

ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

К.М. Старостин

ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ СТАНОВЛЕНИЯ НАНОНАУКИ

Аннотация. Настоящая статья представляет собой попытку философского осмысления некоторых аспектов становления нанотехнологий – молодой и интенсивно развивающейся области научного знания. Рассмотрена в деталях вошедшая в историю лекция Р. Фейнмана 1959 г., которую принято считать началом развития нанонауки. Внимание уделено особенностям личности Р. Фейнмана, возможным ассоциативным связям в развитии научной мысли известного учёного, вероятное отражение которых обнаружено в фактическом и личном опыте мыслителя. Проанализированы некоторые исторические события, предшествовавшие этому моменту истории, а также обрисован в общем культурный, социальный и политический дух времени 50-х годов, ставших плодородной почвой для развития нанотехнологий. Предпринята попытка выявить внутреннюю логику в развитии взрывного интереса к наноразмерной области. Для осуществления данного исследования был привлечен исторический метод, включивший анализ и сопоставление различных документально описанных событий прошлого. Методология проведённой работы, в частности подход к интерпретации исторических фактов, тесно связан с философско-методологической концепцией, учитывающей выделение "внешней" и "внутренней" истории науки, для обобщенной рациональной реконструкции процесса роста и развития научного знания. Вопрос выявления причин бурного экспоненциального роста научного интереса к наноразмерным объектам и явлениям, технологиям, реализуемых на уровне нанометровой шкалы, без сомнения, представляет интерес для философии и истории науки с самого момента своего проявления в явном виде для научного сообщества. Тем не менее, философскому осмыслению истории становления нанотехнологии в связи с имманентной логикой научного познания и в связи с социально-исторической и культурно-исторической обусловленностью вектора развития научного знания до сих пор уделялось недостаточное внимание.

Ключевые слова: философия науки, история науки, нанотехнологии, нанонаука, рост научного знания, развитие научного знания, внутренняя история, имманентная логика познания, внешняя история, рациональная реконструкция.

Review. The present article presents an attempt to perform a philosophical analysis of some aspects of establishing nanotechnology, young and actively developing sphere of scientific knowledge. In his article Starostin examines Richard Feynman's lecture of 1959 that is believed to be the first introduction of nanoscience. Special attention is paid to the personal qualities of Richard Feynman and associative relations related to the development of his philosophy that were probably reflected in his factual and personal experience. The author of the article has analyzed some historical events prior to that historical moment as well as the cultural, social and political environment of the 50th that created grounds for the development of nanotechnology. The author also attempts to define the internal logic of the development of rapidly growing interest towards the nanosphere. In his research Starostin has used the historical method involving the analysis and comparison of different documented events of the past. The methodology of the present research, in particular, the author's approach to the interpretation of historical facts, is closely related to the philosopho-methodological concept that takes into account the 'external' and 'internal' history of science. Such an approach allows to carry out a summarized rational reconstruction of the process of growth and development of scientific knowledge. The question what caused such a rapid exponential increase of scientific interest towards nano-sized objects and phenomena and nano-scaled technology has been undoubtedly a great interest for representatives of both philosophy and history of science since the very moment when it became clear for the scientific community. Nevertheless, so far the philosophical in-

terpretation of the history of nano-technology in terms of the immanent logic of scientific knowledge and socio-historical and culture-historical grounds of the development of scientific knowledge has been understudied.

Keywords: *philosophy of science, history of science, nanotechnology, nanoscience, growth of scientific knowledge, development of scientific knowledge, internal history, immanent logic of cognition, external history, rational reconstruction.*

Введение

История становления такой междисциплинарной области научного знания как нанотехнологии представляет немалый интерес для истории науки и философии науки. Мы не будем в данном случае пытаться отказаться от телеологичного и детерминистского подхода в мышлении, тем более что это представляется весьма непростой (если не недостижимой) задачей. Более того, запутавшись в паутине проблем, связанных с детерминизмом нашего мышления, мы ни на дюйм не приблизимся к решению поставленных нами задач. Мы будем помнить и о «призраках Бэкона», и о «несвободе разума» Юма, и о детерминированности мира Спинозы, и о «философских предрассудках» Поппера, но лишь в той мере, в какой это позволит нам более критически относиться к развитию мыслей. Имея в виду вышесказанное, мы вооружимся разного рода исторической и научной литературой и попробуем приблизиться к тому историческому моменту, когда началась точка отсчета в развитии нанотехнологий. Нас будет интересовать как развитие научных идей в тот исторический период, так и особенности культурной и социальной среды, в которой происходило развитие нового научного направления. Мы сделаем попытку узреть и нащупать внутреннюю причину в том взрывном повышении интереса, которое наблюдается в последние 50 лет, к явлениям, происходящим в наноразмерной области. Дальнейшее путешествие по истории мы продолжим в следующей публикации, определив основные вехи развития нанотехнологий за прошедшие столетия, и сделаем усилие, которое возможно даст нам возможность говорить о закономерностях развития нанотехнологической мысли. Наконец, мы сделаем дерзкую попытку приподнять туманную завесу будущего развития этой «узкоразмерной» области знания.

Пророчество Р. Фейнмана

История развития нанотехнологий по распространенному в научном сообществе мнению начинается со знаменитой лекции Ричарда Фейнмана, которая была прочитана в 1959 г. на ежегодном собрании

Американского физического общества в Калифорнийском технологическом институте. Тогда этот выдающийся мыслитель заглянул в технологическое будущее цивилизации в своей речи «There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics»¹. Интересно, что первую часть названия обычно переводят как «Там внизу/на дне много места». Позволю себе предложить иной перевод, который хоть и может выглядеть несколько вольно, но с моей точки зрения яснее определяет предмет лекции: «Громадное пространство сокрыто в точке: приглашение шагнуть в новую область физики».

Эта лекция бесценна для развития научной мысли. Ричард Фейнман демонстрирует потрясающие мыслительные возможности, поразительную научную фантазию, восхитительную прозорливость. Р. Фейнман олицетворяет редкий тип учёного, который способен охватить научную картину мира целиком, а затем, удерживая её, обратить взор на нерешенные проблемы, на самый край этой картины, за которым пока ещё нет ясности, и, наконец, дав полную свободу воли ассоциативному мышлению и научной фантазии, погрузиться в туман неизведанного и осветить на мгновение яркой вспышкой мысли будущее. Наблюдать за движением разума ученых мужей такого толка – уникальная возможность ощутить действительную красоту и безграничные возможности мышления. Именно эти учёные определяют на долгие годы дальнейшее развитие идей.

Р. Фейнман говорил в далёком 1959 г. о возможностях, которые сулит нам направленное манипулирование в микро- и нанометровом масштабе, а также миниатюризация существующих механизмов. Представим, что мы оказались в аудитории, где происходило то знаковое событие.

Ричард Фейнман сообщает, что часто слышит от окружающих, о такого рода прогрессе в миниатюризации: существует электромотор размером с ноготь мизинца, а также устройство, которое позволяет записать «Отче наш» на булавочной головке. Но Р. Фейнман считает это примитивным. Учёный произносит пророческие слова: «В 2000 году, люди оглянуться назад и удивятся, что до 1960 года

¹ Feynman R.P. There's Plenty of Room at the Bottom // Caltech Engineering and Science. 1960. Volume 23:5. P. 22-36.

никто не предпринимал серьезных шагов в этом направлении [миниатюризации]».

Р. Фейнман предлагает поразмыслить о том, возможно ли разместить всю энциклопедию Британника на кончике булавочной иглы.

