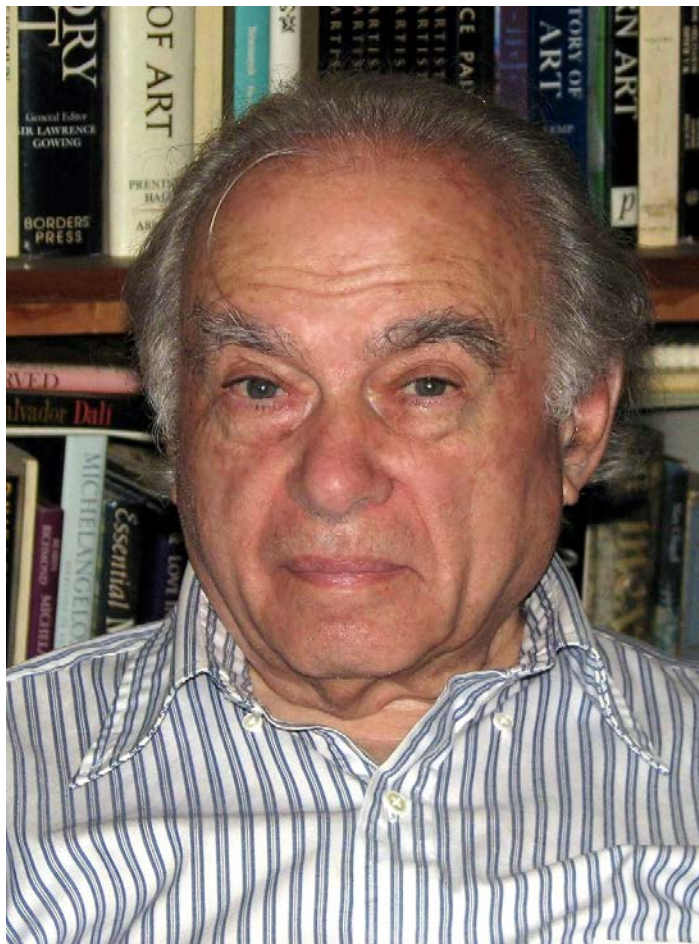


## ПОЧЕМУ РАСШИРЯЕТСЯ ВСЕЛЕННАЯ?



### К 90-летию Э.Б. Глинера

В 1965 г. Эраст Борисович Глинер, выпускник Ленинградского университета, незадолго до того принятый в Теоретический отдел Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе АН СССР (Физтех), опубликовал в одном из лучших физических журналов страны, Журнале Экспериментальной и Теоретической Физики (ЖЭТФ), статью под названием «Алгебраические свойства тензора энергии-импульса и вакуумоподобное состояние вещества». В этой статье была дана физическая интерпретация космологической постоянной Эйнштейна и выдвинута гипотеза о физической природе Большого Взрыва. По Глинеру, вначале во Вселенной был вакуум, описываемый космологической постоянной. Из первичного вакуума рождалось вещество и оно расширялось под действием

антигравитации вакуума. Так возникло наблюдаемое космологическое расширение.

## **Инфляция, или раздувание**

Идею Глинера сразу же оценили Лев Эммануилович Гуревич, его научный руководитель в Физтехе, и Андрей Дмитриевич Сахаров. В книге «Воспоминания» Сахаров пишет о своих первых (1965 г.) космологических работах: «В одном из рассмотренных мною гипотетических уравнений состояния плотность энергии при стремлении плотности вещества к бесконечности стремится к постоянной величине. То есть в пределе плотность энергии не зависит от плотности вещества. Давление при этом отрицательно, вещество растянуто. Такое уравнение состояния приводит к расширению Вселенной по закону показательной функции. Независимо, и с большей определенностью, о том же писал в те же годы Глинер.» (Журналы «Знамя», 1990; «Наука и Жизнь», 1991.)

В 1965-80 гг. идею первичного вакуума развивали и сам Эраст Борисович, и Ирина Гавриловна Дымникова (Физтех), Л.Э. Гуревич, Алексей Александрович Старобинский (Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау). С начала 1980-х гг., после работ Алана Гута и Андрея Линде, увлечение этой идеей постепенно приняло массовый характер и в результате возникло и продолжает разрастаться до сих пор широкое направление в космологии, получившее название «инфляция» (по предложению Гута), или «раздувание» (как предпочитает говорить Э.Б.). Теоретиками инфляции предложены сотни, а то и тысячи, различных космологических сценариев, то есть эволюционных схем, в рамках которых могла бы – в принципе – реализоваться картина, впервые намеченная в общих чертах Глинером. Некоторые из сценариев необычайно изобретательны по замыслу и конструкции; другие отличаются изящным описанием мельчайших математических подробностей; третьи сочетают в себе и то и другое. В русле инфляционного движения не заметно «борьбы идей», все дружно расширяют пространство теоретически допустимых возможностей, обильно цитируя друг друга. При этом нередко забывают, чьи идеи они столь энергично развивают.

