

О понятии «Теоретический ресурс технологических новаций»

Мамчур Е.А.

Аннотация: Опираясь на представление о существовании двух уровней рассмотрения взаимодействия науки и технологии (макро и микро-уровень), в данной статье автор сконцентрировалась на уровне микро-моделирования. В работе показано, что теории фундаментальной науки, взятые в их целостности, не участвуют в получении технологических приложений; ведущую роль в этом процессе играет то, что в статье названо «теоретическим ресурсом инновации». С целью обоснования выдвинутого тезиса анализируются два case studies взаимодействия науки и технологии, взятых из истории науки и современной научной практики: 1) роль генетики в получении генетически измененных видов растений и животных и 2) роль квантовой механики в разработке квантовой криптографии.

Ключевые слова: фундаментальная наука, технологические инновации, взаимодействие, макро-модели, микро-модели, холизм, эпистемологический аспект, теоретический ресурс, геномика, квантовая криптография.

Холизм или элементаризм?

Проблема взаимоотношения науки и технологии одна из наиболее обсуждаемых в современной философии науки. Ей посвящена большая литература, к сожалению преимущественно западная. В отечественной философии эта проблема обсуждается мало. Здесь преобладают работы, в которых ставятся вопросы о взаимоотношении науки и общества, о формах организации научных и технологических исследований, о возможных последствиях внедрения технологических новаций, о тех рисках, с которыми связано внедрение новых технологий, об ответственности ученых перед обществом. Т.е. вопросы, которые принято относить к социологии научного познания и этике. Но для философии науки взаимоотношение фундаментальной науки и технологии – это, прежде всего, *эпистемологическая* проблема. Она выводит исследователя упомянутый проблемы на такие теоретико-познавательные вопросы как цели и задачи фундаментальных, прикладных исследований и технологии; поиски различия

между чистой и прикладной науками; поиски модели взаимодействия науки и технологии; проблема критериев оценки результатов научного и технологического знания; взаимоотношение истины и пользы, истины и ценностей в двух рассматриваемых сферах эпистемологической деятельности; вопрос о статусе понятия «технонаука» в современной философии науки и т.д.

Эпистемологический ракурс взаимодействия фундаментальной науки и технологии уже анализировался в нашей литературе¹. Было введено понятие о существовании двух уровней анализа проблемы: *макро-уровень*, где упоминаемое взаимодействие рассматривается как бы «с высоты птичьего полета», и где речь может вестись о *макро-модели* рассматриваемого взаимодействия; и *микро-уровень*, на котором происходит детализированная реконструкция взаимодействия науки и технологии, и речь, соответственно, ведется о конкретных механизмах этого взаимодействия.

Следует отметить, что в отечественной методологии 70-80 гг. прошлого века вопрос о взаимодействии науки и технологии обсуждался очень оживленно. Однако рассмотрение фактически велось только на макро-уровне, и им и ограничивалось. Писали о большой роли фундаментальной науки в развитии технологии, об обратном позитивном влиянии технологии на науку. Но вопрос о конкретных механизмах включения фундаментальной науки в процесс получения технологических новаций не рассматривался.

И пока ситуация остается прежней. В отечественной философии науки по этой проблеме превалирует холистский подход. Многие исследователи утверждают, что мы вступили в стадию конвергентных парадигм. Так, очень популярны в нашей философии науки представления о нано-био-инфо-когнито (NBIC) - конвергентной парадигме. Речь идет о кластере дисциплин, работающих в тесном взаимодействии друг с другом. Многие философы считают, что именно он определяет лицо и сущность современной науки. Более того, делаются заключения о том, что такие кластеры являются новым этапом развития науки, пришедшим на смену постнеклассической науке.

Такой кластер тесно связанных между собой дисциплин действительно существует. Но если не анализировать, как он образуется, как взаимодействуют между собой вовлеченные в него дисциплины, мы фактически останемся на

¹ См., напр. Мамчур Е.А. Фундаментальная наука и технология// Вопросы философии, 2011. №3.

уровне деклараций. А ведь это объединение дисциплин объявляется чуть ли не главным феноменом, символизирующим собой технонауку. И поскольку весьма распространено мнение о том, что наука на современной стадии ее развития как раз и является технонаукой, становится понятным, как важна для философии науки аналитическая деятельность по исследованию механизмов взаимодействия науки и технологии во всем их богатстве и разнообразии.

Естественно, в самом по себе холизме нет ничего плохого. Но холизм как представление о целом должен быть итогом аналитической работы (где превалирует элементаристский подход). Он не должен быть априорным. Если все сказанное верно, то цель настоящей статьи можно определить так: не претендуя на исчерпывающее решение проблемы механизмов взаимодействия фундаментальной науки и технологии, сделать первый шаг в решении рассматриваемой проблемы, положить начало распутыванию узла проблем, завязанным холистским подходом.

Прежде чем приступить к конкретному моделированию взаимодействия фундаментальной науки и технологии на микро-уровне, мы предполагаем хотя бы кратко вернуться к уже полученным нами ранее результатам. Обратимся к макро-уровню анализа проблемы и рассмотрим предложенные в современной философской литературе макро-модели взаимодействия науки и технологии.

Макро-уровень рассмотрения проблемы

Наиболее популярной долгое время была (да и сейчас остается) так называемая «линейная» модель взаимодействия науки и технологии (иногда ее называют «каскадной», стремясь противопоставить ее так называемой «непрерывной» (continuous) модели². (Суть последней будет рассмотрена ниже). Считается, что идея линейной модели принадлежит Ф. Бэкону. Источником технологических новаций выступает в ней фундаментальная, чистая наука. Открытия в фундаментальных (базисных, чистых) науках являются основой развития технологии, которая, таким образом, оказывается приложением науки. Схематически бэконовскую модель можно представить в виде цепочки, состоящей из трех звеньев:

² Cuevas Ana. The Many Faces of Science and Technology Relationships// Essays in Philosophy. A Biannual Journal, vol.6, №1, 2005, P. 7-8.

Академическая (чистая) наука → прикладная наука/технология → рост благосостояния общества

Схема 1

В современную нам эпоху интерес к вопросу о механизмах взаимодействия науки и технологии вообще, и к бэконовской модели, в частности, был в значительной степени стимулирован известным докладом главы существующего в США в годы второй мировой войны Министерства научных исследований и развития науки Ванневара Буша, который он написал по просьбе президента США Ф.Рузвельта. В письме президента ставился вопрос о том, какова должна быть стратегия развития науки в США в послевоенное время. В докладе Буша³ были представлены соображения о том, как следует распределять инвестиции в научные исследования в мирное время. Буш полагал, что наилучшая стратегия развития науки – вкладывание средств в фундаментальную науку, поскольку она является источником и основой развития технологий. «Нации, которые зависят от других стран в достижении нового базисного знания, будут отставать в своем технологическом развитии», – писал В.Буш.⁴

Наиболее интересное, хотя и наименее понятное и обоснованное соображение Буша касается характера фундаментальных исследований. Он утверждал, что *базисные исследования должны вестись без всякой оглядки на возможные приложения*. Ученые-фундаментальщики не должны думать о практическом использовании результатов базисной науки. Наоборот, чем более ученые, занятые в базисных исследованиях, будут далеки от идеи полезности, тем более продуктивными будут результаты их деятельности в технологии.

