмпирик («Против ученых», кн. VII, 135//С. Эмпир ик. Сочинения в двух томах. М., «Мысль», 1975. Т. 1, с. 87). См. также: Лурье С. Я. Демокрит. Тексты. Перевод. Исследования. Л., Наука, 1970, с. 220, фр. 55.

³³ Идея дискретности атомных явлений утвердилась тоже не сразу. Сам Планк довольно долгое время отказывался применять ее для энергии осциллятора и к излучению. Он считал ее применимой только к процессам взаимодействия излучения с веществом. См.: Кихн T. Black-body theory and quantum discontinuity. N. Y., 1978. (Реп./Природа, 1981, № 3).

³⁴ Имеются в виду работы А. Эйнштейна 1905—1907 гг. о квantaх света и удельной теплоемкости, его работа 1917 г. о коэффициентах вероятности излучения, а также работы Н. Бора и А. Зоммерфельда по квантовой теории атома 1913—1917 гг.

³⁵ Соотношения неопределенностей В. Гейзенберг получил в 1927 г. и опубликовал в статье «О наглядном содержании квантово-теоретической кинематики и механики» (русский перевод — УФН, 1977. Т. 122, вып. 4, с. 651—671). Принцип дополнительности был сформулирован Н. Бором в том же году в работе «Квантовый постулат и новейшее развитие атомной теории» и разработан в последующих статьях//Бор Н. Избранные научные труды в двух томах. М., «Наука», 1971. Т. 2.

³⁶ Паскуаль Йордан (1902—1981) — физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. С начала 30-х годов публикует — помимо физических — работы о применении квантовой физики в биологии. См., в частности: Jordan P. Die Quantenmechanik und die Grundprobleme der Biologie und Psychologie//Naturwissenschaften, 1932, Bd. 20, S. 815. Jordan P. Physik und das Geheimnis der organischen Lebens. Berlin, 1945.

³⁷ Ко времени опубликования Д. И. Менделеевым «системы элементов» (17 февраля 1869 г.) было известно 63 элемента. Вскоре были открыты предсказанные Менделеевым галлий (1875 г.), скандий (1879 г.) и германий (1886). К настоящему времени в Таблицу включено 109 элементов, хотя последние из них представляют собой крайне неустойчивые продукты искусственного ядерного синтеза.

³⁸ В конце 40-х — 50-х гг. был открыт целый ряд новых нестабильных частиц: π -мезоны, K -мезоны, λ -гиперон. В то время когда была прочитана эта лекция (1952 г.), Гейзенберг пытался построить единую нелинейную спинорную теорию материи, которая охватывала бы все известные к тому времени элементарные частицы. См.: Гейзенберг В. Введение в единую полевую теорию элементарных частиц. М., «Мир», 1968 г. Ряд относящихся к этой теории работ опубликован также в русском переводе в сб.: Нелинейная квантовая теория поля. М., 1959 г.

³⁹ Так как все взаимодействия передаются со скоростью, не большей скорости света, то причинно зависеть от некоего события в точке О могут события только в тех точках четырехмерного пространства-времени, в которые успевает дойти световой сигнал из точки О. Эти события образуют область абсолютно будущего для события в точке О. Аналогично определяется область абсолютно прошлого, — область, откуда световой сигнал успевает дойти до точки О. Эти области разделены областью событий, которые не могут быть причинно связаны с событием в точке О, поскольку световой сигнал ни туда, ни оттуда дойти не успевает. В разных системах отсчета эти события могут происходить то раньше, то позже события в точке О. Поэтому их нельзя отнести ни к прошлому, ни к будущему.

⁴⁰ Бесконечности возникают так же, как и в классической электродинамике, из-за того, что используется представление о точечных частицах. Незадолго до этой речи Гейзенberга, в конце 40-х годов С. Томонага, Р. Фейнману, Ю. Швингеру, Ф. Дайсону удалось создать последовательные методы устранения бесконечностей в квантовой теории поля (так называемые «перенормировки»), при которых конечный результат получается после вычитания из одной бесконечности другой (см. сборник «Новейшее развитие квантовой электродинамики». М., 1954) но эти методы в течение ряда лет вызывали скептицизм у ряда физиков старшего поколения, в том числе, как видно, и у Гейзенберга.

⁴¹ Хотя для ряда открытых в последние десятилетия частиц

удавалось сравнительно точно предсказать значение их масс, общее объяснение спектра масс элементарных частиц остается и поныне одной из труднейших нерешенных проблем релятивистской квантовой физики.

