

## О «Физическом минимуме» \*)

В.Л. Гинзбург

«Физический минимум» это некоторый «проект», как теперь принято говорить, направленный на повышение квалификации молодых физиков и астрономов. Впрочем, речь может идти не только о молодежи и не только о физиках, ибо границы физики сегодня очень размыты (недаром говорят и о физической химии, и о химической физике, а также об астрофизике, биофизике и т.д.).

Проект «Физический минимум» родился, естественно, в связи с преподавательской деятельностью. Так, с 1945 г. я преподавал в Нижегородском (тогда Горьковском) Университете (по совместительству, ездил из Москвы). Длилось это преподавание довольно много лет, ибо я был связан с Нижним Новгородом по семейным обстоятельствам \*\*). С 1968 г. я начал преподавать в Московском Физтехе, организовав там кафедру «Проблемы физики и астрофизики», эта кафедра здравствует и по сие время. Так вот, знакомство с жизнью и работой даже хороших университетов (к их числу, безусловно, принадлежат упомянутые выше) привело к заключению, что выпускники университетов имеют, как правило, довольно узкий кругозор. Они, конечно, хорошо знакомы с областью физики, к которой принадлежит их дипломная работа, но совсем не знают очень многого, что актуально и исследуется в физике в каждое данное время. Конечно, это понятно, ибо физика сегодня так разрослась, что уже неприменима формула

---

\*) Настоящая статья, в несколько расширенном виде, направлена также в сборник, посвященный 75-летию Л.В. Келдыша.

\*\*) Писать об этом подробнее здесь было бы совершенно неуместно. Желаящие могут это узнать из моей «Нобелевской» автобиографии, помещенной в книге [1].

«все об одном, и кое-что обо всем», и нельзя не вспомнить совет Козьмы Прутков «Нельзя объять необъятное». Что же делать?

Смысл проекта «Физический минимум» довольно прост: составляется список проблем физики и астрофизики, которые в данное время являются наиболее важными и актуальными. Ясно, во-первых, что такой «список» меняется со временем, ибо некоторые проблемы либо оказываются решенными, либо как-то теряют актуальность. Ясно, во-вторых, что «список» не может не иметь субъективного характера, он отражает мнение составителя. Поэтому хотелось бы иметь списки, составленные разными авторами. Думаю, впрочем, что такие «списки» на каждый данный момент оказались бы в основном идентичными.

В-третьих, вопросы, которые не включены в «список», отнюдь не все являются «не важными или не интересными». Да, собственно, любая проблема, имеющая реальное физическое содержание и, конечно, не противоречащая установленным законам, вряд ли может быть объявлена не важной или не интересной. Речь идет не более чем о некотором неизбежно субъективном отборе.

В четвертых, имеется в виду не какая-то программа (с таким пониманием моего «списка» пришлось столкнуться), а не более чем о в известной мере тривиальном перечислении вопросов, о которых всякому физики рекомендуется иметь представление, чтобы его можно было считать высоко образованным специалистом. Разумеется, это лишь дополнительное условие, и никакая широкая эрудиция («... кое-что обо всем») не заменит знаний, необходимых для работы над «своей» задачей. Конечно, главное не в том, кем человека «можно считать», а в том, что широкая эрудиция в физике в целом (конечно, и в любой другой специальности) это и залог успешной работы, и источник большого удовольствия для тех, кто любит науку. Широкая эрудиция приходит, можно сказать, автоматически, если посещать хорошие и разнообразные семинары, и систематически читать такие научно-популярные журналы, рассчитанные на физиков (и близких к физике

научных работников), как “Physics World” (Англия) и “Physics Today” (США), а также более специальные и поэтому неизбежно более узкие обзорные журналы типа “Reviews of Modern Physics” и «Успехов физических наук» (УФН)<sup>\*</sup>). Но, к сожалению, особенно у нас в России, в настоящее время далеко не в каждом университете и даже не в каждом городе существуют хорошие семинары широкого профиля и имеются упомянутые нужные журналы.

Так вот я, наконец, добрался до того, чтобы указать цель проекта «Физический минимум». Эта цель, ясная, впрочем, и из выше изложенного, состоит в том, чтобы помочь молодым людям, да и не только им, овладеть тем минимумом информации о современной физике, который необходим (см. выше).