Странная мысль! Возникает вопрос: почему? Наиболее вероятное объяснение такого понимания характера фундаментальных наук состоит в том, что Буш преследовал определенную цель – защитить науку от государственного контроля (ведь чистые исследования государством не контролируются), но при

³ .Science, the Endless Frontier, A report to the President on a Program for Postwar Scientific Research, by Vannevar Bush, July 1945, http://openlibrary.org/books/OL5840568M/science_the_endless_front

⁴ Op.cit, P. 19

этом сохранить ее финансирование. Однако, руководствуясь такой благородной целью, Буш привнес в дискуссии нежелательный, с нашей точки зрения, момент: мотивацию исследователей. Ниже мы вернемся к этому вопросу, пока же подытожим: определяя стратегию развития науки, Буш утверждал, что 1) чистые исследования должны оставаться чистыми (без всяких соображений о получении пользы) и 2) именно их и нужно финансировать, если руководствоваться стремлением к экономическому благосостоянию общества.

Очевидно, что Буш придерживался бэконовской линейной модели. До середины XX в. она, фактически, была единственной моделью, которой руководствовались не только философы науки и техники, но и политики в области науки, осуществляющие ее финансирование. Однако, начиная с 70-х гг. прошлого века, эта модель стала подвергаться критике. Ее критикуют за то, что она, полагая, что источником технологических новаций является всегда фундаментальная наука, не предлагает конкретных механизмов участия чистых исследований в технологических новациях. Что, будучи каскадной, недооценивает реверсивные процессы, когда не наука вносит вклад в развитие технологии, а наоборот новые технологии вносят вклад в развитие фундаментальной науки. Такое обратное движение чаще всего осуществляется с помощью изобретенных (без прямого влияния чистых исследований) приборов. Достаточно напомнить, какой толчок к развитию получила астрономия после изобретения Галилеем телескопа. Кроме того, модель Бэкона не «покрывает» тех случаев в развитии науки, когда источником развития технологии выступает не чистая наука, а предшествующая технология.

Последнее соображение легло в основу модели, построенной Адамом Смитом во второй половине XVIII в. Смит сформулировал другую модель (см. схему 2). По форме она также являлась линейной (и даже «каскадной»), но по содержанию выступает как альтернативная бэконовской: главной движущей силой развития технологии выступают в ней не фундаментальная наука, а потребности рынка, и источником технологических новаций является не академическая наука, а предшествующие технологии. Из схемы 2 видно, что Смит не отрицал вклада академической науки в развитие новых технологий. Тем не менее, другие работы Смита показывают, что он считал ее наименее

важным источником технологических достижений. Схематически модель Смита можно представить так:

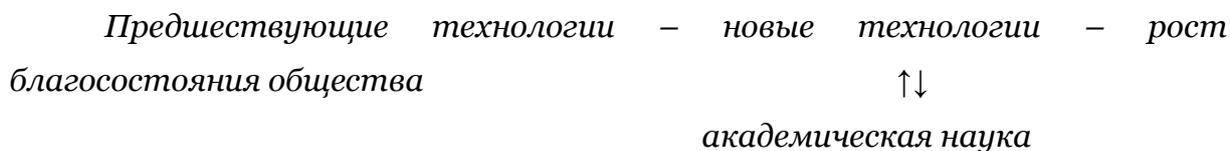


Схема 2

Различия в двух моделях можно объяснить частично тем, что Адам Смит родился спустя сто с лишним лет после Бэкона и жил в условиях бурного развития рынка и техники. В «Лекциях по юриспруденции», которые он читал в Университете Глазго в 1763-1764 гг., он говорил: «Если вы войдете в любой из рабочих домов любой мастерской ... Шеффилда, Бирмингена или Глазго, и расспросите работников о том, как происходит усовершенствование машин, они расскажут вам, что большинство усовершенствований делается обычными рабочими». И это происходит потому, пояснял Смит, что каждый из работников стремится облегчить для себя свою часть работы и убыстрить процесс производства.⁵

Существует множество примеров из истории науки, подтверждающих справедливость модели Смита. Простые, но убедительные примеры приводит Я.Хакинг. Когда Кристофер Рэн (Christopher Wren) конструировал Собор Святого Павла в Лондоне, он был хорошо осведомлен о только что открытых законах ньютоновой механики, на которых, собственно, и основывалась будущая конструкция. Но на самом деле он использовал приемы строительства, выработанные еще средневековыми ремесленниками. Законы ньютоновской механики были незаменимы при объяснении универсума, но не подходили для решения практически значимых проблем механики. Аналогично, паровая машина создавалась бесконечной серией проб и ошибок, без какой-либо помощи со стороны фундаментального теоретического знания.⁶

⁵ См. Kealey Terence. The Economic Laws of Scientific Research., Macmillan Press LTD., L., 1996, P. 7

⁶ Hacking Ian. Representing and Intervening. Introductory topics in the philosophy of natural science. Camdridge, London, New-York. 1983, P. 162-163

Вполне работающей модель Смита является и в настоящее время. Один из наиболее убедительных примеров справедливости такой точки зрения является проект HINDSIGHT (Прицел), который был реализован в США, в 1960г. Перед участниками этого проекта была поставлена задача проанализировать, насколько оправданными являются затраты на фундаментальные исследования в разработке новейших типов вооружения. Работа длилась восемь лет, в течение которых тринадцать групп ученых и инженеров проанализировали около семисот технологических новаций в системе производства вооружений. Результаты исследований поразили общественность. Оказалось, что 91% новаций имели в качестве своего источника не науку, а предшествующую технологию и только 9% – достижения в сфере науки. Причем, из этих 9% лишь 0,3% можно было охарактеризовать как имеющие источник в области чистой, фундаментальной науки⁷. Так что результаты проекта HINDSIGHT свидетельствовали как будто бы в пользу модели А. Смита.