⁴² Доклад на заседании Шведской Академии наук 24 апреля 1974 г. в Стокгольме. Первая публикация на английском языке: Heisenberg W. The role of elementary particle physics in the present development of science//“Documenta” der Stockholmer Akademie, 1974.

⁴³ В 1938—1939 гг. Г. Бете — американский физик немецкого происхождения — открыл основные циклы термоядерных реакций в звездах — водородный и углеродный (Нобелевская премия, 1967 г.). Последний цикл независимо открыл также К. Вейцзеккер. О. Ган — немецкий физик и радиохимик — совместно с Ф. Штрасманном открыл в 1938 г. явление деления ядер урана под воздействием медленных нейтронов (Нобелевская премия по химии, 1944 г.).

⁴⁴ Барионное число (барионный заряд) — одна из внутренних характеристик элементарных частиц, отличная от нуля для барионов («тяжелых» частиц, таких, как протон, нейtron, гипероны и др.) и равная нулю для всех остальных частиц. Лептонное число (лептонный заряд) характеризует лептоны (электрон, мюон, нейтрино и другие частицы, не обладающие сильным взаимодействием). Процессы превращения элементарных частиц подчиняются законам сохранения суммарных зарядов».

⁴⁵ Поляроном называют квазичастицу (электрон в кристалле вместе с поляризованной и деформированной им областью решетки), перемещающуюся по кристаллу как нечто целое. Экситон — квазичастица, соответствующая электронному возбуждению в кристалле диэлектрика, перемещающаяся по кристаллу, но не связанныя с переносом заряда и массы.

⁴⁶ Бозон — частица с нулевым или целочисленным спином в отличие от частиц с полуцелым спином — фермионов. Согласно квантовой теории поля, взаимодействие осуществляется путем обмена определенным видом бозонов. Так, носителем электромагнитных взаимодействий являются фотоны, слабых — W и Z — бозоны; носителем сильного взаимодействия долгое время считался π -мезон; с принятием квартовой модели эта роль перешла к глюонам.

⁴⁷ Э. Лоуренс (США) построил магнитный резонансный ускоритель частиц — циклотрон — в 1931 г. (Нобелевская премия, 1939 г.). Дж. Кокрофт и Э. Уолтон (Великобритания) сконструировали каскадный генератор в 1932 г. и осуществили на нем первую искусственную ядерную реакцию с ускоренными протонами — трансмутацию ядер лития (Нобелевская премия, 1951 г.).

⁴⁸ Синхрофазотрон в Дубне мощностью 10 ГэВ был запущен в 1957 г. В 1967 г. в Серпухове начал работу синхрофазотрон мощностью 76 ГэВ.

⁴⁹ Новые мощные ускорители частиц привели к важным открытиям. Так, в 1983 г. на протон-антипротонном коллайдере в ЦЕРН были открыты W -бозоны, и тем самым экспериментально доказана единая теория электромагнитного и слабого взаимодействий.

⁵⁰ Теорию групп в квантовой механике первыми стали применять Е. Вигнер (Wigner E. Gruppentheorie und ihre Anwendung auf der Quantenmechanik der Atomspektren, Braunschweig, 1931. Перевод: Вигнер Е. Теория групп и ее приложения к квантовомеханической теории спектров. М., ИЛ, 1961.), Г. Вейль (Weyl H.

Gruppentheorie und Quantenmechanik. Leipzig, 1928. Перевод: Вейль Г. Теория групп и квантовая механика. М., Наука, 1986) и ван дер Варден Б. Л. (van der Waerden B. L., Die gruppentheoretische Methode in der Quantenmechanik. Berlin, 1932. Перевод: Ван дер Варден Б. Л. Метод теории групп в квантовой механике. Харьков, ОНТВУ, 1938).

⁵¹ Кварки — более фундаментальный уровень, чем образованные из них адроны. Хотя кварки в свободном состоянии не наблюдаются, эта гипотеза оказалась настолько плодотворной, что в настоящее время сомнения в существовании кварков отпали. См.: Окуни Л. Б. Физика элементарных частиц. М., «Наука», 1984; Еитиро Намбу. Кварки. На переднем крае физики элементарных частиц. М., «Мир», 1984.

⁵² См. прим. 49. Прогноз Гейзенберга о существовании асимптотической области, где при увеличении энергии не будет наблюдаться никаких существенно новых явлений, не оправдался.

⁵³ Доклад на XIV Международной конференции по космическим лучам (18 августа 1975 г. в Мюнхене). Первая публикация на английском языке: Heisenberg W. Cosmic Radiation and Fundamental Problems in Physics//14. Internat. Cosmic Ray Conference, Conference Papers, vol. 11. München, 1975, p. 3461—3474 (Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik).