Первый этап на этом пути - само составление «списка». Второй этап – наполнить, так сказать, этот «список» содержанием. Это можно сделать в результате целого курса лекций с информацией по каждому пункту «списка». Объем этого курса – от нескольких лекций (скажем, трех) до многих лекций. В последнем случае один лектор, не говоря о каких-то исключениях, не сможет охватить весь материал, ибо лектор, разумеется, должен быть знаком с материалом значительно глубже и шире, чем объем знаний, который должен быть усвоен слушателями.

Этот курс естественно воплотить в большую статью или книгу.

Так я и поступал. Первая такая статья была опубликована в 1971 г. [2]. Затем в расширенном виде она составила часть моей книги [3], издававшейся несколько раз с дополнениями. Последнее издание книги [3], опять с дополнениями, появилось на английском языке [4]. Далее, «Физическому минимуму» была посвящена первая статья книги [5], также переведенной на английский язык [6]. Наконец, о «Физическом минимуме» речь идет в моей

---

<sup>\*</sup>) В УФН, кстати, помимо обзорных статей монографического типа, мы стараемся помещать и информацию о «горячих» научных новостях. Это, однако, не может заменить журналов типа “Physics World”.

Нобелевской лекции, прочтенной в Стокгольме 8-го декабря 2003 г. [7]. Эта часть лекции называется: «Физический минимум» - какие проблемы физики и астрофизики представляются особенно важными и интересными в начале XXI века?».

Моя Нобелевская лекция несколько необычна (или нестандартна) по форме в силу причин, поясненных в ней самой. Включение в нее вопроса о «Физическом минимуме» было совсем не обязательным, но имело место по двум причинам. Во-первых, Нобелевские лекции носят открытый характер, их посещает и молодежь, которой вопрос о «Физическом минимуме», во всяком случае, интереснее вопросов теории сверхпроводимости и сверхтекучести. Во-вторых, и это главное, мне хотелось использовать фактически последний имевшийся у меня шанс привлечь к «Физическому минимуму» внимание. Ибо должен признать, что раньше я рассчитывал на то, что «Физический минимум» не останется почти что незамеченным, но это явно произошло по причинам, о которых могу только догадываться. На этот счет я не знаю и не узнаю мнений коллег, так что мне не с кем полемизировать. Но остаюсь при мнении, что вопрос о «Физическом минимуме» все же заслуживает некоторого внимания. Поэтому и включил его в лекцию [7], а сейчас решил еще раз на нем остановиться.

Что я хочу здесь сделать? Раньше всего приведу целиком тот «список», о котором идет речь (имеется в виду последний вариант списка [6,7]). Затем сделаю несколько замечаний, связанных со списком, с его содержанием.

Список проблем, которые на начало XXI века представляются наиболее важными и интересными:

1. Управляемый ядерный синтез.
2. Высокотемпературная и комнатотемпературная сверхпроводимость (ВТСП и КТСП)
3. Металлический водород. Другие экзотические вещества.
4. Двумерная электронная жидкость (аномальный эффект Холла и некоторые другие эффекты).

5. Некоторые вопросы физики твердого тела (гетероструктуры в полупроводниках, квантовые ямы и точки, переходы металл – диэлектрик, волны зарядовой и спиновой плотности, мезоскопика).

6. Фазовые переходы второго рода и родственные им. Некоторые примеры таких переходов. Охлаждение (в частности, лазерное) до сверхнизких температур. Бозе-эйнштейновская конденсация в газах.

7. Физика поверхности. Кластеры.

8. Жидкие кристаллы. Сегнетоэлектрики. Ферротороиды.

9. Фуллерены. Нанотрубки.

10. Поведение вещества в сверхсильных магнитных полях.

11. Нелинейная физика. Турбулентность. Солитоны. Хаос. Странные аттракторы.

12. Разеры, гразеры, сверхмощные лазеры.

13. Сверхтяжелые элементы. Экзотические ядра.

14. Спектр масс. Кварки и глюоны. Квантовая хромодинамика. Кварк-глюонная плазма.

15. Единая теория слабого и электромагнитного взаимодействия.  $W^\pm$  - и  $Z^0$  - бозоны. Лептоны.