Интересно, что в качестве предмета своих рассуждений Р. Фейнман выбирает булавку. Несомненно, что мы можем увидеть в этом отсылку к рассуждениям схоластов о возможностях размещения на кончике иглы определенного количества чертей. В истории философии мы видим весьма интересную закономерность: теории, возникшие на метафизическом уровне, не обладающие связью с материальным миром, спустя века обретают свою действительную реальность в физической материи. Так произошло с античным атомизмом. Концепция, возникшая у Левкиппа и Демокрита как компромисс между непрерывно меняющимся миром Гераклита и неизменным миром Парменида, имела мало общего с атомом Резерфорда и Бора. Но эта метафизическая концепция обрела свою материальную значимость на рубеже XIX и XX вв. Этому нельзя не удивиться. Нечто подобное происходит и с булавкой в речи Р. Фейнмана: вопрос о потенциальных возможностях метафизических сущностей обретает свою практическую значимость в физике. С формальной точки зрения эта аналогия представляется весьма ограниченной. Возможно, Р. Фейнман, обладая отличным чувством юмора, намеренно говорил о булавке, находя в этом определенную иронию. Но возможно и другое: булавка схоластов послужила отправной точкой для дальнейших его рассуждений, детерминировала дальнейшее развитие научных идей в этом вопросе.

И конечно, Р. Фейнману приходит в голову мысль записать на булавке что-нибудь более полезное (Р. Фейнман был атеистом), чем молитва. Любимой в детстве книгой Р. Фейнмана была Британская Энциклопедия. Не потому ли именно она становится предметом обсуждения?

Р. Фейнмана интересует предел плотности хранения информации, а также технические возможности человечества на тот момент для реализации плотной записи информации, а также технические возможности для считывания этой информации. Требуется в 25 000 раз уменьшить размеры энциклопедии Британника, чтобы разместить её на кончике иглы. Фейнман показывает, что технически эта проблема не представляется трудноразрешимой. Затем учёный предлагает представить, до какого объема можно сжать информацию, содер-

жающую в нескольких крупнейших национальных библиотеках разных стран. Оказывается, что вся библиотека Калифорнийского Техникума уместилась бы на одной библиографической карточке.

Р. Фейнман подчеркивает, что в точке не просто есть пространство. В *точке* сокрыто громадное *пространство*. Можно даже перефразировать это утверждение таким образом: в *точке* сокрыты громадные *возможности*. В малом сокрыто многое. Занимательно, что эта мысль находит свою аналогию в одном из небезызвестных открытий Эйнштейна – малая единица массы содержит громадное количество энергии. Фейнман говорит о том, что малая единица пространства содержит в себе громадные возможности. Учёный демонстрирует аргументы в пользу этого утверждения. Его не интересует детальная разработка технических процессов. Он показывает принципиальные возможности, которые не противоречат законам физики в том виде, в котором они существовали на рубеже 50-60-х гг. Фейнман играет десятками атомов. Он показывает, что такого рода манипуляции теоретически возможны и позволяют достичь немыслимого для того времени прогресса.

Р. Фейнман показывает теоретическую возможность улучшения электронных микроскопов, что позволит работать на кластерном и атомарном уровне с материей.

Затем Р. Фейнман обращает свой взор в область биологии. Учёный перечисляет ряд важнейших проблем, которые беспокоили биологов в конце 50-х гг.: это были проблемы, касающиеся строения и функции ДНК, РНК, жизненного цикла белковых молекул, их функций, связи между генетической информацией и строением белка, строением и механизмами работы клеточных органелл. Эти проблемы можно было бы решить, по словам Р. Фейнмана, просто *взглянув на все это*. «Получив микроскоп, который будет в 100 мощнее, многие проблемы биологии было бы намного легче решить». Фейнман замечает, что биологи будут благодарны физикам за создание такого микроскопа, и что такого рода взаимодействие с физиками для них будет предпочтительней, чем выслушивание критики об отсутствии в биологии математики в достаточном объёме.

Затем Р. Фейнман обращает внимание на химию. Уже в 1959 г. теория химических процессов в своей основе содержала теоретическую физику. Для качественного определения химического строения неизвестной субстанции химии проводили химический анализ, подразумевающий ряд достаточно длительных и непростых манипуляций. Уже в

1959 г. можно было определить таким образом строение практически любой субстанции. Р. Фейнман, понимая, что эта задача практически решена, предлагает, тем не менее, иной путь: просто *взглянуть на искомую молекулу* и определить какие атомы где расположены. Основная техническая трудность – недостаток электронных микроскопов, которые были в 100 раз менее мощные, чем это было необходимо для осуществления такого рода опытов. Далее Фейнмана интересует, могут ли физики принять участие в решении ещё одной проблемы химиков. Ученый задается вопросом, возможно ли *физически* осуществлять синтез молекул?

Затем Р. Фейнман говорит о биологических объектах: «Большинство клеток очень малы, но очень активны. Они производят различные субстанции, двигаются, покачиваются; и все замечательное, что относится к их активности – происходит на весьма малом размерном уровне. В частности, они [клетки] хранят информацию. Вдумайтесь в возможности, которые сулит нам создание объектов весьма малых, которые будут функционировать так, как мы хотим – представьте, что мы можем произвести объект, который функционирует на таком [малом (нано- и микрометровом)] размерном уровне». Это суждение, отсылающее нас к возможностям, уже воплощенным природой в живых организмах, наглядно демонстрирует принципиальную реализуемость замыслов, связанных с миниатюризацией объектов. Р. Фейнман предлагает обратить внимание на то, как протекают в живых организмах микро- и нанометровые процессы, и использовать эту информацию для построения собственных механизмов.

Такую идею можно рассматривать как частный случай общей тенденции развития научной мысли на протяжении истории. Тенденция, которая подразумевает конструирование объектов для решения той или иной задачи по аналогии с тем, как эта задача решается в уже существующих (например, в природе) объектах. Идея полета бередила людские умы на протяжении тысячелетий. Создание такой науки как аэродинамика тесно связано с наблюдениями за полетом птиц. Наиболее тесная связь строения летательного аппарата со строением тела птиц воплотилась в орнитоптерах (махолетах). Можно также предполагать, что идея изобретения колеса была подсказана движением округлых камней. Вспомнив знаменитый тезис Жана Батиста Ламарка «Развивается то, что тренируется», справедливый на онтогенетическом

уровне, но признанный в общем ошибочным на филогенетическом уровне, мы найдем общую черту эмпирической экстраполяции в этом случае и в других случаях, когда пытаешься повторить схожую структуру, мы ожидаем получить схожие свойства. Можно продолжать рассуждать об особенностях и характере эмпирического знания, но несомненно, что такой подход зачастую оказывается очень плодотворным для развития научной мысли.

Р. Фейнман не предлагает конкретного технического решения для миниатюризации компьютеров, но подчеркивает, что «компьютеры действительно слишком большие: они занимают комнаты», и потому нуждаются в миниатюризации. В качестве одного из возможных путей решения этой проблемы учёный предлагает уменьшить диаметр проводников до 10-100 атомов, а размер схем – до нескольких тысяч ангстрем. В настоящий момент эти идеи реализованы в нанопроводниках² и наносхемах³.

Интересно следующее рассуждение Р. Фейнмана: ученый говорит о возможностях человека распознавать лица, отличать их от других визуальных объектов, но что более примечательно, отличать разные лица и делать вывод о том, видел ли этот человек то или иное лицо ранее. Человеческий мозг способен выполнять все эти задачи практически мгновенно. Причем, распознавание в разумных пределах не страдает от того, на каком расстоянии находится лицо, насколько интенсивно освещение, как меняется мимическая картина на лице. «Маленький «компьютер», который я ношу в своей голове, легко справляется с такими задачами. Компьютеры, которые мы создаем, не могут этого. Количество элементов в моей черепной коробке значительно превышает таковое в наших «замечательных» компьютерах. Но наши механические компьютеры [к тому же] слишком большие; элементы в их коробках микроскопические. Я желаю создать что-то *субмикроскопическое* [субмикроскопическое и есть наноразмерное]». Фейнман говорит о том, что если мы захотели бы создать компьютер, который выполнял такие потрясающие задачи, нам пришлось бы сделать его размером с

² Hanrath, Tobias and Korgel, Brian A. Supercritical fluid-liquid-solid (SFLS) synthesis of Si and Ge nanowires seeded by colloidal metal nanocrystals // *Advanced Materials*. 2003. № 15(5). P. 437-440.

