

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



7553

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

P2 - 7553

Д.И.Блохинцев

О СООТНОШЕНИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**1973**

ЛАБОРАТОРИЯ  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

P2 - 7553

Д.И.Блохинцев

**О СООТНОШЕНИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Доклад на Совещании экспертов стран-участниц  
по прогнозированию и планированию развития ОИЯИ.  
(27-28 ноября 1974 года)

**ОИЯИ  
БИБЛИОТЕКА**

## I. Введение

В течение последней четверти столетия невиданно возросла роль науки в духовной и материальной жизни человечества. Научная деятельность стала существенной и весомой отраслью народного хозяйства. Поэтому крайне обострились проблемы экономики и планирования науки, приобретшие теперь государственное значение.

В этой же связи заново, применительно к современной обстановке, обсуждаются и вопросы соотношения фундаментальных и прикладных исследований.

Цель этого доклада — дать теоретические предпосылки для обсуждения этой проблемы, определить необходимые термины и напомнить их содержание. Что касается конкретных рекомендаций применительно к нашему институту, то они будут рассматриваться в других сообщениях.

### Определения

2. Я начну с определений, которые, как и всякие определения, не могут быть исчерпывающими, но могут быть полезными в качестве исходных.

Фундаментальная наука сосредоточивает свои усилия на выяснении основных законов, основных принципов Природы.

Наука прикладная ставит перед собой задачу решения определенной технической проблемы, обычно в непосредственной связи с материальными интересами общества.

При решении такого рода задач прикладная наука обычно опирается на закономерности, установленные наукой фундаментальной.

Фундаментальную науку часто называют "чистой" (вспомните название научных союзов - ИСПАП, ИСПАК и т.п.<sup>x)</sup>). Происхождение этого термина несколько претенциозное - имеется в виду: чистая от земных побуждений, от практицизма, от меркантильности - и в значительной мере связано с особенностями положения учёного в капиталистическом обществе.

При всей неудачности этого термина он подчёркивает, что речь идёт только, и только, о познании природы.

### 3. Фундаментальная наука и природа человека

На мой взгляд, направленность интересов фундаментальной науки вытекает из важнейшей особенности Человека как биологического существа: из его любопытности.

Мы, люди, биологически запрограммированы так, что являемся любознательными. Наиболее точное название для нас может быть не homo faber и даже не homo sapiens, а homo cupidus sciendi <sup>xx)</sup>.

<sup>x)</sup> ИСПАП - Интернациональный союз чистой и прикладной физики, ИСПАК - Интернациональный союз чистой и прикладной химии.

<sup>xx)</sup> Homo faber - человек умелец, homo sapiens - человек разумный, homo cupidus sciendi - человек любознателен.

Стремление к познанию природы заложено в глубинах человеческого разума и составляет первую суть Человека. Эта деятельность Человека, основываясь на любознательности, является основой всего прогресса человечества - духовного и материального.

Открытие огня, паруса, колеса было результатом великих озарений, посещавших разум доисторических гениев. Именно эти великие открытия доисторического и древнего Человека и были теми ступенями, шагая по которым, человеческая порода отрывалась от животного мира.

Вторая суть (особенность) человеческого рода состоит в способности к распространению знаний в своём обществе цепным образом и в передаче накопленных знаний следующему поколению в возрастающем объёме<sup>x)</sup>. Если через  $C_N$  обозначить объём знаний  $N^{\text{го}}$  поколения, а через  $C_{N+1}$  - знания следующего поколения, то в человеческом обществе

$$\alpha = \frac{C_{N+1}}{C_N} \geq 1, \quad (I)$$

где  $\alpha$  - есть коэффициент умножения знаний.

<sup>x)</sup> Имеется ещё третья суть человека, отличающая его от других живых существ, но обсуждение её вывело бы меня за рамки темы доклада.