16. Стандартная модель. Великое объединение. Суперобъединение. Распад протона. Масса нейтрино. Магнитные монополи.

17. Фундаментальная длина. Взаимодействие частиц при высоких и сверхвысоких энергиях. Коллайдеры.

18. Несохранение CP-инвариантности.

19. Нелинейные явления в вакууме и в сверхсильных электромагнитных полях. Фазовые переходы в вакууме.

20. Струны. М-теория.

21. Экспериментальная проверка общей теории относительности.

22. Гравитационные волны, их детектирование.

23. Космологическая проблема. Инфляция.  $\Lambda$ -член и «квинтэссенция». Связь между космологией и физикой высоких энергий.

24. Нейтронные звезды и пульсары. Сверхновые звезды.
25. Черные дыры. Космические струны (?).
26. Квазары и ядра галактик. Образование галактик.
27. Проблема темной материи (скрытой массы) и ее детектирования.
28. Происхождение космических лучей со сверхвысокой энергией.
29. Гамма-всплески. Гиперновые.
30. Нейтринная физика и астрономия. Нейтринные осцилляции.

Этому «списку» уже несколько лет. С известным удовлетворением хочу заметить, что на сегодняшний день (декабрь 2006) внес бы в него (и, если угодно, и вношу) лишь весьма небольшие изменения. Именно, в пункт 3 добавляю вопрос о замечательной двумерной пленке – графене [8]. В пунктах 4 и 5 (или в специальном пункте) следует добавить вопрос о квантовых фазовых переходах и некоторой проблеме оптики [9,10]. Я уже не говорю о квантовых компьютерах и обсуждении связанных с ними проблем, я их совсем не знаю. Следует также упомянуть о спинтронике – электронике, в которой играет роль не только заряд электронов, но и их спин. Быть может, стоит также выделить вопрос о Бозе-Эйнштейновской конденсации поляритонов [11,12]. В пункте 12 нужно упомянуть и о лазерах на свободных электронах. К пункту 13 могу отметить, что уже созданы элементы с  $Z = 116$  и  $Z = 118$ , но чего-то нового в отношении «острова стабильности» при  $Z$ , близком к  $Z = 114$ , по-видимому, не было. Разумеется, ведется работа и в областях, которым посвящены пункты 14-19, но я не знаю здесь ничего принципиально нового. Кстати, упоминание в п.16 о магнитных монополях можно опустить, видимо, такие монополи в природе не существуют. Впрочем, о магнитных монополях было в прошлом написано немало, и знать, о чем идет речь, не плохо, хотя бы в качестве дани истории.

Ввел бы я еще один пункт, посвященный «новым» дополнительным измерениям, помимо известных нам 4-х измерений (трех координат и времени). Конечно, это вопрос далеко не новый, но как-то «зазвучал» в реальном плане лишь в последние годы. Из «списка» в отношении

астрофизики следует вычеркнуть в пункте 25 упоминание о космических струнах. Они не обнаружены, а включать в минимум все чисто гипотетические объекты нет оснований.

Ясная из сказанного известная консервативность «списка» отнюдь не является свидетельством, так сказать, консервативности самой физики. Напротив, она развивается прежними бурными темпами во многих областях, как-то «скрывающимися» под названиями тех или иных пунктов «списка». Новые достижения нужно отражать в лекциях или статьях, посвященных «минимуму».

Другое дело, что в тех случаях, когда многое зависит от гигантских установок, строящихся немало лет, развитие идет, так сказать, скачками. Так, Большой Адронный Коллайдер (LHC) было окончательно решено строить в 1994 г., а вступить в строй он должен в 2007-2008 году. И вот уже немало лет специализирующиеся в области высоких энергий физики буквально «щелкают зубами», ожидая результатов на LHC. Кстати, LHC будет стоить около 10 миллиардов долларов, это многонациональный проект. Встречные пучки протонов на LHC позволят изучать процессы при энергиях до  $14 \text{ TeV} = 1,4 \cdot 10^{13} \text{ eV}$ . До сих пор (т.е. до LHC) самым «продвинутым» ускорителем долгое время был коллайдер в лаборатории им. Ферми в США. В нем для встречных протон-антипротонных пучков достигается энергия в 2 ТэВ. Вот такими скачками на порядок величины (с 2 до 14 ТэВ) и происходит, можно сказать, развитие физики высоких энергий. Насколько мне известно, реального проекта создания протонного ускорителя «следующего поколения» не существует. Следующим большим коллайдером будет Международный Линейный Коллайдер (International Linear Collider, ILC), в нем будут соударяться встречные пучки электронов и позитронов с энергией (0,5 – 1) ТэВ каждый. ILC начнет строиться не раньше 2009 г. и будет стоить 5-7 миллиардов долларов.