³ Moshe David-Pur, Lilach Bareket-Keren, Giora Beit-Yaakov, Dorit Raz-Prag, and Yael Hanein. All-carbon-nanotube flexible multi-electrode array for neuronal recording and stimulation // *Biomed Microdevices*. 2014. № 16. P. 43-53.

Пентагон. Кроме того, возникло бы много трудностей, связанных с охлаждением и питанием элементов, нехваткой мировых запасов германия для всех транзисторов, наконец, ограничением скорости, которая имеет своим пределом скорость света. Решением всех этих трудностей, согласно Р. Фейнману, станет миниатюризация элементов. Ученый не находит ограничений в законах физики, которые бы принципиально не позволили значительно уменьшить размеры элементов.

Р. Фейнман говорит о том, что мы не сможем работать с миниатюрными объектами так, как мы делали это с макрообъектами. «...Сколько раз, работая над чем-то чрезвычайно малым, как например наручные часы Вашей жены, Вы говорили себе: «Если бы я только мог обучить этому муравья!». Я собираюсь предложить Вам обучить муравья обучить этому тлю. Вне зависимости от того, будут они полезными или нет, совершенно точно – это будет занимательно». Это представляется весьма оригинальной идеей.

Известно, что З. Фрейд был убежден, что даже загаданная, казалось бы, произвольно цифра – абсолютно детерминирована сознательным и бессознательным опытом⁴. Конечно, детерминированность столь высокого уровня представляется весьма спорной. Однако выглядит необоснованно полное исключение воздействия опыта на образ мышления и ассоциативные связи, в свою очередь определяющие путь, который проходит мысль, переходя от одной идее к следующей. Анализ показывает с высокой вероятностью, что утверждения Р. Фейнмана, связанные с обучением муравья чинить наручные часы, обучением муравья для обучения им тли, оказываются детерминированными весьма необычным образом.

Р. Фейнман очень интересовался муравьями с детства, потому что его отец рассказывал ему много о них. Р. Фейнман проводил целые серии разнообразных экспериментов, изучая способность муравьев к организованной работе и ориентированию на местности, обмену информацией с другими муравьями. Интерес к малым объектам также возник ещё в детстве. У Р. Фейнмана был микроскоп, он любил рассматривать разные предметы. Позже, проходя обучение в Принстоне, он носил с собой увеличительное стекло, которое вынул из микроскопа. В автобиографии он описывает как однажды, он воспользовался уве-

личительным стеклом, чтобы рассмотреть муравьев, ползавших по листьям плюща. То, что он увидел, потрясло его. Отец рассказывал ему о том, как муравьи взаимодействуют с тлей, но до этого он не имел возможности наблюдать собственными глазами, как это происходит. Он видел, как муравей пошлепывал тлю, помогая ей перебраться с одного куста на другой. За это тля делилась с муравьями «медвяной росой»⁵. Так нам становится совершенно ясно, откуда могла возникнуть мысль об обучении муравья и тли в выступлении учёного.

За семь лет до смерти первой жены Арлин Р. Фейнман подарил ей часы, которые постоянно выходили из строя. Он часто чинил их. По всей видимости, они были достаточно малы, чтобы тогда уже ему и пришла в голову мысль о том, что неплохо было бы обучить этому муравья. Последний раз часы остановились, указывая время смерти жены учёного. Это событие, связанное с личной драмой учёного, прочно врезалось в память Р. Фейнману.

Нельзя не упомянуть обо всем этом, описывая развитие научной мысли Ричарда во время выступления в 1959 г. Муравей и часы – не это ли стало отправной точкой для развития его мысли?

Следующее рассуждение представляет также большой интерес для истории нанотехнологий. Р. Фейнман говорит о проблемах, с которыми мы бы столкнулись, взявшись создать миниатюрный автомобиль. Такого рода теоретические размышления приводят его к очень интересным идеям.

Р. Фейнман сообщает, что конструируя обычный автомобиль, мы заботимся о точности размеров ряда комплектующих, достигающей десять микрон. В противном случае механизмы не будут функционировать. Если мы зададимся целью сконструировать автомобиль в 4000 раз меньше, так что в поперечнике его размер будет составлять 1 мм, от нас потребуются точность в десять атомов. «Очевидно, что нам нужно модернизировать модель автомобиля, чтобы он функционировал при более высокой погрешности в размерах его комплектующих (что в целом не является невозможным), чтобы стало возможным сконструировать его модель, значительно меньшего размера». Ученый замечает, что изменения веса и инерция вряд ли будут иметь значение. С другой стороны, прочность материала будет возрастать пропорционально. Нагрузка и расширение маховика вследствие действия центробежной силы

⁴ Фрейд З. Введение в психоанализ. Лекции. М.: Наука, 1991. С. 66

⁵ Фейнман Р.Ф. Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман! М.: АСТ, Астрель, 2011. С. 45.

будет соизмерима с нагрузкой на маховик макро-размеров, только если вращательная скорость вращения миниатюрного маховика увеличиться во столько раз, во сколько уменьшаться его размеры. С другой стороны металлы, которые мы используем, имеют зернистую структуру, и это будет иметь значение на малом размерном уровне вследствие высокой негомогенности материала.

Другие проблемы связаны с электрической частью конструкции – с медными проводниками и магнитными составляющими. Магнитные свойства материалов на малом размерном уровне отличны от таковых у макроразмерных объектов. Здесь большое значение приобретает «доменная» структура материала. Большой магнит, состоящий из миллионов доменов, может иметь только один магнитный домен на малом размерном уровне. Электрические схемы не удастся просто уменьшить, придется конструировать их вновь и иначе. «Но я не вижу причин, которые помешали бы переконструировать их [электрические схемы] так, чтобы они снова функционировали».

«Эффективная вязкость масла будет повышаться при уменьшении [толщины слоя между деталями], а также при увеличении скорости. Если мы не будем стремиться к значительному увеличению скорости и заменим масло на керосин или другую жидкость, мы в определенной мере избавимся от этой проблемы. Однако в действительности, мы можем вообще обойтись без смазочного материала. У нас есть громадный запас прочности. Пусть детали будут взаимодействовать сухими. Они не будут нагреваться, потому что такие маленькие детали будут очень быстро охлаждаться».

«Высокая скорость теплообмена не позволит газу взрываться, поэтому мы не сможем применить миниатюрный двигатель внутреннего сгорания. Но возможно использование других химических реакций, которые приводят к высвобождению энергии на холоде. Возможно, наиболее удобно будет подводить извне электрическую энергию к миниатюрным конструкциям. Как мы будем использовать эти машины? Кто знает? Конечно, миниатюрный автомобиль годится разве что для тли, чтобы разъезжать на нем, и я полагаю, что наши христианские интересы не зайдут так далеко. Однако мы не замечали возможности производства малых комплектов для компьютеров в полностью автоматических фабриках с токарными станками и другими механизированными инструментами очень малого размера. Малый токарный станок не будет похож на

макростанок». Р. Фейнман предоставляет возможность воображению слушателей представить изменение конструкции механизмов для достижения полной автоматизации и извлечения максимума выгоды из свойств материалов на малом размерном уровне. Он предвидит трудности, с которыми мы можем столкнуться, воплощая в реальность программу миниатюризации, и усматривает теоретические предпосылки для поразительных свойств материалов наноразмеров, которые могут играть как положительную, так и отрицательную роль в зависимости от наших целей.