Тем не менее, было бы поспешным истолковать эти результаты в том духе, что верна модель Смита, и что фундаментальная наука не имеет отношения к приложениям и технологическим разработкам. Можно привести достаточно убедительные аргументы в пользу того, что в очень многих случаях справедливой оказывается именно бэконовская модель. Возьмем, например, взаимоотношение генетики (чистая наука) и геной инженерии (прикладное исследование). Источником всех достижений геной инженерии – получения генетически измененных видов растений и животных с наперед заданными полезными для человека свойствами; клонирование живых организмов; терапевтическое клонирование в медицине, геной терапия и т.п. – непосредственно являются такие достижения генетики как расшифровка генетического кода, расшифровка генома человека и геномов других живых существ, сопровождающаяся картированием и секвенированием генов. Без знания того, какова структура ДНК (а это опять-таки достижение чистой науки), не могла бы возникнуть даже идея создания методами геной инженерии таких необходимых человечеству лекарств как интерферон,

⁷ Подробнее см. Мамчур Е.А. Фундаментальная наука и технология// Вопросы философии, №3, 2011. В отечественной философии науки сведения о проекте HINDSIGHT стали известны из доклада известного американского философа науки Э.Т. Лейтона, сделанном на конференции в Москве, в ИФРАН, в 1989 г.

человеческий инсулин, гормон роста. Так что в области молекулярной биологии чистая наука может считаться *источником* технологических новаций и торжеством бэконовской модели.

Кстати, на проект HINDSIGHT, который якобы поставил под сомнение необходимость фундаментальной науки для развития технологии⁸ университетские ученые – представители чистой науки – ответили собственным исследованием, поставив перед собой цель - выяснить роль, играемую фундаментальной, незаинтересованной наукой в технологических достижениях. Под этим углом зрения были проанализированы несколько технологических новаций, среди которых были такие знаковые изобретения XXв. как электронный микроскоп, видеоманитофон, ферромагниты и т.д. Результаты исследований были опубликованы в отчете, получившем название TRACES (аббревиатура от Technology in Retrospect and Critical Events of Science), которые показали, что все изобретения имели своим истоком базисные исследования, при этом чистые незаинтересованные исследования составили 70%, базисные заинтересованные (mission oriented) исследования 20%, и только 19% – прикладные разработки. Т.е результаты проекта TRACES явно свидетельствовали против выводов, сделанных по результатам проекта HINDSIGHT и опровергали верность модели Смита.

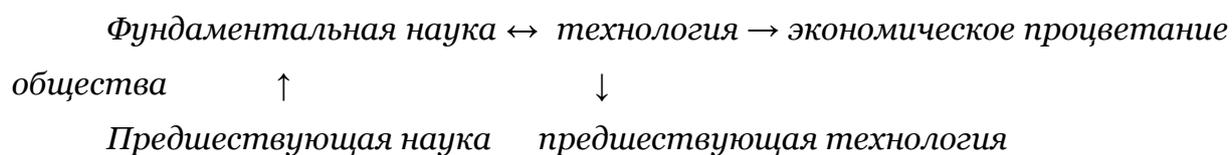
Представляется однако, что наиболее верная интерпретация и результатов проекта HINDSIGHT, и проекта TRACES, будет состоять не в том, чтобы объявить какую-либо одну из моделей неверной. Скорее, они обе верны, но ни одна из них не является универсальной, они имеют различные сферы приложения.

В 70-х гг. прошлого века появились работы, в которых подвергалась критике не только бэконовская модель, но вообще линейные (каскадные) модели. Авторы этих работ утверждали, что вопреки линейным моделям, наука и технология являются двумя относительно независимыми потоками

⁸ Уточним еще раз: при оценке результатов проекта HINDSIGHT речь не шла о том, что фундаментальная наука не нужна для технологических разработок. Имелось в виду, что она не была *источником* технологических инноваций, в качестве таковой в данном случае выступала предшествующая технология. Никто не отрицал, что фундаментальное знание лежит в основе предшествующей технологии, что сама технология является в высокой степени наукоёмкой.

исследовательской деятельности⁹. Наука имеет своим источником предшествующую науку; технология – предшествующую технологию. И лишь в особых ситуациях, в частности, при возникновении нового направления в науке, происходит их интенсивное взаимодействие. В процессе этого взаимодействия они взаимно обогащаются; их традиционная причинная связь может переворачиваться: уже не наука питает технологию, а технология ставит перед наукой задачи и сама выступает источником развития науки; затем, когда основные проблемы решены, потребность в их взаимодействии уменьшается, и они вновь начинают развиваться относительно независимо. «В обычной практике академическая наука также самодостаточна как и технология. Также как 90% новых технологий появляется из старых, так и новая академическая наука строится на старой. Эти две области знания в значительной степени развиваются независимо друг от друга. Поэтому так называемая линейная модель нуждается в модификации», – пишет один из многочисленных критиков линейной модели, американский исследователь взаимоотношения науки и технологии Т. Кеали¹⁰. Схематически эту модель (назовем ее «двухпотоковой») можно представить следующим образом:

Схема 3



«Двухпотоковая» модель, по крайней мере на макро-уровне рассмотрения проблемы, представляется очень правдоподобной. Тем не менее, как и все макро-модели она оставляет открытым вопрос о характере механизмов участия чистых исследований в технологических новациях.

⁹ Gibbons M. Is Science Industrially Relevant? The Interaction between Science and Technology// Science, Technology and Society. Manchester, 1984, P. 112; Kealey T. . The economic Laws of Scientific Research, ...

¹⁰ Kealey T. The economic Laws of Scientific Research, ...P. 219

В настоящее время проблема адекватной теоретической реконструкции взаимодействия науки и технологии активно обсуждается. Для описания этого взаимодействия на макро-уровне взамен линейной (бэконовской) модели, где источником технологических новаций выступают чистые исследования, или модели А.Смита, где таким источником выступают предшествующие технологии, и даже более репрезентативной по сравнению с линейными, «двухпотоковой» модели, предлагаются другие, которые с точки зрения их авторов являются более адекватными реальному положению дел.

Одна из них – «цепочечная»¹¹. В отличие от бэконовской модели, она начинается не с законов фундаментальной науки, а с дизайна. Сам процесс инновации предстает как цепочка технологических усовершенствований, каждое звено которой связано с предыдущим петлей обратной связи. *Наука не участвует в этой цепочке*. Она привлекается как бы со стороны для решения возникающих в ходе технологических разработок теоретических проблем. Эта модель не только подтверждает верность смитовской модели (источником технологических достижений выступает предшествующая технология), но и показывает, как, не являясь непосредственной движущей силой развития технологии, наука, тем не менее, играет в этом процессе конструктивную роль.