⁵⁴ Карл Д. Андерсон, американский физик, исследуя космические лучи, открыл в 1932 г. частицу с массой электрона, но с положительным электрическим зарядом, названную позитроном. В 1936 г. Нобелевский комитет присудил премию В. Гессу за открытие космических лучей и К. Андерсону за открытие позитрона в этих лучах. Английский физик Патрик М. Блэкетт вместе с итальянским физиком Джузеппе С. Оккиалини, соединив камеру Вильсона со счетчиком Гейгера, смогли в 1933 г. наблюдать позитроны намного более отчетливо, чем Андерсон. В 1948 г. П. Блэкетт также удостоился Нобелевской премии по физике.

⁵⁵ См. прим. 49 и 52.

⁵⁶ Доклад на заседании Немецкого физического общества 5 марта 1975 г. Первая публикация: Heisenberg W. Was ist ein Elementarteilchen?//Die Naturwissenschaften, 1976, Bd. 63, S. 1—7.

⁵⁷ В 1937 г. Энрико Ферми получил Нобелевскую премию по физике за открытие искусственной радиоактивности, обусловленной нейтронами. См. прим. 43.

⁵⁸ Речь идет о «втором противоречии транспондентальных идей», или о второй космологической антиномии И. Канта. Тезис этой антиномии: «Всякая сложная субстанция в мире состоит из простых частей, и вообще существует только простое или то, что сложено из простого». Антитезис: «Ни одна сложная вещь в мире не состоит из простых частей, и вообще в мире нет ничего простого». См.: Кант И., Соч., т. 3, с. 410—417.

⁵⁹ Г. Динглер (1881—1954) — немецкий философ, профессор Мюнхенского университета (с 1920 г.). Приводимое Гейзенбергом рассуждение Динглер развивает в кн.: Dingler H. Das Experiment. Sein Wesen und seine Geschichte. München, 1928.

⁶⁰ SU(3) — симметрия, или унитарная симметрия, основана на независимости сильного взаимодействия частиц от вида кварков (u -, d - и s -кварков). Она позволила предсказать существование ряда новых частиц и их свойств. Эта симметрия является только приближенной. SU(4) — аналогичная симметрия для четырех кварков

(u, d, s, c). Остальные упомянутые Гейзенбергом симметрии в настоящее время неактуальны.

⁶¹ Статья впервые опубликована в 1948 г. по инициативе В. Паули в швейцарском журнале "Dialectica". International review of philosophy of knowledge. Lausanna, 1948, v. 2, № 1.

⁶² Первая публикация: Heisenberg W. Die Richtigkeitskriterien der abgeschlossenen Theorien in der Physik/Einheit und Vielheit. Festschrift für C. F. v. Weizsäcker zum 60. Geburtstag. Herausg. von E. Scheibe u. G. Süssmann. Göttingen, 1972, S. 140—144.

⁶³ Вейцзеккер Карл фон (род. 1912 г.) — немецкий физик-теоретик, ученик В. Гейзенберга. В послевоенные годы много занимался философскими вопросами науки.

⁶⁴ И. фон Нейман (1903—1957) — американский математик венгерского происхождения. С 1927 г. развивал в ряде работ математически строгую формулировку квантовой механики, представленную в книге: Нейман И. фон. Математические основы квантовой механики. М., 1964 г.

⁶⁵ Карл Р. Поппер (род. 1902 г.) — австрийский философ, с 1946 г. живет и работает в Англии. В книге «Логика научного исследования» (Popper K. Logik der Forschung. Wien, 1935; сокращенный русский перевод в книге: Поппер К. Логика и рост научного знания. М., «Прогресс», 1983, с. 33—235) сформулировал так называемый принцип фальсификационизма, согласно которому именно опровергимость составляет критерий научности знания, а отбор и рост объективного знания путем рациональной критики выдвигаемых теоретических гипотез — механизм развития науки.

⁶⁶ Функция Дирака $\delta(x)$ — сингулярная функция, равная нулю везде, кроме точки $x=0$, где она равна бесконечности. Введена Дираком в 1926 г., подвергалась критике И. фон Нейманом за нестрогость, впоследствии получила и строгое математическое обоснование, и широкое распространение, особенно в релятивистской квантовой теории.

⁶⁷ Ван дер Варден (Верден) Б. Л. (род. 1903 г.) — голландский математик, в 30-е годы работал в Лейпциге, где в то же время преподавал В. Гейзенберг. Работы по алгебре, теории групп (в том числе в квантовой механике, см. прим. 50), истории математики.