«Мой друг, Альберт Хиббс, высказал интересную идею о возможностях малых конструкций. Он предположил, хотя это и звучит дико, что было бы интересно в хирургии, если бы можно было проглотить хирурга. Вы помещаете механического хирурга внутрь кровеносного сосуда, и он движется к сердцу, чтобы осмотреться [там]». Затем этот хирург должен маленьким ножиком провести самостоятельно операцию. «Другие маленькие механизмы могли бы на длительное время внедряться в тело и оказывать помощь органам, функция которых нарушена».

Здесь мы столкнулись с очень интересной частью выступления Р. Фейнмана. С одной стороны это те идеи, которые стали источником великого множества легенд о чудесных и сказочных свойствах наночастиц, Их чудесный характер принес славу нанотехнологиям, но славу популистскую. Он также привнес дурной тон этой славе, особенно в массах, среди тех людей, которые не представляют, что есть нанотехнологии на самом деле. Так как не так уж много людей занимается непосредственно нанотехнологиями, а среди прочих далеко не каждый задавался целью разобраться в этом вопросе, «нанотехнологии» превратились в нечто вроде бренда, громкого эпитета, лишённого своего первоначального смысла, которым злоупотребляют без меры. С другой стороны рассуждения учёного об удивительных возможностях, которые даруют нам объекты весьма малых размеров, представляют собой большой научный, исторический и философский интерес. Научный – так как такого рода фантазии, несомненно, становятся позже теориями, концепциями, превращаются в парадигму, обретают, в конце концов, свою материальную реальность в тех явлениях и объектах, изучение или появление которых становится возможным именно за счет таких идей. Исторический – потому что эти идеи становятся отправным пунктом долгосрочной исторической реальности, посвященной работе с вышеупомянутыми явлениями и объектами. Наконец,

философский, потому что мы видим органичный сплав научной фантазии и идей, обладающих метафизическим оттенком. Идей, несомненно, новых. Идей, которые могут стать предметом гносеологического исследования. Теория познания стремится ухватить знаменательный момент, когда такого рода идеи обретают конкретную форму в мышлении, и пытается сосредоточить внимание на предшествующих этому событиях, дабы глубже понять механизм генерации новых идей.

Вернемся к лекции. Р. Фейнман предлагает слушателям подумать самостоятельно о том, как мы могли бы сконструировать маленькие механизмы. Но он, тем не менее, высказывает один из возможных путей. Снова мы можем видеть оригинальность его мышления. Р. Фейнман для наглядности примера предлагает использовать манипуляторы, которые используются для работы с радиоактивными материалами. Используя набор рычагов, оператор осуществляет управление «исполнительными руками» и отлично справляется с необходимыми манипуляциями. Используя относительную простоту устройства, ученый предлагает создать аналогичный манипулятор с «руками» в четыре раза меньше обычных. Теперь мы можем работать с деталями, размер которых в 4 раза меньше обычных. Затем мы можем сконструировать «руками» манипулятора «в одну четверть» аналогичное устройство в 4 раза меньше, получив манипулятор с «руками» в 16 раз меньше обычного. Продолжая работу по этой схеме, мы можем достигнуть по-настоящему малых размеров и, действительно, «обучим муравья обучать этому тлю». Конечно, существует ряд технических трудностей, на которые Ричард Фейнман указывает сразу. Возможны и другие пути получения малых инструментов. Необязательно создавать механизмы, представляющие собой механические «руки». Но давайте проследим дальнейшее развитие мысли учёного. Как справедливо замечает Ричард Фейнман, мы можем сделать сразу 10 манипуляторов «в одну четверть». Затем, если с помощью каждого устройства «в одну четверть» сконструировать по 10 «в одну шестнадцатую», мы получим сотню механизмов в 16 раз меньше обычного. Если мы получим таким образом 1000000 токарных станков в 4000 раз меньше обычного каждый – их суммарный объем будет занимать менее 2 % одного обычного станка. Значит, здесь не возникнет проблем ни с пространством для хранения манипуляторов, ни с материалом для их создания. Так мы прикоснулись к ещё одной идее, осмысление которой было про-

изведено позже в художественной форме у одного из идеологов и популяризатора нанотехнологий – Эрика Дрекслера. Идея эта подразумевает возникновение самовоспроизводящихся наномеханизмов, которые станут неуправляемо конструировать все новые и новые механизмы и наводнят планету⁶.

«По мере того, как мы будем заниматься миниатюризацией, станет появляться целый ряд интересных проблем». Р. Фейнман приводит интригующий пример. «Материалы будут слипаться вследствие молекулярных (Ван-дер-Ваальсовых) взаимодействий». Гайка, которую мы отвинтим, не будет падать, так как гравитация не будет играть существенную роль. Значительно сложнее будет снять ее с болта. Мы должны быть готовы к такого рода неожиданностям.

Наконец, Р. Фейнман подходит к самому дерзкому вопросу, относящемуся к манипуляциям, которые мы могли бы производить непосредственно с атомами.

«До сегодняшнего момента мы довольствовались тем, что рыли землю в поисках минералов. Мы нагреваем их, производим над ними разные манипуляции на макроразмерном уровне в надежде, что получим чистые субстанции, но с достаточно высоким уровнем примесей и так далее. И мы должны всегда принимать некоторые атомные перестроения, которые природа дарует нам». «Какими бы были свойства материалов, если бы мы могли в действительности перестраивать атомы так, как нам бы этого хотелось». Над этим стоит задуматься. Фейнман не может точно сказать, что бы случилось в случае, если бы мы получили некоторый контроль над направленным перестроением атомов, но он высказывает серьезные подозрения в том, что мы могли бы получить необычайно широкий спектр возможных путей применения и свойств таких материалов.

Следующий тезис выступления Ричарда Фейнмана приближает нас к проблемам, связанным с манипуляциями над отдельными атомами или их небольшими группами. Р. Фейнман, указывает на квантово-механическую природу законов, действующих на сопоставимом с атомарным размером уровне. Он предлагает использовать принципиально иные принципы работы с физическими системами столь малых размеров. Например, конструирование электрических схем возможно с использованием квантованных энергетических уровней, взаимодей-

⁶ Drexler K.E. Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology. Anchor Books, 1986.

ствия квантованных спинов и др. квантово-механические особенности систем малого размера. Интересна следующая мысль Р. Фейнмана: мы не можем сделать два механизма макроразмеров абсолютно идентичных размеров, но если наша конструкция включает в себя лишь 100 атомов, то мы можем получить идентичную конструкцию, включив в неё ровно 100 атомов. «На атомарном уровне мы столкнемся с новыми разновидностями сил, новыми возможностями и новыми эффектами. Проблемы производства и воспроизведения материалов будут выглядеть совершенно иначе».

«Основы физики, насколько я их понимаю, не говорят против возможности манипулирования отдельными атомами. Это не попытка нарушить законы; это, в принципе, то, что могло быть сделано, но на практике, это не сделано, так как мы *слишком большие*».

Р. Фейнман возвращается к проблеме синтеза физическим путем, который избавил бы химиков заниматься многоэтапными, длительными и сложными процессами для получения нужных соединений. Синтеза любого соединения посредством расположения отдельных атомов в нужном порядке. Стоит только представить этот процесс, и невероятные возможности, которые он приоткрывает перед человечеством. «Расположите атомы так, как скажет вам химик, и вы получите необходимую субстанцию».

«Теперь Вы можете спросить меня: «Кто займется всем этим и почему?». Р. Фейнман предлагает сделать все это хотя бы ради забавы. «Получите удовольствие! Пусть у нас будет соревнование между лабораториями. Пусть одна лаборатория сделает миниатюрный мотор и отправит его в другую лабораторию, которая установит в вал двигателя деталь и отправит обратно».

Р. Фейнман предлагает развить идею соревнования между высшими школами. Например, Высшая Школа Лос-Анжелеса могла бы отправить в Высшую Школу Венеции булавку с надписью на ней «Как оно?» [в оригинале «How's this?». Они получают булавку обратно, и в точке буквы «i» будет написано «Так себе» [«Not so hot»].