От LHC ждут очень многого. Здесь нет возможности на этом останавливаться (см. статьи в *Physics World* и *Physics Today*). Ограничусь

упоминанием поисков хиггс-бозонов и новых частиц суперсимметричного типа. Это, так сказать, ожидаемые результаты. Особенно интересно при этом, если ожидания не подтвердятся, особенно если не существует хиггс-бозона. Тогда это будет буквально катастрофой для существующей физики частиц с высокой энергией. Все же вряд ли это возможно, а вот суперсимметричные частицы вполне могут оказаться плодом воображения.

К сожалению, по многим пунктам «списка» я не мог бы сейчас сделать квалифицированных замечаний – для этого нужно знать самые последние данные и работы. Но во многих из перечисленных областей за несколько последних лет и не сделано много нового.

Главное событие по проблеме 1 – управляемом ядерном синтезе, это конец многолетнего спора, где же строить ITER – международный экспериментальный термоядерный реактор типа токамак. Решено – он будет строиться во Франции. Займет это несколько лет (порядка 10) и стоит он будет порядка 10 миллиардов долларов. Огромная работа, огромные деньги, но трудно сомневаться в необходимости построить эту машину. Вместе с тем, насколько знаю, не собираются прекращать попытки создать реакторы (установки), осуществляющие ядерный синтез, но не по схеме «токамак». Упомяну так называемые «пробкотроны», основанные на линейном расположении магнитных ловушек. Строятся также (в некоторых случаях гигантские) установки для «инерционного» синтеза в результате быстрого сжатия мишени из ядер  $d$  и  $t$  (дейтерия и трития), скажем, лазерными пучками. Воспользуюсь этим моментом, чтобы пояснить, что я имею в виду под «физическим минимумом» в отношении, скажем, управляемого термоядерного синтеза. Нужно знать постановку проблемы с данными о  $d+d$  и  $d+t$  реакциях и т.д. Далее, нужно знать конструкцию токамака и, в частности, установки ITER. Наконец, нужны сведения об «инерционном» синтезе и, скажем, о «пробкотронах».

Пункт 2 списка это, можно сказать, моя узкая специальность, и на эту тему я уже очень много написал. Здесь ограничусь ссылкой на статью 3 в



книге [1], особенно в ее английском издании. Основная задача – создание сверхпроводников с критической температурой  $T_c$  выше комнатной (лучше всего с  $T_c \sim 100^\circ \text{C}$ ). Можно ли достичь этой цели? Гарантии никто дать не может, я думаю, что цель реальна. Как ее достичь? Указаны разные пути. В данный момент наиболее привлекательным мне кажется создание новых материалов с соответствующим спектром фононных колебаний и одновременно с сильной электрон-фононной связью [13]. Написать такую фразу можно было годы назад. Однако существовали, да, собственно, и сейчас существуют сомнения в возможности устойчивости таких веществ. Вместе с тем открытие в 2001 г. сверхпроводника  $\text{MgB}_2$  с  $T_c \simeq 40\text{K}$  и ряд примеров и соображений делают возможность получения указанных материалов более реальной [13].

И тут уместно сделать одно общее замечание. Успехи, в частности, в области физики твердого тела как-то позволили забыть, если угодно, тот факт, что мы еще бессильны создавать все мыслимые вещества. Возможности расчетов ограничены, но если даже согласно этим расчетам может существовать некое устойчивое или даже метастабильное вещество с нужными свойствами, то еще совсем неясно, как его синтезировать. Я чувствую себя совсем некомпетентным в этом круге вопросов, которыми многие занимались и занимаются. Но, видимо, масштаб таких исследований явно недостаточен, нужно это изменить.