Еще более адекватную реальной научной практике модель (по крайней мере с точки зрения ее автора) предложил американский философ науки Дональд Стоукс. Модель Стоукса является более «богатой», по сравнению с линейными моделями. Она включает в себя некоторые из выдвинутых моделей и фиксирует еще один тип исследования, которые Стоукс назвал *пастеровскими*, по имени великого микробиолога и химика Луи Пастера. Особенностью пастеровских исследований является то, что в них осуществляются одновременно и фундаментальные разработки, движимые желанием ученых понять и объяснить исследуемые явления, и прикладные разработки, цель которых изменить природные процессы и на этой основе создать новое технологическое изобретение¹². Изменяя вещества и препараты, вмешиваясь в физиологические процессы живых существ, Пастер одновременно разрабатывал теоретические объяснения методов и результатов

¹¹ Kline S.J. & Rosendberg N. An Overview of Innovation// The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth. Washington, 1986, PP. 275-306

¹² Stokes D.E. Pasteurs' Quadrant: Basic Science and Technological Innovation. Washington, 1997.

изменений, внося, таким образом, вклад в фундаментальную науку. «Возникновение микробиологии в конце XIX в. – убедительный пример развития новой области исследований, в которых присутствовали не только вопросы фундаментального понимания, но и соображения пользы»¹³.

В ходе критики линейной модели Стоукс выделил такие исследования в отдельный тип. Графически линейная модель может быть представлена линией, началом которой являются чистые исследования, а на другом конце размещаются прикладные разработки. Стоукс полагал, что эту модель следует модифицировать. Первую половину линии нужно повернуть на 90° так, чтобы она оказалась перпендикулярной основной линии. Тогда исследовательское поле разделится на четыре квадранта (квадрант – это четверть круга). В левом верхнем углу поместятся чистые исследования, не имеющие отношения к приложениям, например, исследования атома Н.Бором (а также, добавим от себя, исследования в области теории квантовой гравитации, квантовой космологии, эволюционной теории и т.п.). В правом нижнем квадранте – прикладные и технологические разработки, типа эдисоновских работ с электричеством, особо не претендующие на теоретическое объяснение. В правом верхнем квадранте расположатся исследования пастеровского типа, в которых, с точки зрения Стоукса, чистые и фундаментальные исследования осуществляются одновременно и оказываются неразличимыми. В нижнем левом квадранте могут находиться исследования таксономического типа, создание классификаций и т.д., где речь вообще не идет о взаимодействии чистой и прикладной науки. Схематически модель Стоукса выглядит так:

¹³ Stokes D.E. Paster's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation., ... P.6

Фундаментальная
наука

Прикладные
иссл./технологии

Базисные исследования (исследования атома Н.Бором)	Пастеровский квадрант
Классификации, таксономии и т.п.	Прикладные исследования (работы Эдисона)

Схема 4

Модель Стоукса дает более репрезентативную картину взаимоотношения чистых и прикладных наук по сравнению с линейными моделями, поскольку в ней фиксируется присущее этим взаимоотношениям разнообразие. В ней присутствуют и чистые исследования, и прикладные разработки, и исследования, в которых оба этих типа деятельности *объединяются в едином процессе, сливаются*, как утверждал Стоукс (речь идет о квадранте Пастера), и исследования, вообще не имеющие отношения к рассматриваемой проблематике.

Подводя итог рассмотрению макромоделей, можно сказать, что каждая из них вносит свой вклад в макро-моделирование взаимодействия фундаментальных и прикладных исследований. Тем не менее, все они оставляют открытым вопрос о характере механизмов этого взаимодействия (т.е. о микро-модели). Стоукс, обращаясь к этому вопросу, предлагает модель, которая, на наш взгляд на практике не реализуется (имеется в виду как раз «квадрант Пастера»).

Наиболее распространенной и, как уже говорилось выше, наиболее популярной остается все-таки линейная модель в ее бэконовском варианте. Поэтому, при переходе на микро-уровень исследования проблемы мы будем иметь в виду именно эту модель.

Мотивационный аспект моделирования

Напомним, что В.Буш считал, что фундаментальная наука развивается и должна развиваться без соображений о ее возможном практическом применении¹⁴. Таким образом, он прибегнул к такому фактору в объяснении характера фундаментальных и прикладных исследований как мотивация ученых. Чем меньше думают базисные ученые о возможных приложениях науки, – полагал он, – тем больший вклад они внесут в развитие технологии. Выше уже было сказано, что, выдвигая такое определение фундаментальной науки, Буш стремился спасти науку от контроля со стороны государства. «Научный прогресс в широком смысле этого слова, – писал он в докладе Президенту, – является результатом свободной игры свободных интеллектов, работающих над темами, выбранными ими самими, и разрабатываемыми методами, диктуемыми их собственной любознательностью...»¹⁵. Буш осознавал, что главная цель фундаментальных наук состоит в том, чтобы открывать все новые законы природы, расширяя таким образом границы фундаментального ее понимания.

Тем не менее, многие западные участники дискуссий вслед за В. Бушем стали также привносить в рассмотрение мотивационный фактор. И именно он стал у них определяющим при истолковании сути фундаментальной науки. Так, один из норвежских исследователей рассматриваемой проблемы пишет: «Статистика показывает, что наиболее популярное определение чистых (базисных, фундаментальных) исследований то, в котором предполагается, что это исследования, в которых ученые не имеют в виду никаких практических приложений (no practical application in mind)»¹⁶

Модель Стоукса была выдвинута в противовес линейной модели Буша, потому что Стоукс полагал, что в линейной модели не находят отражения исследования (выделенные им в «Квадрант Пастера»), объединяющие базисные и прикладные исследования в единое целое. (Как уже говорилось выше, такого типа модель называется в литературе в отличие от каскадных –

¹⁴ Science and Endless Frontiers. A report of Vannevar Bush...., P. 18

¹⁵ Science and Endless Frontiers. A report of Vannevar Bush...., P. 12

¹⁶ Guldbrandsen Magnus “The Role of Basic Research in Innovation”// http://www.cas.uio.no/Publications/Seminar/Confluence_Gulbrandsen.pdf, P.56

непрерывной (continues¹⁷). В этих исследованиях ученые-фундаментальщики руководствуются не только стремлением к пониманию сути природных процессов, но и стремлением получить пользу. «Убеждение, что цели фундаментального понимания и пользы находятся в конфликте, – критикуя Буша, писал Стоукс, – и что категории базисных и прикладных исследований обязательно отделены друг от друга, противоречат действительной практике науки»¹⁸. Стоукс считал, что наиболее продуктивными являются разработки, в которых фундаментальные исследования осуществляются *под влиянием поисков максимальной практической пользы* (при этом соображения истины и объяснения отходят на второй план), и именно таким исследованиям нужно отдавать приоритет при инвестировании. Так что Стоукс также делает мотивацию ученых главным критерием оценки характера исследований.