Р. Фейнман любил игры, головоломки. Любовь к ним была привита ему отцом. Фейнман упоминает о большой роли отца в его научении разным способам мышления в фильме «Посмотри на мир с другой стороны», а также в книге⁷. По словам Р. Фейнмана, од-

нажды ребенком почувствовав вкус открытия удивительного в мире, он стремился к этому всю жизнь: находить новое и интересное в разных вещах вокруг нас. Среди многочисленных любительских опытов, помимо изучения поведения муравьев, можно упомянуть его детские эксперименты с электрическими цепями, радиоприемниками. Р. Фейнман, находясь в Лос-Аламосе, в силу своей любознательности проводил опыты, связанные с возможностями человеческого обоняния, чтобы понять, действительно ли человек обладает худшим нюхом, чем собаки. [Интересно, что Фейнман в процессе опытов с изучением обоняния пришел к следующему выводу: у человека не такое уж плохое обоняние, просто его нос находится *слишком высоко*. Если бы не это, мы могли бы составить конкуренцию собакам. Продолжая аналогию, можно перефразировать его высказывание о миниатюризации. Мы бы манипулировали атомами, если бы не были *слишком большими*.] Стремление к игре, решению головоломок и любознательность – вот что побуждало Р. Фейнмана заниматься наукой. Поэтому ученый предлагает получить удовольствие от процесса изучения наших возможностей в миниатюризации.

Р. Фейнман допускает, что игра может не стать столь сильным побуждением, какими могут быть экономические мотивы. Поэтому он учреждает две премии по 1000 \$ каждая. Первая премия будет присуждена тому, кто первым найдет способ записать информацию со страницы книги на площади в 25000 раз меньшей оригинала так, чтобы было возможно прочитать написанное с помощью электронного микроскопа. Вторая премия – за создание функционирующего электрического моторчика, управляемого извне размером 1/64 дюма³ (0,256 мм куб.) не принимая в расчет подводящие провода.

В заключение Р. Фейнман говорит следующее: «Я не думаю, что эти премии будут очень долго ждать своих претендентов».

Итак, речь Ричарда Фейнмана, занявшая всего 8 машинописных листов, произнесенная в конце 1959 г. и впервые опубликованная в 1960 г. стала настоящим пророчеством. Нисколько не умаляя заслуг Ричарда Фейнмана, мы склонны обратить внимание на происходящие в мире в тот период, на то, что происходило ранее, на те проблемы, которыми занимался сам Ричард в то время. Так мы возможно, узреем благодатную почву, которая сделала возможным такой идейный рывок. Также мы попробуем найти в исторических закромах зачатки идей, ставших фундаментальными для строящего-

⁷ Фейнман Р.Ф. Какое тебе дело до того, что думают другие? М.; Ижевск: РХД, 2001. С. 12.

ся здания нанонауки в знаменательном выступлении одного из самых оригинальных физиков XX в.

Некоторые исторические данные о культурных, социальных и политических особенностях середины XX в.

Пятидесятые годы XX в. – это десятилетие, когда популярность приобрел рок-н-ролл, и Элвис Пресли снискал мировую известность, Рэй Бредбери закончил работу над «Марсианскими хрониками» и «451 градус по Фаренгейту», Хемингуэй трудился над ставшим знаковым произведением «Старик и море», а Борис Пастернак заканчивал работу над «Доктором Живаго». Тем временем в СССР, и в США набирала обороты Холодная война⁸. В США в 1947-1957 гг. расцвела вторая волна антикоммунистической истерии («Красной угрозы»), получившая нарицательное имя «маккартизм»⁹. В 1952 г. США, а в 1953 СССР провели испытания термоядерных бомб. В том же 1953 г. в США была начата коммерческая эксплуатация цветного телевидения. В 1958 г. был подписан Договор о нераспространении ядерного оружия. В 1957 создано Европейское общество по атомной энергии¹⁰. В 1950 Л.Д. Ландау и В.Л. Гинзбург создают теорию сверхтекучести¹¹. В 1958 они получают Нобелевскую премию за это открытие. В 1951 г. А.Д. Сахаров, О.А. Лаврентьев, И.Е. Тамм создают теорию управляемого термоядерного синтеза¹². В 1953 г. создаётся первый электронный компьютер (UNIAS I)¹³, Уотсон и Крик расшифровывают структуру ДНК¹⁴. В 1954 запущена первая АЭС в г. Обнинске, СССР, Н.Г. Басов и А.М. Прохоров созда-

ют первый лазер. В 1955 г. совершает свой первый полет первый реактивный пассажирский самолет ТУ-104. В 1957 г. на воду было спущено первое в мире надводное судно с ядерной установкой, атомный ледокол «Ленин». Тогда же запускается первый в мире искусственный спутник Земли (СССР), а затем первый биологический спутник с собакой Лайкой (СССР). В 1958 г. запущена первая в мире космическая ракета многоразового использования «Буря», запускается космическая программа «Луна», станция Луна-1 становится первым искусственным спутником Солнца. Тогда же был создан первый самолет с ядерными двигателями (ТУ-142ЛАЛ). В 1959 г. станция Луна-2 достигла поверхности Луны, а станция Луна-3 выполнила и передала на Землю фотографии обратной стороны спутника. Так человек впервые увидел обратную сторону Луны.

В СССР 50-х гг. руководству страны не давали покоя социально-экономические проблемы, связанные с нехваткой продовольствия (апофеозом проблемы стал факт импорта зерна в 1962 г.), одежды, необходимость поддержания высокого уровня технического развития (что и определило космические и атомные достижения страны), укрепление обороны страны и ее союзников¹⁵. Быть может, технологии, связанные с манипуляциями малыми объектами не выглядели в то время перспективными для оборонной промышленности. Возможно, проблема «построить» как можно скорее коммунистическое общество в СССР занимала главное место в умах руководителей страны, а идеологическое давление сыграло свою немалую роль в определении приоритетных направлений развития научной мысли. Возможно также и то, что наш неглубокий поиск не позволил выявить существовавшие в СССР идеи, связанные с миниатюризацией.

В то же время среди американской молодежи, вдохновленной распространением автомобилей и реактивной авиации, началом атомной и космической эры, набирал популярность стиль гуги¹⁶. Это период времени в США был проникнут безграничным оптимизмом. Человек успешно осваивал атомную энергию и космос. Будучи вдохновленным успехами в космосе и освоении энергии корпускул, можно предположить, что человек мог бы стать таким же успешным и в области непосредственных манипуляций корпускулами.

⁸ Арнольд Дж., Берт Дж., Дадли У. Пламя «холодной войны»: Победы, которых не было / Cold War Hot: Alternative Decisions of the Cold War / Под ред. Питера Цураса, пер. Ю. Яблокова. М.: АСТ, Люкс, 2004. 480 с.

⁹ Schrecker E. The Age of McCarthyism: A Brief History with Documents (2d ed.). Palgrave Macmillan, 2002.

¹⁰ Дьяченко А.А. Ополненные в борьбе при создании ядерного щита Родины. Липецк: Полиграф-Сервис, 2008.

¹¹ Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 736 с.

¹² Сахаров А.Д. Теория магнитного термоядерного реактора. Ч. 2 сборника «Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций». М., 1958.

¹³ McCartney S. ENIAC: The Triumphs and Tragedies of the World's First Computer. Berkley Books, 2001. 262 p.

¹⁴ Watson J., Crick F. Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid // Nature. 1953. 171 (4356). P. 737-738.

¹⁵ Зубкова Е.Ю. Общество и реформы. 1945-1964. М., 1993.

¹⁶ Salamone F.A. Popular Culture in the Fifties. University Press of America, 2001. P. 141.

Попытка выявить внутреннюю логику в возникновении взрывного интереса к нанотехнологиям

Говоря об идеях миниатюризации целесообразно обратиться к истории и попытаться увидеть момент, когда возникли идеи, связанные с исследованиями малых объектов.