⁶⁸ В основу статьи положен текст доклада на заседании Объединения немецких ученых в Мюнхене в 1969 г. Первая публикация: Heisenberg W. Änderungen der Denkstruktur im Fortschritt der Wissenschaft//Heisenberg W. Schritte über Grenzen, S. 275—287.

⁶⁹ Статья в газете «Süddeutschen Zeitung» от 6 октября 1970 г.

⁷⁰ См. прим. 49, 52.

⁷¹ В основу статьи положен текст доклада на заседании Баварской академии изящных искусств в 1960 г. Первая публикация: Heisenberg W. Sprache und Wirklichkeit in der modernen Physik//Heisenberg W. Physik und Philosophie. Stuttgart, 1960. (перевод: Гейзенберг В. Физика и философия. М., ИЛ, 1963). При переиздании статьи в книге «Schritte über Grenzen» В. Гейзенберг существенно переработал ее и расширил. Наш перевод сделан по этому изданию.

⁷² Мы даем подстрочный перевод, поскольку важный здесь для Гейзенberга аспект либо искажается, либо вовсе устраняется известными стихотворными переводами. Ср., например, перевод Н. А. Холодковского:

Так фабрикуют мысли. С этим можно
Сравнить хоть ткацкий, например, станок.

В нем управленье нитью сложно:
То вниз, то вверх снует челнок,
Незримо нити в ткань сольются;
Один толчок — сто петель выются.

(Гёте И. В. Собрание сочинений в тринадцати томах. М., ОГИЗ, 1947. Т. V, с. 119).

Перевод Б. Л. Пастернака создает, по существу, иную метафору:

В мозгах, как на мануфактуре,
Есть ниточки и узелки.
Посылка не по той фигуре
Грозит запутать челноки.

(Гёте И. В. Фауст. М., «Художественная литература», 1969, с. 95.)
⁷³ См. прим. 59.

⁷⁴ Birkhoff G., Neumann J. von. The Logic of Quantum Mechanik//Annals of Math., 1936, vol. 37; Weizsäcker K. von. Komplementarität und Logik//Die Naturwissenschaften, Bd. 42, Heft 19, 20. Меськов В. С. Очерки по логике квантовой механики. М., МГУ, 1986.

⁷⁵ Этот же принципиальный постулат квантовой теории только на другом конкретном примере более подробно разобран в книге Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М., «Мир», 1978. Т. 8, 9. Квантовая механика, § 1, 2. Вероятностное истолкование волновой функции Шредингера и понятие суперпозиции состояний приводили, казалось, к парадоксальным заключением, что вызвало серьезные споры между ведущими физиками-теоретиками. См. по этому поводу: Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Можно ли считать квантовомеханическое описание физической реальности полным?//Эйнштейн А. Собр. научн. трудов. М., «Наука». Т. 3, с. 604—611; Бор Н. Дискуссии с Эйнштейном о проблемах теории познания в атомной физике//Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М., ИЛ, 1961, с. 51—94; Шредингер Э. Современное положение в квантовой механике//Шредингер Э. Новые пути в физике. М., «Наука», 1971, с. 66—106.

⁷⁶ В основу статьи положен текст доклада 24 апреля 1973 г. на симпозиуме Смитсоновского института и Национальной Академии наук в Вашингтоне. Первая публикация: Heisenberg W. Tradition in Science//Science and Public Affairs. — In: Bulletin of The Atomic Scientists, 1973, vol. 29, № 10, p. 4—10.

⁷⁷ Weizsäcker K. von. Zum Weltbild der Physik. Stuttgart, 1970; Weizsäcker K. von. Tragweite der Wissenschaft. Schöpfung und Weltenstehung. Stuttgart, 1971.

⁷⁸ Ср. наст. изд., с. 83. См. также: Heisenberg W. Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik. München, 1976. S. 80.

⁷⁹ В основе статьи лежит текст лекции, прочитанной в Бонне в 1960 г. Первая публикация: Heisenberg W. Die Abstraction in der modernen Naturwissenschaft//Reden und Gedenkworte. Heidelberg, 1962, Bd. 4, S. 141—164.

⁸⁰ См. статью «Картина природы у Гёте и научно-технический мир» — наст. изд., с. 306—323.