Возникает вопрос: почему? Такая постановка вопроса так же не понятна, как и утверждения В.Буша о том, что чем меньше ученые будут думать о практической пользе, тем больший вклад в развитие технологии они внесут. На наш взгляд, не имеет вообще никакого значения, что думают ученые. Дело не в том, что они думают, а в том, какой тип исследования они осуществляют. Фундаментальные исследования имеют целью познать природные явления так, как они существуют сами по себе, безотносительно к целям и ценностям человека. Суть прикладных – в изменении предметов и процессов природы в нужном для человека направлении. Думает или не думает ученый, осуществляя фундаментальные исследования, о возможных приложениях, не имеет значения. Ученые-фундаментальщики могут вообще не думать о возможных приложениях, и, тем не менее, результаты их исследований могут вносить большой вклад в получение технологических достижений. С другой стороны, они, возможно, очень хотели бы, чтобы проводимые ими чистые исследования нашли практическое применение, но это оказывается, в силу разных обстоятельств, нереализуемо. Задача методолога науки состоит в том, чтобы раскрыть механизмы участия фундаментальной науки в получении технологических достижений. Мотивация ученых не имеет к этому отношения. Она только затемняет картину и сбивает с толку. Она никак не способствует открытию механизмов взаимодействия фундаментальной науки и технологии.

¹⁷ Cuevas Ana. The Many Faces of Science and Technology Relationships// Essays in Philosophy. A Biannual Journal, vol.6, №1, 2005, P. 7-8.

¹⁸ Stokes D.E. Paster's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation.,

Вопрос о роли фундаментальной науки и характере модели их взаимодействия по-прежнему остается открытым.

Реализуем ли «квадрант Пастера» ?

Мотивационный аспект сослужил Стоуксу плохую службу. Квадрант Пастера стал очень популярным у многих современных исследователей взаимоотношения фундаментальной науки и технологии. Он привлек внимание к непрерывным, (continues) моделям и вдохновил тех исследователей, которые исповедуют холистскую идеологию. Но на самом деле в том виде, как его понимает Стоукс, квадрант Пастера просто не реализуется. Он существует, только если руководствоваться мотивациями ученого. В данном случае действительно может возникнуть впечатление, что оба типа исследований становятся неразличимыми: фундаментальные исследования приобретают характер прикладных. Но мы уже говорили, что если апеллировать к мотивациям, мы только запутаем проблему. На самом деле, никакого исчезновения различий и слияния не происходит, по крайней мере, в эпистемологическом плане. Это два разных вида эпистемологической активности. Оба типа исследований остаются разными по целям и ценностям. О слиянии можно говорить, разве только если иметь в виду социальный аспект развития науки. В институциональном плане эти исследования действительно соединяются, но даже если они происходят в одной лаборатории, и даже в голове одного и того же ученого, они продолжают оставаться разными исследованиями, каждое со своими целями и ценностями.

Да, они осуществляются одновременно, но различия между ними не исчезают. И в этом нет ничего удивительного: существует много сфер человеческой деятельности, в которых реализуются такого рода взаимодействия. Возьмем, например, преподавание. В процессе обучения реализуются одновременно (и даже сливаются) два процесса: учитель обучает ученика, преобразуя и трансформируя его сознание (аналог прикладных исследований), и одновременно он совершенствует методику преподавания: в поисках ответа на вопросы ученика он уточняет формулировки, находит новые методы объяснения и доказательства, строит новые объяснительные модели. Но разве одновременность осуществления в одном акте снимает различия

между двумя обозначенными процессами? Думается, что нет. У них разные адресаты, они отличаются по своим целям и ценностям. Просто в процессе преподавания неоднократно происходит быстрое переключение от объяснения к обучению и обратно.

Или возьмем медицину. В процессе лечения, будь это хирургическая операция или медикаментозное лечение, врач производит изменения в организме пациента. Вместе с тем, в ходе той же операции он может вносить вклад в развитие медицинской науки (разработав новые методы лечения заболевания) или фармакологии (указав, например, на необходимость изменения дозировок использования того или иного лекарственного препарата, или сделав вывод о его бесполезности). В некоторых нетипичных случаях изменения могут коснуться даже биологических теорий: обнаружив те или иные особенности в строении или функционировании организма пациента, врач может изменить некоторые из существующих биологических представлений. Излишне, по-видимому, говорить, что биология и фармакология остаются при этом фундаментальными науками, а медицинские операции – прикладными и технологическими разработками.

Перейдем к микро-моделированию взаимоотношения между фундаментальной наукой и технологией, используя в качестве плацдарма бэконовскую линейную модель, как доминирующую в реальном процессе науко-технологического взаимодействия.

Теоретический ресурс технологических новаций

Какую же все-таки роль фундаментальная наука играет в развитии технологии? В вопросе о взаимоотношении этих двух сфер познавательной деятельности сложилось много мифов, путаницы и противоречий. Поэтому в поисках ответа лучше всего обратиться к реальным ситуациям, складывающимся в научной практике (т.е. реализовать своеобразные case studies). Но без некоторого, пусть гипотетического, предположения, в данном случае не обойтись.

В настоящее время некоторые западные философы науки совершенно верно, на наш взгляд утверждают, что *непосредственно* теории фундаментальных наук не могут быть использованы в разработке

приложений¹⁹. Нужны аппроксимации, упрощения, введение дополнительных гипотез и т.п. Утверждают также, что процесс модификации существующих фундаментальных теорий при разработке приложений не является автоматическим, а представляет собой неалгоритмизуемый, творческий процесс.

Все это верно, но слишком общо и абстрактно, и вопрос о том, какова же реальная модель, по-прежнему остается открытым. Нам представляется, что дело не столько в упрощениях, аппроксимациях. Дело в другом: при разработке приложений фундаментальная теория как *целое* вообще не участвует в создании технологических новаций. Используются лишь два-три результата, полученные в ходе теоретических и экспериментальных исследований в фундаментальной науке. Эти результаты можно назвать *теоретическим ресурсом технологических новаций*.

Разумеется, наше предположение является гипотезой. Оно нуждается в обосновании. Но если оно окажется верным, то это будет уже первый важный шаг в распутывании узла проблем, порожденных холистским подходом. Приведем два примера, взятых из разных областей знания, для того чтобы обосновать высказанную гипотезу и прояснить, как работают теоретические ресурсы в производстве технологических новаций.

Генетика и генетическая инженерия

Рассмотрим взаимоотношение между биологией (генетикой), представляющей собой типичный пример фундаментальной науки, и генетической инженерией (биотехнологией). Уточним и сузим поле исследований и проанализируем, как генетика участвует в разработке таких технологических достижений генной инженерии как получение лекарств или генетически измененных видов растений и животных.

Как представляется, в данном случае в качестве теоретического ресурса выступают два теоретических положения. а) результаты расшифровки геномов соответствующих биологических организмов, полученные в процессе картирования и секвенирования генов организмов;

¹⁹ См. Boon Mieke. How Science Is Applied in Technology// International Studies in the Philosophy of Science Vol. 20 № 1, March 2006

б) установленный факт, что существует фиксированная связь между генами и признаками организмов. И все: вся остальная теория остается как бы «в стороне».