Ещё в 1704 г. в работе Исаака Ньютона «Opticks» великий ученый выражал надежду на то, что микроскопы в будущем позволят исследовать корпускулы¹⁷.

Обратим также внимание на сказ Н.С. Лескова «Левша». Левша со своими коллегами, согласно повествованию, подковали «англицкую блоху». «Если бы, – говорит, – был лучше мелкоскоп, который в пять миллионов увеличивает, так вы изволили бы, – говорит, – увидеть, что на каждой подковинке мастерово имя выставлено: какой русский мастер ту подковку делал»¹⁸. Важно отметить, что уже в 1881 г. у Н.С. Лескова по каким-то причинам (возможно, патриотическим) возникла идея о беспрецедентной миниатюризации.

Отметим, что мы произвели неглубокий поиск информации по этой теме и не удивились бы, что более тщательное исследование увело бы нас в более ранние исторические периоды.

Мы находим, что надежды, связанные с исследованиями малых размерных областей нельзя назвать оригинальными для второй половины XX века. Они возникали и раньше, но не получали своего развития. Возможно, что прежде идеи о производстве *манипуляций* на малом размерном уровне должна была возникнуть идея о создании средств для *наблюдения* за малыми размерными объектами. Аргументом для этого может служить следующее положение: наука в истоках своего становления у древних эллинов предполагала, прежде всего, созерцание, наблюдение. Для более эффективного изучения этого вопроса следует рассмотреть историю развития инструментов для наблюдения за объектами, которые не может увидеть невооруженный человеческий глаз. Будучи последовательными, нам следовало бы углубиться в историю и начать свое изучение таких инструментов с изобретения линз, очков и луп. Интерес-

но, что первое упоминание о линзах можно найти у Аристофана в «Облаках» (424 г. до н.э.)¹⁹. Возможно, Нерон первым применял линзы для коррекции зрения, наблюдая за гладиаторскими боями через вогнутый изумруд. Линзы получили широкое распространение с появлением очков примерно в 1280-х гг. в Италии. Первые исторические упоминания о микроскопах относятся к концу XVI – началу XVII вв. и связаны с именами Иоанна Липперсгея и Захария Янсена, которые занимались изготовлением очков. Галилео Галилей изобрел в 1609 г. составной микроскоп с выпуклой и вогнутой линзами²⁰. Термин микроскоп предложил Джованни Фабер, друг Галилея из Национальной академии деи Линчеи «Академии рысьеглазых» в 1625 г. [Название Академии не случайно. В то время для того, чтобы заниматься научной работой предполагалось необходимым обладать очень острым зрением, что согласуется с нашим предположением о важной роли зрительного анализатора в научном познании, особенно до развития более широких возможностей для опосредованного созерцания.] Настоящую популярность микроскопы получили с выходом в свет в 1664 г. «Микрографии» Роберта Гука с потрясающими иллюстрациями, которые были сделаны на основе проведенных исследований. В 1674 г. Антони ван Левенгук улучшает конструкцию микроскопа так, что с его помощью становится возможным наблюдение одноклеточных организмов. Сохранившиеся до настоящего времени микроскопы, сконструированные Левенгуком, позволяют увеличивать изображение в 275 раз. Эрнст Аббе во второй половине 19 века разработал теорию микроскопа, что стало прорывом в технике создания микроскопов, которая до этого момента в основном основывалась на методе проб и ошибок. Однако Аббе одним из первых указал и на ограничения оптических систем. В 1931 г. Эрнст Руска создает первый просвечивающий электронный микроскоп²¹. В 1936 г. Эрвин Вильгельм Мюллер изобрел полевой эмиссионный микроскоп, а в 1951 г. – первый полевой ионный микроскоп, что

¹⁹ Аристофан. Облака. М.: Художественная литература, 1970.

²⁰ Gould S.J. The Lying Stones of Marrakech: Penultimate Reflections in Natural History. Chapter 2: The Sharp-Eyed Lynx, Outfoxed by Nature. New York: Harmony, 2000.

²¹ Руска Э. Развитие электронного микроскопа и электронной микроскопии: Нобелевская лекция // Атомы «глазами» электронов. М.: Знание, 1988.

¹⁷ McClellan J.E. III, Dorn H. Science and Technology in World History. – Second Edition. Johns Hopkins university press, 2006. P. 263

¹⁸ Лесков Н.С. Собр. соч. в 5-и тт. Т. 3. М.: Правда, 1981. С. 17.

позволяет *видеть атомы*²². В 1953 г. Фриц Цернике получает Нобелевскую премию за изобретение фазово-контрастного микроскопа²³. В 1955 г. Ежи Номарски опубликовал теоретические основы дифференциальной интерференционно-контрастной микроскопии²⁴. Таким образом, мы видим серию успешных открытий, произведенных в 30-е – 50-е годы XX в., которые значительно расширили человеческие возможности по изучению мира малых объектов. До изобретения электронных микроскопов, в силу существования дифракционного предела оптических систем, максимальное разрешение, на которое можно было рассчитывать теоретически при конструировании оптического микроскопа, составляло около 200 нм. Несмотря на то, что первые электронные микроскопы не превышали возможности оптических, их создание ознаменовало собой преодоление дифракционного предела оптических систем. Теоретически электронные микроскопы позволяют получать разрешение 0,1 – 0,01 нм, что сопоставимо с размерами атомов. Например, радиус атома гелия составляет 0,032 нм, а атома цезия – 0,225 нм²⁵. И, как уже было упомянуто, созданный в 1953 г. Эрвином Мюллером полевой ионный микроскоп позволил впервые *увидеть* атомарную структуру металла.

Мы видим, что в 30-е гг. происходит настоящая революция в технике конструирования микроскопов, которая в 50-е гг. набирает свою силу и воплощает собой прорыв в области вторжения человеческого взора в микро- и наномиры.

Рассматривая исторический период, когда технологически наблюдения в малой размерной области становятся практически возможны, мы не должны удивляться, увидев, что кто-то из ученых мужей делает попытку заглянуть в будущее. И Ричард Фейнман делает это весьма успешно. Но представьте, если бы Ньютон в начале XVIII в. развил свою идею о миниатюризации и произвел на свет подробную научную фантазию о манипули-

ровании в наноразмерном диапазоне. Осмелюсь предположить, что тогда это звучало бы как беспочвенная фантазия. Когда это сделал Р. Фейнман, вряд ли можно было сказать то же самое. [Здесь уместно вспомнить историю развития гелиоцентрической модели строения Вселенной. Коперник не был оригинален настолько, насколько был оригинален Аристарх Самосский. Но социо-культурная обусловленность людей, живших в III веке до н.э. не позволила развиваться прогрессивному научному взгляду. Возвращаясь к надеждам, выраженных Ньютоном, мы могли бы сказать, что технологическая платформа в начале XVIII в. не была развита в достаточной степени для развития идей, связанных с нанотехнологиями.] Технологии уже подошли практически вплотную к тому уровню развития, о котором говорит Ричард Фейнман. Учёный, безусловно, заглянул в будущее, и постарался представить некоторые его детали. Идеи о миниатюризации, которые высказывались и значительно раньше, получили свое более подробное развитие впервые у Р. Фейнмана в 1959 г. Мы все же можем спрашивать, почему именно в 1959 г. и почему именно у Р. Фейнмана. Ранее мы достаточно подробно обсудили знаменитую лекцию Ричарда Фейнмана, могли наблюдать за интригующим ходом его мыслей и попытались найти некоторые предпосылки в его жизни, которые сыграли определенную роль в формировании образа мышления учёного в общем, и, в частности, могли стать отправными точками для отдельных идей в его выступлении.