Эта черта в развитии знаний в человеческом обществе особенно ясно проявляется в наше время. Напротив, в животном мире коэффициент  $\alpha$  или точно равен 1, как это имеет место в наиболее организованных обществах (примером таких обществ являются общества некоторых насекомых, например, муравьёв, пчёл), или колеблется около 1:

$$\alpha = 1 \pm \varepsilon, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  - малое число.

#### 4. Из истории

Мы слишком мало знаем о доисторическом человеке, вероятно, на этой стадии было бы трудно делить науку на прикладную и фундаментальную. Но это деление уже совсем отчётливо видно в рабовладельческой Греции. Архимед писал: "Низко все, что имеет практическое значение". Однако аристократическая наука древней Греции создала шедевры человеческой мысли, среди них - геометрию.

А. Эйнштейн в своей статье о И. Кеплере выражает своё благоговейное удивление перед силой человеческого мышления, способного предвосхитить объекты, которые, как стало ясно через много веков, лежат в основе глубочайших законов природы.

Имеется в виду открытие греками конических сечений; эллипсов, гипербол и парабол.

Безусловно, эти открытия относятся к фундаментальной

науке и являются изумительными плодами любознательности и досуга. Возможность иметь досуг - важнейшая предпосылка для развития фундаментальной науки.

Об этой необходимости говорит такой выдающийся мыслитель, как Рабиндранат Тагор: "Все лучшие плоды цивилизации возвращены на ниве досуга"<sup>x)</sup>. Об этом же я много раз слышал от одного из моих учителей, нашего выдающегося физика С.И. Вавилова.

Пресловутая легенда об упавшем яблоке, которое якобы навело Ньютона на мысль о законе тяготения, является на самом деле иллюстрацией роли досуга.

Из-за мнимой эпидемии чумы в Кембридже Ньютон уехал в глухую деревню - Вульсторп и поэтому имел возможность отвлечься от своих повседневных занятий. В этой деревушке Ньютон и открыл закон всемирного тяготения.

Рассказывают о Э. Резерфорде, который уволил одного из своих работников, безвылазно хлопотавшего в лаборатории с утра до ночи. Э. Резерфорд спросил его: "А когда же вы думаете"?

Досуг необходим для успешной творческой деятельности учёного.

<sup>x)</sup> Р. Тагор. Собрание сочинений, XII, стр. 235, Москва (1965).

Одна из опасностей, грозящих учёному, работающему в большом институте, — это потеря досуга. Вернёмся, однако, к истории.

#### 4.а Средние века

В средние века чистая наука заглохла, превратившись в схоластику, по выражению К.Маркса, в служанку теологии. Необходимость следовать догматам церкви и страх перед инквизицией на много столетий задержали прогресс в Европе. Тогда, в средневековых университетах, обсуждались вопросы вроде такого: "Из какого вещества, материального или нематериального, состояла одежда ангела, благовествовавшего святой деве Марии?"<sup>х)</sup> Такова была "чистая" наука тех веков. Однако в средневековье продолжала, хотя и медленно, развиваться прикладная наука: химия (алхимия), техника и медицина.

Так, Болонья обогатилась благодаря своим ткацким станкам, Венеция — производству стекла и зеркал.

#### 4.б Эпоха Возрождения и ХУП—ХУШ века

Этот прогресс прикладной науки и техники, видимо, создал предпосылки для духовного взрыва в эпоху Возрождения — эпоху расцвета и искусства, и науки.

Великий Леонардо да Винчи вырос в этой атмосфере, и его интересы сосредоточивались не только на чистой науке, но и на прикладной. Он был не только художником, философом, гео-

<sup>х)</sup> См. М.М. Филипов. Этюды прошлого. Очерк о Леонардо да Винчи, изд-во АН СССР (1963).

метром, механиком, но и инженером.

Позже Галилей закладывает прочную основу современной науки, ставя в основу наблюдения и эксперимент.

Его великие исследования по механике и астрономии относились полностью к фундаментальной науке. Подзорные трубы он изготовлял из нужды, для князей, — это была прикладная наука. Его истинно великие открытия вместе с открытиями И. Ньютона получили прикладное значение много позднее: на протяжении ХУП—ХІХ столетий развивалась классическая механика, без знания которой невозможно существование современного человеческого общества.