Могут возразить, что в настоящее время один из указанных теоретических ресурсов потерял свою безусловную убедительность. Еще недавно биологи считали, что можно с уверенностью констатировать, что определенный ген детерминирует синтез определенного белка, ответственного за появление определенного признака организма. Что существует цепочка: *ген – белок – признак*. Проводимые в последнее время исследования показали, что связь между генами и признаками значительно сложнее. Установлено, что чаще всего не один, а много генов определяют появление того или иного признака. По крайней мере сейчас становится ясно, что гены лишь частично определяют характер признаков. Большую роль в этом процессе играет сложное взаимодействие множества различных протеинов (белков). Стало понятно, что свойства и признаки организмов не могут быть редуцированы к генетической информации, закодированной в его ДНК. (Вспомним гениальное прозрение Менделя, который утверждал, что наследуются не свойства организма, а лишь задатки свойств и признаков!) В настоящее время биологи говорят о революции в биологии: *геномикой*, царствовавшую в биологии XX в. потеснила *протеомика*.

Главная функция генов – быть своего рода спусковыми механизмами, триггерами, запускающими в действие серию факторов, от которых в значительной степени зависят признаки организмов. Выполняя функцию спускового механизма, ген нуждается в специфическом окружении для надления организма тем или иным свойством. Это можно показать на примере так называемого гена «безглазости»²⁰. Когда у представителя одного из видов мушки дрозофилы этот ген блокирован или вообще отсутствует, глаза не формируются. Но если этот ген активизируют, глаза формируются на крыльях, антеннах, ножках и других тканях мушки. То же происходит, если в ДНК

²⁰Неудачное название, как верно отмечает Мартин Кэрриер (из статьи которого частично заимствован пример), поскольку этот ген как раз и отвечает за формирование глаз). См. Carrier Martin. Knowledge and Control. On the bearing of Epistemic Values in Applied Science // Science, Value and Objectivity, Ed. By Peter Machamer and Gereon Wolters, University of Pittsburgh Press, 2004, pp.284-286. See also Fox Keller E. The Century of the Gene, Cambridge, 2000, P. 96-97

дрозофилы вводят ген «безглазости», добытый из ДНК мыши²¹. Имплантированный в ДНК дрозоды, он запускает процесс формирования глаз но уже не мыши, а мушки! Ограничение роли генома проявляется в том, что именно внешние факторы, главным образом взаимодействие белков, определяют, как проявит себя ген и включится ли он вообще.

Как видим, картина усложнилась. И старая фундаментальная биологическая теория (в лице геномики) оказалась не вполне адекватной действительности. Да и в ближайшем будущем совершенно адекватная теория вряд ли появится – слишком сложные обнаружились здесь связи и отношения. В самых разных организмах мы обнаруживаем практически одинаковые гены. Однако признаки и свойства организмов оказываются совершенно различными. И пока фундаментальная биологическая теория не может ответить на вопрос, почему так происходит.

Тем не менее, практика биотехнологии показывает, что это не мешает разработке самых разнообразных технологических приложений. Прикладники и технологи по-прежнему успешно оперируют одним из теоретических ресурсов, поставляемых геномикой: *существует вполне определенная связь между генами и признаками биологических организмов*. Если бы такой связи не существовало, мы бы не смогли получить таких необходимейших лекарств как человеческий инсулин, гормон роста, или интерферон.

В самом деле, как получают человеческий инсулин (лекарство, необходимое для лечения больных сахарным диабетом, суть которого в нарушении функций поджелудочной железы). Очень упрощая картину, процедуру можно представить следующим образом. В ДНК кишечной палочки *E.coli* встраивают человеческий ген, ответственный за производство инсулина в организме человека. Затем помещают ее в питательную среду, и она начинает продуцировать человеческий инсулин. До этого больным сахарным диабетом вводили инсулин некоторых видов животных – крупного рогатого скота, свиней. Он был значительно хуже по сравнению с человеческим, поскольку давал осложнения. Если бы однозначная связь между геном и таким свойством организма как способность продуцировать инсулин отсутствовала, такой метод генной инженерии был бы невозможен.

Примерно такая же схема использовалась при производстве гормона роста и интерферона. Значит, во многих случаях однозначная связь между признаком и геном все-таки существует?

Владение теоретическими ресурсами, обеспечиваемые геномикой, позволяют осуществить и более сложные технологические операции, такие как получение нового вида растений или вида животных, обладающих нужными для человека свойствами. Возьмем в качестве примера получение трансгенного сорта картофеля, резистентного к колорадскому жуку и вирусным заболеваниям. Геном картофеля, содержащий 12 хромосом и 860 млн. пар оснований, был полностью расшифрован в 2009. (Кстати, в расшифровке генома принимала участие и Россия: российские ученые расшифровали 12-ую хромосому). Но работы по получению трансгенного сорта картофеля, устойчивого к колорадскому жуку, велись уже в 1990-х. Суть работ состояла в том, что в геном картофеля встраивались гены бактерии *Bacillus thuringiensis*, которая вырабатывает специфический белковый эндотоксин, обладающий интоксигицидными (по отношению к колорадскому жуку) свойствами.

Схематически процедуру можно представить следующим образом: с помощью фермента рестриктазы ДНК картофеля разрезается в нужном месте и туда имплантируется нужный ген. На месте разреза образуются липкие концы, так что «токсичный» ген бактерии, вырезанный также с помощью рестриктазы и также имеющий липкие концы, вклеивается в ДНК картофеля. В начале 1990 гг. транснациональная корпорация «Монсанто» выпустила для коммерческого использования первые трансгенные сорта картофеля, обладающего резистентностью к колорадскому жуку.

Квантовая криптография

Возьмем пример из совершенно другой области: квантовой теории информации (КТИ). Нас будет интересовать участие квантовой теории в таких технологических инновациях как квантовая телепортация, квантовая криптография, квантовые компьютеры. Собственно, перечисленные технологические достижения являются приложениями не столько квантовой механики, сколько квантовой теории информации. КТИ является обобщением классической теории информации на квантовый мир. По отношению к

квантовой механике КТИ выступает как прикладная теория. По отношению к технологическим разработкам - как базисная. Возникает все тот же вопрос: как участвовала квантовая механика в перечисленных выше технологических достижениях? Что послужило в данном случае тем, что мы назвали *теоретическим ресурсом технологических новаций*?