Дополнительно представляется полезным уделить внимание своеобразному методу Ричарда Фейнмана, который был, без сомнения, интересным. Истоки его формирования, несомненно, можно найти в подходе, которому обучал его в детстве отец. Рассказывая про динозавров, Мелвилл Фейнман предлагал представить Ричарду натуральные размеры динозавра наглядно, как если бы он находился во дворе их дома. «Тут мой папа переставал читать и говорил: «Давай-ка посмотрим, что это значит. Это значит, что если бы он оказался на нашем дворе, то смог бы засунуть голову в это окно». (Мы были на втором этаже.) «Но его голова была бы слишком широкой, чтобы пролезть в окно». Все, что он мне читал, он старался перевести на язык реальности»²⁶. Этот подход стал частью метода

²² Oura K., Lifshits V.G., Saranin A.A., Zotov A.V. and Katayama M. Surface Science – An Introduction. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.

²³ Zernike F. How I discovered phase contrast // Science. 1955. 121. P. 345-349.

²⁴ Nomarski G. Microinterféromètre différentiel à ondes polarisées. josh porter rules // J. Phys. Radium. (Paris). 1955. 16. 9S-11S.

²⁵ Zumdahl S.S. Introductory Chemistry: A Foundation. 5th ed. Houghton Mifflin, 2002.

²⁶ Фейнман Р.Ф. Какое тебе дело до того, что думают другие? М.; Ижевск: РХД, 2001. С. 13.

учёного. Он смотрел на научные проблемы, в первую очередь, не изучая математические выкладки, а сравнивая то, что из них выходит с изменениями физической модели, которую он представлял себе. Этот метод ученый описывает, говоря о своей студенческой игре с математиками, занимавшимися топологией. «Пока они рассказывают мне условия этой теоремы, я в уме строю нечто, что подходит ко всем ее условиям. Это легко: у вас есть множество (один мяч), два непересекающихся множества (два мяча). Затем, по мере роста количества условий, мои мячики приобретают цвет, у них отрастают волосы или что-нибудь еще. Наконец, математики выдают какую-то дурацкую теорему о мяче, которая совсем не подходит к моему волосатому зеленому мячику. Тогда я говорю: «Ложь!»²⁷. Этот метод также находит отражение в сотрудничестве Р. Фейнмана с японскими учеными. «Он думает, что я шаг за шагом следовал за его математическими выкладками. Но я этого не делал! У меня есть свой физический пример того, что он хочет проанализировать, а опыт и интуиция помогают мне представить его свойства. Поэтому, когда уравнение говорит, что дело обстоит каким-то образом, а я знаю, что так быть не может, я вскакиваю и кричу: «Постойте! Здесь ошибка!»²⁸. В этом – глубокая связь мысленного эксперимента с теорией в физике, какой ее воспринимал Фейнман. Именно этот подход ученый использовал, решая теоретические задачи. Занимательно обнаружить в физике-теоретике – экспериментатора, проводящего мысленные эксперименты, и именно таким путем решающих научные проблемы в теории. Отметим также смелость предположений Р. Фейнмана. Ученый сам замечал, что иногда для произведения большего эффекта высказывался в определенной степени наугад, даже когда не был абсолютно уверен, что прав. Не будучи склонным делать каких-либо строгих и спешных выводов из приведенных выше наблюдений, я, тем не менее, убежден, что они заслуживают нашего пристального внимания. Заметим лишь, что нам не стоило бы удивляться, что к знакомству с миром малых объектов нас приглашает ученый, обладающий смелостью и даже дерзостью мысли, чьи научные интересы лежат главным образом в области квантовой механики. Интересно также, что именно квантовая механика объясняет

существование удивительных явлений наномира и поразительных свойств наноразмерных объектов. Кто, как ни учёный, занимающийся квантовой механикой, мог предсказать, что наномир достоин внимания для глубоких исследований!?

Почему изучение нанометрового мира получило толчок именно в 1959 г.? Здесь мы можем говорить и о революции в технике создания микроскопов, позволившей непосредственно поднять вопрос о развитии исследований в области малых размеров, и о потрясающих успехах человечества в освоении энергии атомного ядра и космоса, которые вдохновляли человечество на дальнейшее изучение природы.

Обратим внимание на практически одновременное создание микроскопа и телескопа в XVI-XVII вв. В этом мы можем увидеть интересную тенденцию к наблюдению за объектами, с одной стороны, которые находятся от человеческого глаза настолько далеко, насколько физиологические возможности органа зрения не позволяют заглянуть, а с другой, имеют настолько малые размеры, что человеческий глаз не способен их разглядеть. Увидеть больше вверху, на небе и увидеть больше внизу, на земле. Изучать звезды и корпускулы. Изучать предельно большое, ибо человеку неизвестно ничего более крупного, чем небесные тела, созданные *Богом*, и изучать предельно малое, ибо человек не знает ничего более малого, чем корпускулы, созданные его *собственным разумом*. Осмелимся перефразировать знаменитое выражение И. Канта следующим образом: «Три вещи наполняют душу всегда новым и все более сильным удивлением и благоговением, чем чаще и продолжительнее мы размышляем о них, – это бесконечное звездное небо надо мной, моральный закон во мне и бесконечный океан пыли подо мной».

Среди органов чувств, участвующих в восприятии эмпирического чувственного опыта, орган зрения, несомненно, занимает главенствующую позицию. Очевидно, что воспринимать органом зрения возможно лишь те объекты, которые доступны для наблюдения. До появления телескопов и микроскопов наблюдательные возможности были ограничены его физиологическими особенностями. Среди ограничений оптической системы глаза можно назвать пределы аккомодации, расстояние между двумя световоспринимающими клетками, возможность детектирования электромагнитных волн видимого спектра, минимальную интенсивность сигнала от источника света. При

²⁷ Фейнман Р.Ф. Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман! М.: АСТ, Астрель, 2011. С. 42.

²⁸ Там же. С. 133.

удалении от объекта на расстояние наилучшего видения (25 см), среднестатистическое нормальное разрешение составляет 0,176 мм. Телескопы и микроскопы значительно расширили наши возможности как для наблюдения объектов вдалеке, так и объектов малых размеров.

Далее мы выскажем предположение, которое требует глубокой проверки с привлечением исторических данных, но которое, должно быть, заслуживает внимания.

Мы можем увидеть связь между особенностями исторического развития нанотехнологии и бурным развитием техники создания микроскопов. Индуктивно мы можем теперь предположить связь более общую между развитием научной мысли на протяжении всего её существования и хронологией развития средств, расширяющих возможности чувственного восприятия. Трудно представить себе развитие науки без телескопа, микроскопа, очков и лупы. Душа каждого из этих инструментов – линза. Линза – вот подлинное око учёного. Это око – окно в мир научных чудес, но оно же – источник аберраций, источник искажений созерцаемого. Учёный изучает природу через призму не только своих страстей, но и через призму несовершенного инструмента.

Человек охватывает своим взором непосредственно лишь малую часть этого мира, опосредованно – значительно большую. Невооруженным взглядом мы обзираем не так уж много. Но с помощью радиоинтерферометров мы наблюдаем за космическими объектами, которые называем дальними галактиками, а с помощью камер Вильсона – за объектами, которые называем бета-частицами.

И для того, что мы наблюдаем и мыслим, мы создаём целые построения, связанных между собой понятий, суждений – теории – которые позволяют нам ответить на вопросы о наблюдаемом

и осмысляемом. И иногда эти теории относятся к объектам, наблюдаемым непосредственно, иногда – к наблюдаемым опосредованно, а иногда к объектам, которые существуют лишь как идеи и пока не нашли своего действительного воплощения в реальности.

В этом – схожесть между метафизическими построениями философии, религиозными писаниями и теориями науки. И те, и другие, и третьи служат объяснению наблюдаемого. И те, и другие, и третьи не имеют непосредственной связи с реальностью, являясь плодом фантазии разума. Разницу, однако, можно увидеть в наличии догм как откровения, так и авторитета у мистика, и их отсутствия у учёного и философа. Разница ещё и в том, что философия и наука способствуют развитию мысли в её прекрасных, восхитительных формах, а религия зачастую парализует возможности разума, сковывая его практически всецело.