⁸¹ Давид Гильберт (1862—1943) — один из крупнейших математиков и логиков XX в. В полемике с интуиционизмом Л. Э. Брауэра Гильберт разрабатывал широкую программу последовательной формализации логической структуры математики. В 1899 г. Гильберт

дал строго аксиоматическое построение геометрии Евклида (Гильберт Д. Основания геометрии. М.—Л., Гостехиздат, 1948). Работы Д. Гильberta и его учеников (П. Бернайс, В. Аккерман, Г. Генцен, И. фон Нейман и др.) развивали прежде всего теорию доказательства или метаматематику. В 1934—1939 годах Гильберт в соавторстве с П. Бернайсом опубликовал капитальный труд «Основания математики» (Hilbert D., Bernays P. Grundlagen der Mathematik. Berlin, 1934, Bd. 1; 1939, Bd. 2. Перевод: Гильберт Д., Бернайс П. Основания математики. Т. I. Логические исчисления и формализация арифметики. Т. II. Теория доказательства. М., «Наука», 1979, 1982 гг.).

⁸² Это основная проблема так называемой метаматематики. См.: Клини С. Введение в метаматематику. М., ИЛ, 1957. Цитируемое ниже высказывание Б. Рассела относится к 1910 г. См.: Рассел Б. Повечие работы о началах математики//Новые идеи в математике. Сб. I. Математика. Проблемы и значение ее. СПб., «Образование», 1913, с. 83.

⁸³ Карл Густав Каrus (1789—1869) — врач, сравнительный анатом, психолог, натурфилософ, живописец-романтик, состоял в переписке с Гёте и опубликовал о нем ряд статей.

⁸⁴ «Пифагорейцы же, видя в чувственно воспринимаемых телах много свойств, имеющихся у чисел, объявили вещи числами, но не существующими отдельно, а такими, из которых состоят вещи. А почему же? Потому что свойства чисел имеются в гармонии звуков, в строении неба и во многом другом». — Аристотель. Метафизика, кн. XIV, гл. 3 (1090а 20—25)//Аристотель. Сочинения в четырех томах. М., «Мысль», 1976. Т. 1, с. 357—358.

⁸⁵ Там же, с. 75—76, 78.

⁸⁶ Бубер Мартин (1878—1965) — религиозный философ, иудаист, стремившийся к экзистенциальному освоению библейской традиции.

⁸⁷ В основе статьи лежит текст доклада на симпозиуме общества Карайна в Зальцбурге в 1969 г. Первая публикация: Heisenberg W. Die Tendenz zur Abstraction in moderner Kunst und Wissenschaft//Heisenberg W. Schritte über Grenzen, S. 260—274.

⁸⁸ См. статью «Картина природы у Гёте и научно-технический мир» — наст. изд., с. 306—323.

⁸⁹ Гюнтер Андерс (род. 1902 г.) — баварско-австрийский новеллист и поэт, философ и публицист. Защитил диссертацию у Э. Гуссерля. Впоследствии испытал влияние философов «Франкфуртской школы».

⁹⁰ В основе статьи лежит текст доклада на заседании Баварской Академии изящных искусств в Мюнхене в 1970 г. Первая публикация на немецком и английском языках: Heisenberg W. Die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft//Meilensteine des Denkens und Forschens. Stuttgart, 1971. (Русск. пер. — Вопросы философии, 1979, № 12, с. 49—60. Наш перевод осуществлен заново по расширенному варианту статьи.)

⁹¹ Леопольд Кронекер (1823—1891) — берлинский математик, один из наиболее последовательных сторонников арифметизации математики. Трактат, о котором говорит Гейзенберг, назывался «О сложных единицах» («De unitatibus complexis»). См.: The Historical Development of Quantum Theory, vol. 2. The Discovery of Quantum Mechanics. Eds. Mehra J., Rechenberg A. New York etc. 1982, S. 5.

⁹² См. Плотин, Эннеады, 1, 6, 2; 3; 8: «Красота коренится в единстве... Красота цвета проста в своем образе и в победе над материальной тьмой в силу присутствия нетелесного света, каким являются логос и эйдос». — Plotinui opera. T. 1. Ed., P. Henry et H.-R. Schwizer. Paris, Bruxelles, 1951, p. 107, 108, 115.

⁹³ Ницше Ф. Философия в трагическую эпоху Греции, гл. 3// Ницше Ф. Полное собрание сочинений. Московское книгоиздательство, 1912. Т. 1, с. 330—335.

⁹⁴ О музыкальной теории пифагорейцев см.: Van der Варден Б. Л. Пифагорейское учение о гармонии//Van der Варден Б. Л. Пробуждающаяся наука. Математика Древнего Египта, Вавилона и Греции. М., «Физматгиз», 1959, с. 393—434.