Вновь сузим задачу и рассмотрим одно из технологических достижений - квантовую криптографию²². Основным теоретическим ресурсом в случае с квантовой криптографией послужили: 1) явление коллапса волновой функции при измерении состояния квантовой системы; 2) явление сцепления (entanglement) частиц. Как и в случае с биологической теорией, где генетика как целое к разработке технологических новаций не привлекалась, квантовая теория как целое в реализации такой технологической новации как квантовая криптография не использовалась: в качестве теоретического ресурса использовались только упомянутые выше особенности квантовых систем.

Суть квантовой криптографии – в разработке способов сохранения секретности передаваемой информации, защиты ее от перехвата. Из истории известны различные способы защиты передаваемых сообщений от попыток несанкционированного использования. Такая процедура как шифрование сообщений использовалась уже в далекой древности. Если шифр был достаточно надежен, удавалось сохранить секретность информации в течение длительного времени. Но часто находились злоумышленники, которым удавалось разгадать шифр и получить доступ к сообщению. В связи с этим работы по совершенствованию методов сохранения секретности сообщений велись постоянно.

Положение резко изменилось в лучшую сторону при появлении квантовой теории. Сама идея использовать именно квантовые системы для передачи и сохранения секретности информации возникла потому, что квантовые системы обладают особенностями, которых лишены объекты макромира, даже если они обладают очень малыми размерами. Состояние квантовой системы определяется измерением, после которого она переходит в другое состояние, причем однозначно предсказать результаты измерения невозможно. И если в качестве носителей информации используются

²² Введение в криптографию. М.: МИЦНМО, 2006; Сمارт Н. Криптография.- М. Техносфера, 2006

квантовые системы (например, фотоны), то попытка перехватить сообщение приведет к изменению состояния квантовой системы, которая и укажет на то, что такая попытка была реализована. Следует обратить внимание и на то, что измерение не позволяет получить полную информацию о квантовой системе, и его невозможно «клонировать» (копировать). Все это делает квантовые системы очень удобным средством для передачи информации и сохранения ее секретности.

В квантовой криптографии при передаче информации она шифруется: передаваемое сообщение с помощью некоторого алгоритма комбинируется с другой секретной информацией, называемой ключом. Ключ позволяет решить проблему сохранения секретности передаваемого сообщения. Но при этом остается не менее важная задача - сохранение секретности ключа. Необходимо создать ключ, который был бы доступен легитимным пользователям (условно их называют Алиса и Боб, где Алиса передающая, а Боб принимающая сторона) и недоступен злоумышленникам, стремящимся овладеть передаваемой информацией (условное название Ева). Евой могут быть и хакеры, и конкурирующие фирмы в бизнесе, и мощные государственные структуры и шпионские организации. Как передать ключ от А к Б, сохранив его в секрете от Е?

Эта проблема называется проблемой распространения (иногда говорят «распределения») ключа. В процессе выполнения этой задачи разрабатывались протоколы квантового распространения ключа. Первый протокол был создан американскими исследователями Чарльзом Беннетом и Джоном Brassardом в 1984 г. (BB84). Позднее начали создаваться другие протоколы, позволяющие противостоять растущей изощренности злоумышленников, которая становится возможной в связи с появлением новых технологий. Таким является, например, протокол B92, значительно более гибкий, чем протокол BB84.

Носителями информации во всех этих протоколах являются фотоны, поляризованные под углами 0,5,90,135 градусов. Так же как и в разработанном позднее протоколе Артура Экерта, в котором ставилась проблема сохранения секретности ключа не только при его распространении, но и при более длительном хранении, когда он временно не используется. Абсолютно надежным способом сохранения ключа является так называемый «метод

одноразового блокнота». Его суть состоит в том, что ключ используется только один раз, потом содержащаяся в нем информация

уничтожается (как если бы листок с информацией вырывался из блокнота и выбрасывался).

В протоколе Экерта использовалось явление сцепления (entanglement) частиц, описанном в ЭПР-парадоксе. Суть явления, как известно, состоит в том, что как бы далеко не находились друг от друга сцепленные частицы, при измерении одной из них, другая перейдет в состояние, противоположное состоянию первой. (Так, скажем, если спинорность первой будет отрицательной, то спинорность второй – положительной, и наоборот). Эта согласованность исчезает при перехвате информации, делая ее заметной на приеме, что настораживает легитимных пользователей и стимулирует разработку новых, более совершенных протоколов распределения ключа.

Один из вариантов практической реализации квантовой криптографии состоит в следующем. По волоконно-оптическому кабелю передается световой сигнал (поток фотонов), находящийся в суперпозиции двух состояний. Если злоумышленники подключатся к кабелю где-то на полпути, сделав там отвод сигнала, чтобы подслушать передаваемую информацию, это вызовет редукцию волновой функции, и свет из суперпозиции состояний перейдет в одно из собственных состояний. Проводя статистические пробы света на приемном конце кабеля, можно будет обнаружить, находится ли он в суперпозиции состояний или над ним произведено измерение, в процессе которого информация поступила нелегитимному пользователю. Таким образом, коллапс волновой функции позволяет обнаружить перехват информации.

Сотрудникам корпорации *Gar Optique*, специализирующимся в практической реализации квантовой криптографии, удалось передать ключ на расстояние 67 км (из Женевы в Лозанну). Позднее это достижение было перекрыто корпорацией *Mitsubishi Electric*, передавшей ключ на расстояние 87 км, правда, при скорости 1бит/сек.

Поскольку носителями информации в протоколе B92 являются поляризованные под определенными углами фотоны, основной проблемой при передаче ключа, ограничивающей расстояние передачи информации, является

сохранение поляризации фотонов: с увеличением расстояния она может существенно изменяться.

Что дальше?

Итак, если приведенные case studies подтверждают нашу гипотезу об определяющей роли теоретического ресурса в производстве технологических новаций, то первый шаг на пути выяснения механизмов включения фундаментальной теории в технологические инновации сделан. Куда двигаться дальше?

Представляется, что дальнейший шаг должен состоять в выяснении механизмов включения уже не теории, а компонентов теоретического ресурса в процесс производства технологических артефактов. Нэнси Картрайт – одна из ведущих западных философов науки - в 90-х гг. прошлого века написала нашумевшую книгу «Как лгут законы физики»²³. Название эпатирующее. Однако идеи, высказанные в книге, вполне разумны. Одна из них состоит в том, что законы фундаментальной науки непосредственно не могут быть использованы ни в получении инноваций, ни в объяснении физических явлений, проявляющих себя в технологических артефактах. Они сформулированы не для реальных, а для идеализированных объектов. Но в артефактах мы имеем дело с реальными объектами. В связи с этим, использование технологических ресурсов в получении инноваций помимо уже упоминавшихся операций упрощения, аппроксимаций и т.д. предполагает построения новых локальных моделей, введения специальных допущений, модификаций и т.д. В реальной научной практике вся эта работа осуществляется в сфере applied investigations. Ее теоретическая реконструкция еще только начинается.