Заключение

Данное исследование, несомненно, не отличается исчерпывающей глубиной исторического и философского поиска. Его можно и следовало бы продолжать дальше, что, однако, вышло бы за границы формата данной работы. Мы намеренно не делаем каких-либо широких обобщений и выводов относительно предмета исследования, так как считаем целесообразным, с одной стороны, оставить его открытым для обсуждения, а с другой, – избавить настоящую работу от преждевременной критики. Исследование привело нас к ряду интересных идей, которые, возможно, заслуживают внимания и, быть может, получают свое дальнейшее развитие в новых исследованиях, посвященных истории и философии науки, в частности философии и истории нанотехнологии.

Список литературы:

1. Аристофан. Облака. М.: Художественная литература, 1970.
2. Арнольд Дж., Берт Дж., Дадли У. Пламя "холодной войны": Победы, которых не было / Cold War Hot: Alternative Decisions of the Cold War / Под ред. Питера Цураса, пер. Ю. Яблокова. М.: АСТ, Люкс, 2004. 480 с.
3. Дьяченко А.А. Опаленные в борьбе при создании ядерного щита Родины. Липецк: Полиграф-Сервис, 2008.
4. Зубкова Е.Ю. Общество и реформы. 1945-1964. М., 1993.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 736 с.
6. Лесков Н.С. Собр. соч. в 5-и тт. Т. 3. М.: Правда, 1981.
7. Руска Э. Развитие электронного микроскопа и электронной микроскопии: Нобелевская лекция. // Атомы «глазами» электронов. М.: Знание, 1988.
8. Сахаров А.Д. Теория магнитного термоядерного реактора. Часть 2 сборника «Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций». М., 1958.
9. Фейнман Р.Ф. Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман! М.: АСТ, Астрель, 2011.

10. Фейнман Р.Ф. Какое тебе дело до того, что думают другие? М.-Ижевск: РХД, 2001.
11. Фрейд З. Введение в психоанализ. Лекции. М.: Наука, 1991.
12. Drexler K.E. Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology. Anchor Books, 1986.
13. Feynman R.P. There's Plenty of Room at the Bottom // Caltech Engineering and Science. 1960. Volume 23:5. P. 22-36.
14. Gould S.J. The Lying Stones of Marrakech: Penultimate Reflections in Natural History. Chapter 2: The Sharp-Eyed Lynx, Outfoxed by Nature. New York: Harmony, 2000.
15. Hanrath, Tobias and Korgel, Brian A. Supercritical fluid-liquid-solid (SFLS) synthesis of Si and Ge nanowires seeded by colloidal metal nanocrystals // Advanced Materials. 2003. № 15(5). P. 437-440.
16. McCartney S. ENIAC: The Triumphs and Tragedies of the World's First Computer. Berkley Books, 2001. 262 p.
17. McClellan J.E. III, Dorn H. Science and Technology in World History. Second Edition. Johns Hopkins university press, 2006. P. 263
18. Moshe David-Pur, Lilach Bareket-Keren, Giora Beit-Yaakov, Dorit Raz-Prag, and Yael Hanein. All-carbon-nanotube flexible multi-electrode array for neuronal recording and stimulation // Biomed Microdevices. 2014. № 16. P. 43-53.
19. Nomarski G. Microinterféromètre différentiel à ondes polarisées.josh porter rules // J. Phys. Radium. (Paris). 1955. № 16. 9S-11S.
20. Oura K., Lifshits V.G., Saranin A.A, Zotov A.V. and Katayama M. Surface Science – An Introduction. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.
21. Salamone F.A. Popular Culture in the Fifties. University Press of America, 2001. P. 141.
22. Schrecker E. The Age of McCarthyism: A Brief History with Documents (2d ed.). Palgrave Macmillan, 2002.
23. Watson J., Crick F. «Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid» // Nature. 1953. № 171(4356). P. 737-738.
24. Zernike F. How I discovered phase contrast // Science. 1955. № 121. P. 345-349.
25. Zumdahl S.S. Introductory Chemistry: A Foundation. 5th ed. Houghton Mifflin, 2002.

References (transliteration):

1. Aristofan. Oblaka. M.: Hudozhestvennaja literatura, 1970.
2. Arnol'd Dzh., Bert Dzh., Dadli U. Plamja "holodnoj vojny": Pobedy, kotoryh ne bylo / Cold War Hot:Alternative Decisuicions of the Cold War / Pod red. Pitera Curosa, per. Ju. Jablokova. M.: AST, Ljuks, 2004. 480 s.
3. D'jachenko A.A. Opalennye v bor'be pri sozdanii jadernogo shhita Rodiny. Lipeck: Poligraf-Servis, 2008.
4. Zubkova E.Ju. Obshhestvo i reformy. 1945-1964. M., 1993.
5. Landau L.D., Lifshic E.M. Gidrodinamika. M.: Nauka, 1986. 736 s.
6. Leskov N.S. Sobr. soch. v 5-i tt. T. 3. M.: Pravda, 1981.
7. Ruska Je. Razvitie jelektronnogo mikroskopa i jelektronnoj mikroskopii: Nobelevskaja lekci // Atomy «glazami» jelektronov. M.: Znanie, 1988.
8. Saharov A.D. Teorija magnitnogo termojadernogo reaktora. Chast' 2 sbornika «Fizika plazmy i problema upravljaemyh termojadernyh reakcij». M., 1958.
9. Fejnman R.F. Vy, konechno, shutite, mister Fejnman! M.: AST, Astrel', 2011.
10. Fejnman R.F. Kakoe tebe delo do togo, chto dumajut drugie? M.-Izhevsk: RHD, 2001.
11. Frejd Z. Vvedenie v psihoanaliz. Lekcii. M.: Nauka, 1991.
12. Drexler K.E. Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology. Anchor Books, 1986.
13. Feynman R.P. There's Plenty of Room at the Bottom // Caltech Engineering and Science. 1960. Volume 23:5. P. 22-36.
14. Gould S.J. The Lying Stones of Marrakech: Penultimate Reflections in Natural History. Chapter 2: The Sharp-Eyed Lynx, Outfoxed by Nature. New York: Harmony, 2000.
15. Hanrath, Tobias and Korgel, Brian A. Supercritical fluid-liquid-solid (SFLS) synthesis of Si and Ge nanowires seeded by colloidal metal nanocrystals // Advanced Materials. 2003. № 15(5). P. 437-440.
16. McCartney S. ENIAC: The Triumphs and Tragedies of the World's First Computer. Berkley Books, 2001. 262 p.
17. McClellan J.E. III, Dorn H. Science and Technology in World History. Second Edition. Johns Hopkins university press, 2006. P. 263.
18. Moshe David-Pur, Lilach Bareket-Keren, Giora Beit-Yaakov, Dorit Raz-Prag, and Yael Hanein. All-carbon-nanotube flexible multi-electrode array for neuronal recording and stimulation // Biomed Microdevices. 2014. № 16. P. 43-53.
19. Nomarski G. Microinterféromètre différentiel à ondes polarisées.josh porter rules // J. Phys. Radium. (Paris). 1955. № 16. 9S-11S.
20. Oura K., Lifshits V.G., Saranin A.A, Zotov A.V. and Katayama M. Surface Science – An Introduction. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.
21. Salamone F.A. Popular Culture in the Fifties. University Press of America, 2001. P. 141.
22. Schrecker E. The Age of McCarthyism: A Brief History with Documents (2d ed.). Palgrave Macmillan, 2002.
23. Watson J., Crick F. «Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid» // Nature. 1953. № 171(4356). P. 737-738.
24. Zernike F. How I discovered phase contrast // Science. 1955. № 121. P. 345-349.
25. Zumdahl S.S. Introductory Chemistry: A Foundation. 5th ed. Houghton Mifflin, 2002.