По поводу пункта 3 «списка» ничего нового не знаю, кроме результатов расчетов [14]. Согласно им, металлический водород при давлении в 20 Мбар является сверхпроводящим с  $T_c \simeq 600 \text{K}$ . Слабое утешение, если знать, что металлический водород (при невысоких температурах) еще вообще не получен, и как это сделать в реальном плане остается неизвестным.

Выше уже упоминалось о двумерном электронном газе (пункт 4). Лучше иметь здесь в виду вообще двумерные системы. И вот в 2004 г.

сделано открытие, пожалуй, самое интересное за последние годы. Именно, получен и изучен так называемый графен [8, 15]. Это попросту двумерный углерод или, если угодно, одна единственная плоскость графита (теперь правильнее говорить, что графит это стопка графенов). Электроны проводимости в графене ведут себя как частицы с массой нуль и поэтому во многом подобны релятивистским частицам, но со скоростью в 300 раз меньшей скорости света в вакууме. Неожиданным и, конечно, очень любопытным фактом является легкость, с которой получается графен. Практическое использование графена представляется многообещающим.

В связи с пунктом 6 нужно отметить обсуждение вопроса о Бозе-Эйнштейновской конденсации поляритонов [11, 12]. Последние представляют собой ни что иное как нормальные электромагнитные волны в среде, в частности, в кристаллах [16]. Т.о. это те же фотоны, но распространяющиеся в среде. В вакууме о БЭ-конденсации фотонов как-то вряд ли уместно говорить – квантовая электродинамика в вакууме описывает поведение фотонов полностью. Фотон в среде это уже новая квазичастица, и ставить вопрос об ее БЭ-конденсации, как мне кажется, можно. Соответствующая проблема может оказаться важной, если учесть, что поляритоны фигурируют в теории сверхпроводимости в качестве возможной замены фононов (см. статью 3 в [1]).

В «список», например, в пункт 6 следовало бы включить, как выше упоминалось, и успехи в оптике. Ссылки на этот счет уже были приведены выше (ссылки [9,10]). Обзор [10] посвящен оптическим явлениям в случае отрицательной групповой скорости [16] (групповая скорость, как известно,  $\vec{v}_g = \frac{\partial \omega}{\partial \vec{k}}$ , где  $\omega$  - частота и  $\vec{k}$  - волновой вектор волн. Обычно, в изотропной среде  $\vec{v}_g$  направлена по  $\vec{k}$ , а в средах с отрицательной групповой скоростью  $\vec{v}_g$  направлена по  $-\vec{k}$ ).

В новый вариант «списка» я, как упоминалось, включил бы сегодня вопрос о многих измерениях, т.е. о возможности того, что мир, в котором мы

живем, имеет больше 4-х измерений. Вопрос этот сейчас широко обсуждается, в особенности в связи с теорией струн (пункт 20). Последняя развивается как раз в пространстве с 10 и 11 измерениями. Как, вообще говоря, «расправляться» с новыми измерениями, я не знаю. Но идея «компактификации» такова. Если, например, в 5-мерном пространстве частица движется по кривой ( $x = 0, y = 0, z = 0 + \zeta, \zeta = \zeta(t)$ ) и значение 5-ой координаты  $\zeta$  очень мало, то в хорошем приближении просто получим движение по оси  $z$ . Другими словами, если значения новых координат достаточно малы, то для определенного круга явлений можно не считаться с «новыми» координатами. Это и есть, по сути дела, «компактификация». В некоторых теориях характерный масштаб «новой длины» порядка так называемой гравитационной или планковской длины  $\ell_g = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} = 1,6 \cdot 10^{-33}$  см (здесь  $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \frac{см^3}{г \cdot с^2}$  - гравитационная постоянная,  $c = 3 \cdot 10^{10}$  см/сек – скорость света,  $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-27}$  эрг.с – квантовая постоянная. Заметим, что наименьшие размеры, которые можно изучать на современных ускорителях  $\ell \sim 10^{-17} - 10^{-18}$  см, и т.о. о масштабах порядка  $\ell_g \sim 10^{-33}$  см можно сейчас говорить только, например, вблизи космологической сингулярности и для других сингулярностей, скажем, в черных дырах.

Некоторые комментарии по всем пунктам «списка» можно найти в соответствующих статьях книг [3-6] и указанной там литературе. Сейчас напомним, что фундаментальные вопросы о «темной материи» и о «темной энергии» фигурируют в пунктах 23 и 27 «списка», причем в пункте 23 темная энергия названа «квинтэссенцией».