Этот пример иллюстрирует, какой большой интервал времени может отделять открытия, сделанные в фундаментальной науке, от основанных на них достижений науки прикладной.

#### 4. в. Новое время

Я обращусь теперь к более близкому нам примеру: открытию М. Фарадея электромагнитной индукции (1860 г.). М. Фарадей не интересовался прикладными последствиями своих великих открытий. Им руководила чистая любознательность.

Рассказывают, что одна высокая особа, посетившая лабораторию Фарадея, увидев катушки, батареи, стрелки и т.п., спросила: "Какое значение имеют эти игрушки?" М. Фарадей ответил ей: "Их судьбу так же трудно предсказать, как и судьбу родившегося дитя". Как мы знаем теперь, это дитя выросло в современную электротехнику и современную радиотехнику.

Я думаю, что интересы А.И. Попова, осуществившего первые радиосвязь, могут быть отнесены к области прикладной науки.

Типичным представителем прикладной науки, с яркими элементами американского бизнеса, был Т.А. Эдисон - изобретатель современной электрической лампочки, фонографа и др.

### 5. Наше время

Проследим теперь соотношение прикладной и фундаментальной науки в наше время, в XX столетие.

Первое, что следует отметить, - это сокращение сроков, отделяющих достижение фундаментальной науки от практических применений.

XX столетие знаменовалось открытиями трёх новых миров<sup>х)</sup>: мира атомов, мира атомных ядер и мира элементарных частиц. В результате экспериментального изучения атомных спектров была создана квантовая механика, завершившая теорию атома.

Теперь понятие "атом" стало достоянием всего человечества, и без этого понятия невозможна ни современная полупроводниковая электроника, ни лазерная техника.

Открытие атома и квантовых законов атомной механики породило и лазер, и полупроводник. Все это заняло около сорока лет.

<sup>х)</sup> Я здесь ограничиваюсь физикой. На самом деле следует причислить к этому мир молекулярной биологии и мир галактик.

Существование атомного ядра было установлено в начале 20-х годов; в 1939 г. была открыта реакция деления ядра урана, а в 1942 году произведена первая цепная реакция в первом атомном реакторе. В этом случае интервал составил 20 лет.

Эти открытия фундаментальной науки были отделены только тремя годами от взрыва первой атомной бомбы и двенадцатью годами от пуска первой атомной электростанции. В послевоенные годы, в 50-х годах, началось изучение нового мира - мира элементарных частиц. Мне нет надобности говорить здесь о тех гигантских усилиях, которые были приложены и прикладываются сейчас в этой области физики.

Если в ранние послевоенные годы мы имели дело только с несколькими элементарными частицами, то сейчас их насчитываются сотни, правда, в подавляющем большинстве нестабильных. Как раз эта нестабильность указывает на существование сложной структуры этих простейших объектов природы. Я особенно хотел бы подчеркнуть открытие антиматерии - открытие, к которому физики уже настолько привыкли, что, я думаю, недооценивают всех последствий этого изумительного факта.<sup>х)</sup>

За 15-20 лет установлено большое число закономерностей, управляющих взаимодействием, рождением и уничтожением частиц, их структурой. Создана удовлетворительная систематика частиц. Однако теории, объединяющей эти закономерности, ещё не создано. Мы нуждаемся в новой концепции, которая

<sup>х)</sup> Позитроны были открыты в 1932 г. Антипротон открыт в 1956 г. в Беркли. В последние годы в Серпухове были открыты анти-тритий и антигелий.

сыграла бы такую же роль в теории элементарных частиц, какую выполнила квантовая механика в теории атомов и молекул.

Прикладное значение физики элементарных частиц пока, по большей части, косвенное. На этой стороне дела я остановлюсь позднее.

### 6. О прогнозах в области фундаментальной науки

Я хотел бы теперь иллюстрировать примерами из истории и из нашего современного опыта, сколь велики трудности прогноза практических последствий развития этой или иной области фундаментальной науки.