⁹⁵ В основе подобного определения красоты лежит понятие гармонии как соразмерной связи противоположных начал. Это одно из центральных понятий в учениях пифагорейцев, Гераклита, Эмпедокла; оно встречается в некоторых сочинениях Гиппократа корпуса. Платон связывает понятие красоты с идеей единого и благого, соответственно отвергая это древнее определение («Федон», 86а—95а). Позднее оно вновь возрождается стоиками. И. Стобей (V в. н. э.) передает мнение стоиков: «Как красота тела есть соразмерное устроение членов друг в отношении друга и в отношении к целому, так и красота души есть соразмерность разума и его моментов в отношении к целому и в отношении друг к другу». (Stoicum Veterum Fragmenta coll. J. von Arnim, I—IV, Lipsiae, 1921—1923. Leiden, 1964, vol. III, fr. 278. Перевод: История эстетики. Памятники мировой эстетической мысли в пяти томах. Т. 1, М., Академия художеств, 1962, с. 139.) Тексты, собранные в этом издании, позволяют проследить историю данного определения в Средние века и в эпоху Возрождения.

⁹⁶ См. прим. 85.

⁹⁷ Аристотель. О небе, кн. II, гл. 13 (993а 25)//Аристотель. Соч., т. 3, с. 329.

⁹⁸ См. статью «Философские взгляды Вольфганга Паули», наст. изд., с. 283—289.

⁹⁹ Pauly W. Der Einfluss archetypischer Vorstellungen auf die Bildung naturwissenschaftlicher Theorien bei Kepler//Naturerklärung und Psyche. Zürich, 1952, S. 109—194. Перевод: Паули В. Влияние архетипических представлений на формирование естественнонаучных теорий у Кеплера//Паули В. Физические очерки. М. Наука, 1975, с. 137—175. Последняя фраза приводимой Гейзенбергом цитаты в русском издании переведена Ю. А. Даниловым неверно: вместо «Следует однако избегать...» («Jedoch muss man sich davon hüten...») стоит «Однако следует еще позаботиться о том...».

¹⁰⁰ Первая публикация: Heisenberg W. Wolfgang Paulys philosophische Auffassungen//Die Naturwissenschaften, 1959. 46. Jg., Heft 24, S. 661—663.

¹⁰¹ Первая работа, см. прим. 99. Вторая: Pauly W. Die Wissenschaft und das abendländische Denken//Europa — Erde und Aufgabe, Internationaler Gelehrtenkongress, Mainz 1956. Wiesbaden, 1956, S. 71—79.

¹⁰² Если подобное трансцендирование картезианского дуализма должно удовлетворять принципу соответствия, примеры В. Паули не более, чем намек, почти метафора. Не следует, однако, упускать из виду, что наряду со схоластическим аристотелизмом пантейтический натурализм XV—XVII веков составлял ту интеллектуальную среду, в которой формировался научный разум. См.: Reason,

experiment, and mysticism in the scientific revolution. Ed. by Bonelli M., Schea W., N. Y., 1975.

¹⁰³ В книге «Часть и целое», рассказывая о зарождении основных идей единой теории поля, которые в это время всецело захватили и В. Паули, В. Гейзенберг подробно цитирует это письмо Паули, полученное им накануне рождества 1957 г.: Heisenberg W. Der Teil und das Ganze, S. 273—274.

¹⁰⁴ Доклад, прочитанный 17 ноября 1953 г. в главной аудитории Мюнхенского высшего технического училища в ряду устроенных Баварской Академией изящных искусств чтений «Искусство в техническую эпоху». Первая публикация: Heisenberg W. Das Naturbild der heutigen Physik/Heisenberg W. Das Naturbild der heutigen Physik. Hamburg, 1955, S. 7—23.

¹⁰⁵ Kepler I. De Harmonice Mundi (1619)//Gesamtausgabe von Keplers Werke, hrsg. M. Caspar. München, 1940, Bd. VI.

¹⁰⁶ См.: Spence J. Anecdotes, Observations, and Characters of Books and Men. London, 1820, p. 54.