Это же просто потрясающий факт, что барионная часть вещества во Вселенной составляет лишь около 4% от всей материи, примерно 20% приходится на темную материю и около 75% на темную энергию. Темная материя, как обычно предполагается, это какие-то неизвестные частицы, взаимодействующие с барионным веществом только гравитационными

силами. Эти частицы ищут, но пока, несмотря на немалые усилия, не находят. А быть может «темная материя» это нечто совсем другое, это «новая физика»? Такие гипотезы выдвигались, пока здесь царит полная неясность. В случае «темной энергии» ясности еще меньше.

Раньше всего можно сказать, что «темная энергия» это некоторый источник антигравитации – т.е. отталкивания тел, а не их притяжения друг к другу в силу обычной (ньютоновской) гравитации. В обычной гравитации шар из вещества, вначале покоящийся, если он не вращается – схлопнется, и может находиться в стационарном состоянии, только если вращается, как мы это знаем на примере солнечной системы. Простейшая модель Вселенной это не вращающийся шар и он, в зависимости от начальных условий, будет либо схлопываться, либо расширяться. Кстати, описание такой ситуации в первом приближении может быть получено, используя теорию тяготения Ньютона (между прочим, это не сразу было замечено), но впервые фактически такую модель на базе уравнений общей теории относительности (ОТО) рассмотрел в 1922 и 1924 годах А.А. Фридман. Однако такая нестационарная модель («модель расширяющейся Вселенной») еще в начале прошлого века не рассматривалась, Вселенную считали стационарной. Эйнштейн закончил создание ОТО в 1915 г., а в 1916 г. написал большую обзорную статью (на которую часто ссылаются как на завершившую создание ОТО). И, естественно, он захотел применить ОТО к космологии, но на базе стационарной модели, о которой только тогда и была речь. И увидел, что нужного стационарного решения уравнений ОТО не существует. Оказалось, однако, что уравнения ОТО можно обобщить, добавив к ним еще один член, называемый  $\Lambda$ - членом. Проще всего пояснить, в чем дело, выписав уравнения ОТО для метрического тензора  $g_{ik}$  (подробнее см. любой учебник, например, «Теория поля» Л. Ландау и Е. Лифшица):

$$R_{ik} - \frac{1}{2} R g_{ik} - \Lambda g_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik}, \quad (1)$$

где  $T_{ik}$  – энергия-импульс вещества, а  $R_{ik}$  и  $R$  – функции  $g_{ik}$ .

Физический смысл  $\Lambda$ -члена (т.е. член  $\Lambda g_{ik}$ ) при  $\Lambda > 0$  это отталкивание. Если перенести  $\Lambda$ -член в правую часть уравнения (1), то этот член эквивалентен введению добавочного тензора энергии-импульса вакуума

$$T_{ik}^{(v)} = \frac{c^4 \Lambda}{8\pi G} g_{ik} \quad (2)$$

Уравнение состояния этой «вакуумной материи», если положить  $g_{00} = -1, g_{\alpha\alpha} = 1$ , таково

$$\varepsilon_v = -p_v = \frac{c^4 \Lambda}{8\pi G} \quad (3)$$

что при положительной плотности энергии  $\varepsilon_v > 0$  отвечает отрицательному давлению  $p_v = -\varepsilon_v$ . Далее, в ОТО «действующая гравитационная масс» единицы объема равна  $\frac{\varepsilon + 3p}{c^2}$ , т.е. давление имеет вес. Т.о. в случае (3) с  $\Lambda > 0$  единица объема вакуума обладает гравитационной массой

$$m_v = -\frac{c^4 \Lambda}{4\pi G} \quad (4)$$

Любопытно, что после работ Фридмана Эйнштейн счел введение  $\Lambda$ -члена чуть ли не ошибкой и, во всяком случае, неудовлетворительным. С ним был согласен, например, Паули, а Ландау о  $\Lambda$ -члене буквально и слышать не хотел. Мне же его введение всегда казалось красивым и интересным, не в силу каких-то глубоких соображений, а потому, что это единственная возможность обобщить ОТО Эйнштейна не переходя к более сложным уравнениям.