Я уже отмечал в этом докладе, что во времена М. Фарадея его работы казались имеющими чисто академическое значение. И не М. Фарадей, а люди другого склада и в другое время использовали его открытия для технических целей. В 70-х годах прошлого столетия З. Грамм и В. Сименс создали динамомашину, а П. Н. Яблочкин (1876) и Т. Эдисон - электрическую лампочку (1879).

Подобная же ситуация имела место и в радиотехнике, основной шаг в которой был сделан А. И. Поповым (1895) на основе фундаментальных исследований Д. Максвелла (1873) и Г. Герца (1888).

Я обращаюсь теперь к более современным примерам.

В начале 30-х годов в нашей стране многие считали, что занятие ядерной физикой имеет лишь академическое значение. Ясно, что в первой пятилетке, когда наша страна только

набирала силы, практические вопросы должны были иметь перевес над решением проблем, более отдаленных от интересов момента.

Однако уже и в то время развитие теоретической физики было немалым.

Теория твердого тела, теория металлов и полупроводников, теория оптических явлений, теория радиоволн и др. развивались весьма успешно.

Прогнозы же по прикладному значению ядерной физики были самыми неблагоприятными. Этот скептицизм имел серьезные основания, т. к. среди изученных тогда ядерных реакций не было реакций, сопровождавшихся выделением энергии: реакции были эндотермическими.

Поэтому сомнения исходили из уст самых авторитетных исследователей: Э. Резерфорд, Н. Бор, некоторые наши физики также держались этих взглядов. Даже открытие нейтрона Д. Чадвиком в 1932 году не изменило этих скептических предсказаний.

Переворот во взглядах наступил практически мгновенно, когда было открыто деление урана, сопровождавшееся вылетом энергичных осколков и нескольких нейтронов. Это случилось в 1939 году. В это время возможность цепной реакции деления казалось уже весьма вероятной. Дальнейшую историю все хорошо помнят.

Для нашей страны быстрое решение практических проблем использования атомной энергии оказалось возможным потому,



что исследования по ядерной физике у нас все же велись, несмотря на то, что их народно-хозяйственное значение считалось равным нулю. Новую проблему мы встретили, уже имея кадры перво-классных учёных-ядерщиков (среди них: И.В. Курчатов, А.И. Лейпунский, А.Ф. Вальтер, А.И. Алиханов, Г.Н. Флёров и др.).

Другой пример вытекает из истории квантовой физики. Ещё в начале девятисотых годов А. Эйнштейн показал, что изучение атомов усиливается под действием света той же частоты. Этот хорошо известный эффект получил название "индуцированного излучения".

Однако никакие предсказания о возможности технического применения этого квантового явления в то время не приходили никому в голову. Только в послевоенное время Н.Г. Басову, А.М. Прохорову и Ч. Таунсону удалось найти путь практического использования этого эффекта в знаменитых ныне лазерах (1955).

Непредсказуемость результатов фундаментальных исследований видна также из итогов работы гигантских ускорителей в наше время. Так, например, ускоритель в Беркли (6 Гэв) соорудался с расчётом открыть антипротон. В действительности был открыт не только антипротон, но и "странные частицы" (лямбда-частица, ка-мезоны).

Ускоритель электронов в Стэнфорде ("СЛАК") предназначался для установления границ применимости электродинамики. Однако в пределах возможностей этого ускорителя никаких границ подобного рода найдено не было. Зато были открыты так называемые "глубокоупругие" процессы, позволившие заглянуть во внутреннюю структуру протонов.

Можно было бы привести примеры и из других наук.

Особенно яркой иллюстрацией может служить молекулярная генетика, которая началась с изучения мутаций в поколениях мухи дрозофиллы. Работы эти не преследовали практических целей и потому были даже выставлены на посмеяние как никчёмные. Теперь мы знаем, что этими работами были приоткрыты двери в новый мир — молекулярной генетики. А перед человеком возникла возможность управлять наследственностью совсем новыми путями и методами.