¹⁰⁷ В речи, произнесенной в ноябре 1937 г. в Болонье на физическом и биологическом съезде памяти Луиджи Гальвани, Н. Бор говорил: «В поисках параллели к вытекающему из атомной физики уроку об ограниченной применимости обычных идеализаций мы должны обратиться к совсем другим областям науки, например к психологии, или даже к особого рода философским проблемам; это те проблемы, с которыми уже столкнулись такие мыслители, как Будда и Лао Цзы, когда пытались согласовать наше положение как зрителей и как действующих лиц в великой драме существования». //Бор Н. Атомная физика и человеческое познание, с. 35. В статье 1949 г. о дискуссиях с Эйнштейном о проблемах теории познания Н. Бор замечает, что атомная физика «вынуждает нас в проблеме явлений занять позицию, напоминающую мудрый завет древних: в поисках гармонии в жизни никогда не забывать, что в драме бытия мы являемся одновременно и актерами, и зрителями». (Там же, с. 89.)

¹⁰⁸ В докладе «Вопрос о технике», с которым выступил на тех же чтениях 18 ноября немецкий философ М. Хайдеггер, он заметил по этому поводу: «Распространяется видимость, будто все предстающее человеку стоит лишь постольку, поскольку так или иначе поставлено им. Эта видимость со временем порождает последний обманчивый мираж. Начинает казаться, что человеку повсюду предстает теперь уже только он сам. Гейзенберг с полным основанием указал на то, что сегодняшнему человеку действительность должна представляться именно таким образом. Между тем на самом деле с самим собой, т. е. со своей сущностью, человек сегодня как раз нигде уже не встречается». (Хайдеггер М. Вопрос о технике//Новая технократическая волна на Западе. М., «Прогресс», 1986, с. 60. Другие аспекты спора М. Хайдеггера с В. Гейзенбергом разобраны переводчиком В. В. Бибихиным в примечаниях к статье Хайдеггера (с. 434—437). См. также статью «К восьмидесятилетию Мартина Хайдеггера», наст. изд., с. 349—350.)

¹⁰⁹ См. другие переводы этой притчи: Атеисты, материалисты, диалектики Древнего Китая. Пер. и комм. Л. Д. Позднеевой. М., «Наука», 1967, с. 192. Рубин В. А. Идеология и культура Древнего Китая. М., «Наука», 1970, с. 137. Маливин В. В. Чжуан-Цзы. М., «Наука», 1985, с. 134.

¹¹⁰ В этих словах можно усмотреть аллюзию на книгу австрийского искусствоведа и философа культуры Ганса Зедльмайра: Se d-

l m a y r H. Verlust der Mitte: die bildende Kunst des 19. und 20. Jahrhunderts als Symbol der Zeit. Salzburg, 1948. См. реферат этой книги в сб.: Общество. Культура. Философия. Материалы к XVII Всемирному философскому конгрессу. М., ИНИОН, 1983, с. 56—102.

¹¹¹ Доклад на пленарном заседании общества Гёте в Веймаре 21 мая 1967 г. Первая публикация: Heisenberg W. Das Naturbild Goethes und die technisch-wissenschaftliche Welt//Goethe—Neue Folge des Jahrbuchs der Goethe—Gesellschaft, hrsg. von Andreas B. Wachsmuth. Weimar, 1967, Bd. 29, S. 27—42.

¹¹² Эрих Хеллер (род. 1911 г.) — немецко-американский литературовед и историк культуры. Сб. его эссе (Heller E. *The Artist's Journey into the Interior and other essays*. N. Y., 1968) вышел по-немецки в 1966 г.

¹¹³ См. прим. 110.

¹¹⁴ Подробнее Гейзенберг говорит об этих платоновских понятиях в статье «К истории физического объяснения природы» (1932 г.)//Гейзенберг В. Философские проблемы атомной физики. М., ИЛ, 1953, с. 25—27.

¹¹⁵ В 1953 г. Д. Уотсоном (США, род. 1928 г.) и Ф. Криком (Англия, род. 1916 г.) была предложена структурная модель дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), согласно которой молекула ДНК состоит из двух антипараллельных полинуклеотидных цепей, образующих правильную правозакрученную перевитую спираль. Структура молекулы ДНК (последовательность нуклеотидов в цепи) строго индивидуальна и специфична для каждой природной ДНК и представляет кодовую форму записи биологической информации (генетический код). В 1962 г. Д. Уотсон и Ф. Крик были удостоены Нобелевской премии по физиологии. См.: Уотсон Д. Двойная спираль. Воспоминания об открытии структуры ДНК. М., «Мир», 1969.

¹¹⁶ См. прим. 38. В докладе, прочитанном 25 апреля 1958 г. в Берлине на праздновании столетия со дня рождения М. Планка (Гейзенберг В. Открытие Планка и основные философские вопросы учения об атомах//Вопросы философии, 1958, № 11, с. 61—69), Гейзенберг впервые обнародовал свой вариант «мировой формулы», т. е. уравнения, которое «по крайней мере на первый взгляд выглядит таким образом, как будто бы оно выражает все известные свойства элементарных частиц и является истинным уравнением материи». Указ. изд., с. 68.