И вот астрономические наблюдения последних лет показали, что Вселенная расширяется так, как если бы  $\Lambda$ -член существовал. Точнее, на основании опытных данных можно лишь заключить о наличии у вакуума плотности энергии и импульса быть может не таких, что строго  $\varepsilon_v = -p_v$ , но

все равно таких, что  $\varepsilon_\nu + 3p_\nu$  было отрицательно (так называемая квинтэссенция). Насколько знаю, последние данные свидетельствуют в пользу того, что  $\varepsilon_\nu = -p_\nu$ , т.е. темная энергия описывается в точности  $\Lambda$ -членом Эйнштейна.

Сказанное – это огромное достижение, но можно ли просто ограничиться констатацией существования  $\Lambda$ -члена? Думаю, как и многие другие, что это не так, и здесь появятся новые идеи, нужно более глубокое понимание.

К сожалению, по многим пунктам «списка» даже пояснения масштаба приведенных, в настоящей статье неуместны. Хочу сделать лишь еще одно замечание, касающееся теории струн (пункт 20). Это, так сказать, последний крик моды в теории физики элементарных частиц и физики высоких энергий. В основе лежит гипотеза о том, что первоматерия это струнки с размерами порядка  $l \sim l_g \sim 10^{-33}$  см. В этом направлении работают многие очень сильные теоретики и утверждается, что в теории струн, которой уже около 30 лет, произошли даже две революции. Но, каюсь, не знаю, что же дает теория струн для физики, какова ее связь с реальностью, что она предсказывает. Из литературы знаю, что с такими же вопросами сталкиваются многие.

Думаю, что в рамках «физического минимума» достаточно о теории струн сообщить немного, но и это, скорее всего, должен сделать специалист.

Настоящая статья, вопреки моим ожиданиям, разрослась, но, тем не менее, не знаю, удалось ли мне убедить читателей в полезности «физического минимума». Насколько это правильный путь, насколько он эффективен особенно в отношении молодежи? Не берусь ответить, но, честно говоря, удивлен, что среди огромного количества физиков не нашлось никого, кто составил бы «свой список» и прокомментировал его.

Вместе с тем, если вопрос о «физическом минимуме» и целесообразности его использования это вопрос, конечно, спорный, то необходимость заботиться о повышении квалификации молодежи, расширении ее кругозора представляется несомненной. Использование

«физического минимума» это один из путей. Другой путь, особенно важный и актуальный для России, это создание и использование высококачественного научно-популярного журнала типа Physics World. Не нужно путать такие журналы с просто научно-популярными журналами. Последние у нас имеются, и неплохие («Наука и Жизнь», «Природа»). «Научно-популярный журнал для физиков» это статьи, заметки и информация о ситуации в физике и смежных дисциплинах по самым последним данным. Например, уже в конце ноября 2006 г. я получил ноябрьский выпуск Physics World, где есть информация о цитированных выше статьях в Nature [11,12] и имеется большая статья о графене, написанная людьми, активно работающими в этой области [8]. Вообще, в таком журнале (условно назовем его «Физика и астрономия сегодня») печатаются как статьи и заметки сотрудников редакции, так и статьи и интервью активно работающих физиков и астрономов. Таким образом, читая подобный журнал, можно быть в курсе последних событий и получить информацию об оригинальных публикациях в Nature и специальных журналах. Такой журнал на русском языке просто необходим, ибо иностранная литература выписывается у нас в недостаточном количестве, да и нельзя было бы выписать 10 тыс. экземпляров Physics World<sup>\*)</sup>. С предложением издавать у нас такой широко доступный журнал под названием «Физика и астрономия сегодня» я и выступил в 2002 и 2003 году [17]. Послал, естественно, такое предложение в Отделение физических наук (ОФН) Российской Академии наук. Предложение обсуждалось на Бюро ОФН и, вроде бы, было поддержано, чем дело и ограничилось. Не нашлось

---

<sup>\*)</sup> Насколько мне удалось узнать, Physics World издается тиражом в 35 тыс. экз. Из них 28 тыс. экз. распространяются в Англии (Великобритании). Видимо, журнал получают все члены Английского Физического Общества. У нас «Физику и астрономию сегодня» следует издавать также большим тиражом, думаю, не меньшим, чем Physics World в Англии. К сожалению, у нас не существует активно работающего Физического Общества. Быть может, создание журнала окажется поводом и стимулом для активизации работы этого Российского Физического Общества.