Работа по более детализированной реконструкции деятельности по исследованию вхождения компонентов теоретического ресурса в инновации – это уже предмет другой статьи. Но прежде чем поставить точку в этой статье, мы хотели бы очень кратко обсудить еще один вопрос, тесно связанный со всем предыдущим материалом. Речь идет о модели строения нашего знания.

²³ Cartwright Nancy. How the Laws of physics Lie. Oxford, N. Y. 1983

Вопрос ставится так:

Наше знание: «Пирамида» или Patchwork of Laws «Лоскутное одеяло», сшитое из законов?

Картрайт полагает, что наиболее правильная модель научного знания - это – «лоскутное одеяло»²⁴. Классические представления о фундаментальном научном знании как о пирамиде, вершину которой составляют теоретические принципы, из которых следуют более частные законы, из которых в свою очередь получают следствия, соотносимые с эмпирическими данными (так, по крайней мере, говорит нам гипотетико-дедуктивная модель естественнонаучного знания) в эпоху технонауки с позиции многих западных исследователей должны быть заменены моделью «Лоскутного одеяла», как более адекватно характеризующую истинное положение дел. Верно ли это?

Нам представляется, что нет, что в данном случае Н.Картрайт не права. И причина в том, что она попала под влияние идеи упоминавшихся выше «непрерывных» моделей взаимодействия научного и технологического знания, которую (идею) некоторые авторы рассматривают как единственно возможную в эпоху технонауки. Однако, как мы стремились обосновать в нашей статье, непрерывные модели (если оставаться в рамках эпистемологического рассмотрения проблемы) на практике не реализуются.

Термин «Лоскутное одеяло» может быть с полным правом применен только к applied science. Как мы только что писали, структура прикладных исследований – это теоретические ресурсы, поставляемые фундаментальными теориями, множество приближенных закономерностей, представляющих собой результаты аппроксимации фундаментальных законов к конкретным явлениям, большое количество локальных моделей и т.д. Но если непрерывные модели, где фундаментальные исследования не отличимы от прикладных и фактически сливаются с ними (пример – «квадрант Пастера» в модели Стоукса)

²⁴ Cartwright Nancy. How the Laws of Physics Lie. Oxford, N. Y. 1983; Cartwright Nancy. Fundamentalism versus the Patchwork of Laws// The philosophy of Science (ed D.Papineau), Oxford, 1996, 314-324

См. также Carrier Martin. Knowledge and Control. On the bearing of epistemic values in applied science // Science, Value and Objectivity...2004, University of Pittsburgh Press; Boon Mieke, How Science Is Applied in Technology// International Studies in the Philosophy of Science Vol. 20 № 1, March 2006

на практике не реализуемы, термин «лоскутное одеяло» ко всему знанию не применим. Если у нас по-прежнему остаются и фундаментальное, и прикладное исследование как два разных вида эпистемологической деятельности, для характеристики такого знания вполне правомерной оказывается и модель «пирамиды», характеризующая фундаментальное исследование, и модель «лоскутного одеяла», характеризующая applied science. Так что, как нам представляется, вопрос поставлен неверно. Не пирамида **или** лоскутное одеяло, а **и** пирамида, **и** лоскутное одеяло. Каждая для своих областей исследования.

Неверие многих исследователей (феномена науки) в возможность существования знания, построенного как «пирамида», связано с тем, что в современную нам эпоху они, фактически, не имеют образцов такого знания. В классический период науки образцом «пирамиды» была классическая механика Галилея и Ньютона. Она не только казалась, она долгое время была образцом завершенного знания. Мы же живем в эпоху перемен. Все ведущие области научного знания - космология, биология, физика частиц и др. бурно развиваются, и ни в одной из них мы не можем говорить о завершенности, а значит о достроенной пирамиде.

Вернемся к случаю с генетической инженерией. Напомню о сложившейся там ситуации: биологическая теория в лице геномики, казавшаяся вполне завершенной «пирамидой», на деле оказалась не только не завершенной, но просто не вполне адекватной реальному положению дел. Геномика потеснена протеомикой, которая так же далека от состояния завершенности. Что-то в ней верно, что-то нет, и что именно, пока не ясно. Это теория, находящаяся в стадии становления.

Так что вопреки утверждению Картрайт, законы фундаментальной науки не лгут. Они просто пока не известны. Это касается всех областей знания, переживающих эпоху великих перемен. Предстоит колоссальная работа по их открытию и изучению. Пирамиды еще только предстоит построить.

Литература

1. *Boon M.* How Science Is Applied in Technology// International Studies in the Philosophy of Science Vol. 20 № 1, March 2006
2. Введение в криптографию.М.: МИЦНМО, 2006
3. *Bunge M.* The nature of applied science and technology // Philosophy and Culture: 1983, pp. 599-604.
4. *Cartwright N.* How the Laws of Physics lie. Oxford, N.Y., 1983
5. *Cartwright N.* Fundamentalism versus the Patchwork of Laws// The Philosophy of Science (ed D.Papineau), Oxford, 1996, P. 314-324
6. *Carrier M.* Knowledge and Control. On the Bearing of Epistemic Values in Applied Science// Science, Values and Objectivity, Univeresity of Pittsburg Press, 2004
7. *Gulbrandsen M.* “The Role of Basic Research in Innovation”// http://www.cas.uio.no/Publications/Seminar/Confluence_Gulbrandsen.pdf, P.56
8. *Cuevas A.* The Many Faces of Science and Technology Relationships// Essays in Philosophy. A Biannual Journal, vol.6, №1, 2005
9. *Faulkner W.* Conceptualizing knowledge used in innovation : a second look at the science-technology distinction and industrial innovation. // Technology and Human Values 19, 1994, P. 425-58
10. *Fox Keller E.* The Century of the Gene, Cambridge, 2000, P. 96-97
11. *Gibbons M.* Is Science Industrially Relevant? The Interaction between Science and Technology// Science, Technology and Society. Manchester, 1984.
12. *Kealey T.* Economic Laws of Scientific Research. St.Martin Press, N.Y., 1996
13. *Kline S.J. & Rosenderg N.* An Overview of Innovation// The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth. Washington, 1986
14. *Metha M.* Nanoscience and Nanotechnology: Assesing the Nature of Innovation in These Fields. Bulletin of Science, Technology and Society, vol. 22, № 4, 2002
15. *Смарт Н.* Криптография.- М. Техносфера, 2006
16. Science, the Endless Frontier, A report to the President on a Program for Postwar Scientific Research, by Vannevar Bush, July 1945,
http://openlibrary.org/books/OL5840568M/science_the_endless_front
17. *Stokes D.E.* Pasteurs’ Quadrant: Basic Science and Technological Innovation. Washington, 1997.