Я надеюсь, что этих примеров достаточно, чтобы видеть, насколько велика трудность разумного прогноза, и думаю, что эта трудность носит принципиальный характер. В этом случае люди ломаются в двери, которые ещё не удалось открыть, стремятся предсказать будущее на основе тайн, о которых ещё не имеют никакого понятия.

С другой стороны, эти же примеры показывают, что открытия в области фундаментальной физики рано или поздно служили основой радикального прогресса в науках прикладных.

Именно ясное понимание этого обстоятельства служило основой того, что в нашей стране, даже в самые трудные периоды её жизни, поддерживалась фундаментальная наука.

Пример тому — создание Лаборатории ядерных проблем, ныне части нашего Института, в ранние послевоенные годы, когда страна ещё не оправилась от нанесённых ей разрушений и когда

решение практических проблем атомной энергии ещё не было завершено.

Из того, что было сказано, видно, что окончательные итоги вкладов в фундаментальную науку являются в принципе непредсказуемыми. Поэтому планирование фундаментальной науки неизбежно должно базироваться на творческой интуиции тех людей науки, которым есть основания доверять. Отсюда также следует, что проектирование новых институтов и лабораторий такого типа должно начинаться с подбора той группы людей, на талант которых можно надеяться. Если подобная группа получает в своё распоряжение оборудование, превосходящее по своим возможностям существующее, успех затем обеспечен.

В отношении прикладных наук требования могут быть менее высокими, по крайней мере в тех случаях, когда задача ясно сформулирована.

Группа компетентных людей, знающих своё дело, может успешно справиться с поставленной задачей.

Я далёк от того, чтобы умалить значение прикладных работ и тем более достоинства людей, в ней занятых.

Мы хорошо знаем, что такое инженерный талант, без которого была бы невозможна разработка ни ускорителей, ни атомных станций, ни термоядерных устройств. Я также понимаю и ценю ту радость, которую может доставить инженерам осуществление своих проектов.

Чтобы быть совсем правильно понятым, я подчеркну высокую степень непредсказуемости итогов фундаментальных исследований и сравнительно большую степень предсказуемости итогов прикладных исследований.

#### 7. Следствия для планирования

Из сказанного о происхождении фундаментальных исследований как вытекающих из природы Человека и из непредсказуемости итогов такого рода исследований следует, что средства, вкладываемые в фундаментальную науку, нужно соизмерять лишь с наличием людей, которым можно доверить риск подобных исследований и с экономическими возможностями общества.

В прикладную науку проще подобрать кадры, а вкладывать средств, видимо, нужно столько, сколько диктуется потребностями решения жизненно важных научно-технических задач. Непосредственно только прикладная наука даёт новое оружие Человеку в его борьбе с силами природы. Впрочем, на более высоком уровне развития человеческой личности понимание того, что отношение к природе может быть также основано на доверии и любви к ней, превышает чисто конкис-гадорские тенденции<sup>х)</sup>.

Планируя науку в современном обществе, необходимо учитывать основные тенденции в его развитии.

---

х) Народ давно употребляет сочетание "природа-мать" (но не мачеха).

Из этих тенденций ясно видно, что активность людей будет перемещаться из сферы производства вещей в сферу производства идей. Отношение

$$\Phi = \frac{\text{активность в производстве идей}}{\text{активность в производстве вещей}}$$

будет расти. Это означает, что научная и изобретательская деятельность будут приобретать всё большее и большее значение в сравнении с трудом в цехах и на полях, где автоматизация будет вытеснять простой труд.

Центр тяжести активности человека будет перемещаться в институты, лаборатории, в конструкторские бюро.

Эта общая тенденция будет поддерживать приоритет запросов науки ( в том числе и физики ) и её право на безбедное существование.

#### 8. Прикладная наука в институте фундаментальных исследований

Я перехожу теперь к последнему вопросу: о месте прикладных исследований в институте, деятельность которого сосредоточена в области фундаментальных наук.