энтузиастов, которые взялись бы за издание журнала, впрочем, их фактически и не искали. Между тем, в ОФН сейчас 70 академиков и 111 членов-корреспондентов, не говоря уже о немалом количестве физиков в других Отделениях РАН. Почти все эти люди имеют сотрудников, и обеспечить хорошую работу журнала «Физика и астрономия сегодня» было бы несложно, да и деньги это небольшие. Но, власть имущим, не до того.

И здесь позволю себе общее замечание. Стон раздается об отставании науки в России. И, конечно, справедливы упреки в недостаточном финансировании, как в отношении оборудования, так и в отношении низкой зарплаты. Но для успешной работы в науке, да и не только в науке, помимо «хлеба насущного» (тех же денег, в частности, на приличную зарплату) важен и моральный, так сказать, фактор. Имею в виду энтузиазм, преданность делу, желание успеха. И вот, по моему мнению, с этим моральным фактором в России в настоящее время не все благополучно, а у меня есть, с чем сравнивать – только в Физическом институте им. Лебедева я работаю с 1940 г. Причины наблюдающейся, к счастью, далеко не всегда, апатии и безынициативности, мне недостаточно ясны, это непростое социальное явление.

И я хотел бы закончить эту статью призывом, особенно к молодым научным работникам: на вашу долю выпало огромное счастье заниматься наукой, этой движущей силой современной цивилизации. Так цените это счастье и не жалейте своих сил, и не только на свою собственную работу, но и на деятельность в интересах всего научного сообщества.

В.Л. Гинзбург

6 декабря 2006 г.



## Литература

1. В.Л. Гинзбург. *О сверхпроводимости и о сверхтекучести. Автобиография.* (М.: Физматлит, 2006). Предполагается, что перевод этой книги на английский язык появится в издательстве Springer.
2. В.Л. Гинзбург *УФН* **103** 87 (1971) [V.L. Ginzburg *Sov. Phys. Usp.* **14** 21 (1971)]
3. В.Л. Гинзбург. *О физике и астрофизике.* Последнее издание: (М.: Бюро Квантум, 1995)
4. V.L. Ginzburg. *The Physics of a Lifetime. Reflections on the Problems and Personalities of 20<sup>th</sup> Century Physics* (Berlin: Springer-Verlag, 2001)
5. В.Л. Гинзбург *О науке, о себе и о других.* (М.: Физматлит, 2003, 2004)
6. V.L. Ginzburg *About Science, Myself and Others* (Bristol: IOP Publ., 2005)
7. V.L. Ginzburg. «Нобелевская лекция» (см. первую часть книги [1] и *УФН* **174** 1240 (2004))
8. A.C. Nete, F. Guinea, N.G. Peres *Phys. World* **19**, № 11, 33 (2006)
9. Нобелевские лекции по физике - 2005. *УФН* **176**, № 12 (2006)
10. В.М. Агранович, Ю.Н. Герштейн *УФН* **176** 1051 (2006)
11. J. Kasprzak et al. *Nature* **443** 409 (2006)
12. S. Demokritov et al. *Nature* **443** 430 (2006)
13. N.E. Pickett *J. Superconductivity* (в печати)
14. E.G. Maksimov, S.Yu. Savrasov *Solid State Commun.* **119** 569 (2001)
15. Y. Woo Son, M.L. Cohen, S.G. Louie. *Nature* **444** 347 (2006)
16. В.М. Агранович, В.Л. Гинзбург *Кристаллооптика с пространственной дисперсией и теория экситонов.* (М.: Наука, 1979) [V.M. Agranovich, V.L. Ginzburg *Crystal Optics with Spatial Dispersion, and Excitons* (Berlin: Springer-Verlag, 1984)]
17. Газета «Известия» от 11 января 2001 г.; «Литературная газета» от 9 июня 2003 г. Эта статья имеется также на сайте: [www.ufn.ru](http://www.ufn.ru), отдел «Трибуна УФН», URL: [http://data.ufn.ru//tribune/Gin\\_Russ.pdf](http://data.ufn.ru//tribune/Gin_Russ.pdf).