¹¹⁷ Первая публикация: Heisenberg W. Naturwissenschaft und Technik im politischen Geschehen unserer Zeit!!Dauer und Wandel. Festschrift zum 70sten Geburtstag von Carl J. Burckhardt. München, 1960, S. 194—197.

¹¹⁸ Карл Якоб Буркхардт (род. 1891 г.) — швейцарский политик, историк, эссеист. В 1937—1939 гг. в качестве Верховного комиссара Союза народов в Гданьске пытался предотвратить вторую мировую войну. После войны способствовал развитию международного сотрудничества.

¹¹⁹ Речь, произнесенная 23 марта 1973 г. в Баварской католической академии (Мюнхен) при получении премии имени Р. Гвардини. Первая публикация: Heisenberg W. Naturwissenschaftliche und religiöse Wahrheit//Heisenberg W. Schritte über Grenzen, S. 335—351.

¹²⁰ Романо Гвардини (1886—1968) — немецкий религиозный мыслитель. С 1947 г. профессор в Мюнхенской католической академии.

¹²¹ Евангелие от Иоанна, гл. 4, ст. 24.

¹²² Под угрозой пожизненного заключения Галилей выслушал, публично зачитал и подписал отречение 22 июня 1633 г. в доминиканском монастыре Santa Maria sopra Minerva. Документы процесса опубликованы: *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Editio-ne Nazionale*, ed. A. Favaro. Firenze, 1929—1939, vol. XIX.

¹²³ Конференция состоялась в декабре 1948 г. в Ленинграде. В работе конференции приняло участие более 500 делегатов, среди них академики В. А. Амбарцумян, В. Г. Фесенков, Д. Н. Моисеев, Б. М. Кедров и др. См.: Прокофьев И. А., Конференция по идеологическим вопросам астрономии, созванная Ленинградским отделением Всесоюзного астрономического и геодезического общества/Природа, 1949, № 6, с. 71—77.

¹²⁴ См. наст. изд., с. 311.

¹²⁵ Первая публикация: Heisenberg W. Gedanken zur "Reise der Kunst ins Innere"//Versuche zur Goethe. Festschrift für Erisch Heller zum 65. Geburtstag, hrsg. von V. Dürr und G. v. Molnár, Heidelberg, 1976. Речь идет о книге Эриха Хеллера (см. прим. 112).

¹²⁶ Творчество О. Родена, П. Сезанна и раннего Пикассо (в особенности цикл «Странствующие акробаты») имело для Р. М. Рильке силу художественного откровения. Но первые опыты кубизма произвели на него отталкивающее впечатление. «Озорство и бессмыслицкий каприз», «отрава, чистая отрава», «свобода, которой злоупотребляют самым жалким образом», «манера под кожной живописи, которая занимается сама собой под покровом целостного образа», «анархия видения, доведенного до пределов и извращенного микроскопическим изощрением, сопровождающаяся растущей неразличимостью столь большого числа постижений». Э. Хеллер цитирует (op. cit., p. 161—162) отрывки из писем Рильке 1911—1916 гг., впервые опубликованных в кн.: Meyer H. Zarte empirie. Stuttgart, 1963, S. 308—311.

¹²⁷ «В чем твоя цель в философии? — Указать мухе выход из мухоловки (*Fliegenglas*)». — Wittgenstein L. Philosophische Untersuchungen. Frankfurt am Main, 1980, S. 162 (§ 309).

¹²⁸ Беседу о языке, в контексте которой Н. Бор высказал эту мысль, В. Гейзенберг подробно излагает в книге «Часть и целое»// Heisenberg W. Der Teil und das Ganze, S. 163.

¹²⁹ Первая публикация: Heisenberg W. Martin Heidegger zum 80. Beiburtstag//Dem Andenken Martin Heidegger. Zum 26. May 1977. Frankfurt am Main, 1977, S. 45.

¹³⁰ См. прим. 108. Ср. также: Heisenberg W. Grundlegende Voraussatzzungen in der Physik der Elementarteilchen//Martin Heidegger zum 70. Geburtstag: Ferstschrift. Pfullingen, 1959, S. 276—290. О диалоге между М. Хайдеггером и В. Гейзенбергом см.: Chioldi P., Il problema della tecnica in un incontro fra Heidegger e Heisenberg!!“Aut aut”. Milano, 1956, № 32, p. 87—108.