Я думаю, что в каждом из таких институтов время от времени возникают идеи и методы, имеющие прикладное, народно-хозяйственное значение. Пройти мимо возможностей использовать эти достижения для решения практических, тем более злободневных, проблем было бы, на мой взгляд, непростительно.

С другой стороны, и неправильно отвлекать усилия института от решения основных задач.

Надо учитывать и возможности научного руководства институтом, которые ограничены, как все человеческое. Люди, как правило, не могут одновременно и глубоко руководить фундаментальной наукой, и организовать производство. Скорее всего, что-нибудь пострадает.

Поэтому наиболее правильное решение заключается в передаче проекта, метода или прототипа прибора, разработанного в институте, в специальные КБ и заводы. В этом случае за сотрудниками института осталась бы ответственная роль консультантов.

К сожалению, на практике так называемый процесс "внедрения" нового часто оказывается весьма затруднительным.

Причина тому обычно лежит в перегруженности КБ, прикладных институтов и заводов, в результате чего они не располагают ни материальными возможностями, ни кадрами, способными и заинтересованными подхватить новую идею и довести её до практического, инженерного решения. Говоря о заинтересованности, я не имею в виду чисто материальной заинтересованности (премий и т.д.). Такого рода поощрения зачастую слишком привлекают не столько талантливых людей, сколько ловких.

П. Л. Капица, один из тех редких людей, которые сочетают талант ученого с талантом инженера, рассказывает, что для него был непредвиденностью тот огромный труд и немалые хлопоты, которые ему понадобились, чтобы наладить производство турбокомпрессоров для сжижения кислорода, разработанных в его институте<sup>x)</sup>. Этот пример показывает, что в жизни доведение научно-технической идеи до её полной реализации может потребовать от института, занятого фундаментальными исследованиями, таких усилий, которые явно отвлекут его от решения основных задач.

Я думаю, что такая ситуация должна быть скорее исключением, нежели правилом.

В заключительной части своего доклада я хотел бы напомнить те "выходы" в практику, которыми мы обязаны физике элементарных частиц<sup>xx)</sup>. Создание ускорителей передвинуло на другой, более высокий уровень и электротехнику, и технику вакуума, и радиотехнику. Были решены многие задачи, относящиеся к управлению пучками заряженных частиц, и разработанные для этой цели методы могут иметь самое разнообразное применение.

---

x) П. Л. Капица. Теория и практика эксперимента. Изд-во "Знание". Москва (1966).

xx) Я не останавливаюсь на физике атомного ядра - практическая ценность её общеизвестна.

Необходимость обработки камерных снимков привела к разработке новых методов автоматизации, значение которых также выходит за пределы физики высоких энергий.

Вследствие необходимости в больших пузырьковых камерах значительные шаги сделаны в криогенной технике, разработаны высокопроизводительные ожижители гелия, освоены методы обращения с большими количествами жидкого газа, особенно жидкого водорода.

Пучки мюонов и пионов используются в медицине, с обнадеживающими результатами.

В последнее время потребность в уменьшении размеров магнитов и энергетических затрат в ускорителях инициировала работы в области сверхпроводимости.

Создание сверхпроводников, устойчивых при высоких температурах и в переменных полях, может привести к фундаментальному прогрессу в электротехнике.

В других докладах будут освещены детальнее работы, выполненные в нашем институте и имеющие прямое прикладное значение. Заканчивая на этом свой доклад, я хотел бы вернуться к его началу и ещё раз подчеркнуть, что провести точную границу между исследованиями в фундаментальной науке и в прикладных науках невозможно<sup>x)</sup>.

Однако различие между ними существует, как существу-

---

x) Так, открытие лазеров, имеющих огромное практическое значение, может рассматриваться также как и достижение в области фундаментальной физики.

ет и различие, в направленности таланта людей, работающих в первой или второй области исследований.

Поэтому научные коллективы должны быть качественно различными, но умеренная доля фундаментальных исследований в прикладном институте, так же как и умеренная доля прикладных исследований в институте, занятом фундаментальными исследованиями, может быть весьма полезна.

Всё дело в мере.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 ноября 1973 года.