## **Большая жизнь**

Э.Б. Глинер пришел в теоретическую физику, имея за плечами опыт суровых жизненных испытаний. Он родился в Киеве 26 января 1923 г. Рос без отца. Мать заведовала лабораторией областного туберкулезного диспансера. После окончания школы поступил на Химический факультет Ленинградского университета. С началом войны он, как и многие из ЛГУ, был направлен на оборонные работы под Ленинградом. От непосильных

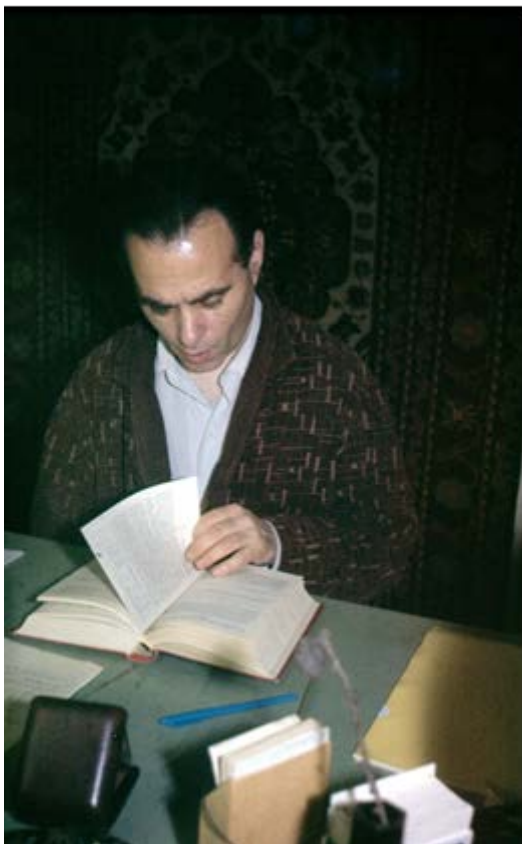
физических нагрузок и трудных условий жизни тяжело заболел. Чудом полуживым был доставлен в блокадный Ленинград, где оставался всю суровейшую зиму 1941-1942 годов, и только после этого его вывезли на Большую Землю. От службы в армии был освобожден вчистую из-за страшной дистрофии, следствия болезни и голодной зимы. В 1942 году Э.Б. пошел в армию добровольцем. Дела на фронте складывались так плохо, что взяли и его. Был дважды ранен. Награжден двумя боевыми орденами. В мае 1944 г. после третьего тяжелого ранения потерял правую руку. Его демобилизовали, и осенью того же года Э.Б. поступил в Ленинградский университет на 1-й курс Физического факультета.

13 марта 1945 г. он был арестован и осужден на 10 лет лагерей по статье 58-10, ч.2, 11 УК РСФСР – «за участие в деятельности антисоветской группы». А это был всего лишь студенческий литературный кружок, кружок любителей русской поэзии. Э.Б. отбывал заключение в тюремных конструкторских бюро ГУЛАГа – в печально известных ленинградских "Крестах", в спецтюрьмах Москвы и Красноярска. Был старшим инженером расчетно-исследовательской группы, руководил лабораторией, проектировал системы автоматического регулирования и электроаппаратуру. В тюрьме Э.Б. получил авторские свидетельства на ряд изобретений и «коренное техническое усовершенствование». Освобожден 25 апреля 1954 г.; 5 августа 1955 г. он был реабилитирован «в связи с отсутствием состава преступления».

Э.Б. вернулся в ЛГУ, учился на физическом факультете и одновременно работал учителем вечерней школы. Он окончил университет в 1963 г. и в том же году стал сотрудником Физтеха. Годом раньше вышла его книга «Уравнения в частных производных математической физики» (Москва, Физматлит), написанная совместно с М.М. Смирновым и академиком Н.С. Кошляковым (он тоже прошел через ГУЛАГ); книга выдержала несколько изданий, в том числе и в США на английском языке. В 1960-е гг. Э.Б. опубликовал – помимо уже упомянутой статьи в ЖЭТФ – несколько работ по релятивистской физике и космологии; одну из них Сахаров представил в журнал «Доклады Академии Наук СССР». По этим работам Э.Б. подготовил кандидатскую диссертацию и представил ее в ученый совет Физтеха.

Тем временем вокруг космологических идей Глинера разгорелся нешуточный спор на «академическом» уровне. Академик Яков Борисович Зельдович был резко против этих идей. Академики Андрей Дмитриевич Сахаров и Владимир Александрович Фок решительно их поддержали. Сахаров и Фок заявили, что диссертацию Глинера можно защищать как докторскую и были готовы оппонировать. Это стало известно в Физтехе, и институтское начальство (по собственной ли инициативе?) поставило Э.Б. перед выбором: или имя Сахарова как оппонента снимается и тогда –

невзирая на позицию Зельдовича – диссертация защищается (возможно, как докторская), или не защищается вообще даже как кандидатская. Э.Б. выбрал второе.



Э.Б. Глинер, начало 1960-х гг.

На диссертацию был наложен негласный запрет. Тем не менее она была благополучно защищена в 1972 году, и это произошло так. Гуревич позвонил эстонскому академику Харальду Петровичу Кересу, автору фундаментальных работ по общей теории относительности, рассказал о результатах Глинера, о ситуации, которая сложилась вокруг его диссертации, и попросил поставить доклад Э.Б. на релятивистском семинаре в Тарту. Доклад прошел успешно, и Керес охотно принял диссертацию к защите в Тартуском университете. Но диссертационные документы Э.Б. хранились в администрации Физтеха. И тут милейший Георгий Васильевич Скорняков, тогдашний ученый секретарь Физтеха, тайком взял эти документы и позволил переправить их в Тарту.

В том же 1972 году в издательстве «Знание» вышла научно-популярная брошюра Л.Э. Гуревича и Э.Б. Глинера «Общая теория относительности после Эйнштейна». Через два года в этом издательстве вышла вторая их брошюра «Пространство и время». Гуревич говорил (1976 г.): «В Ленинграде лучше всех знает и чувствует общую теорию относительности

Эраст Борисович, а за ним – Володя Рубан [Владимир Афанасьевич Рубан (1937-1983) – рано ушедший талантливый ленинградский физик-теоретик]».

Бороться в дальнейшем за докторскую степень Э.Б. не стал. Теоретик с мировым именем, фронтовик, отец семейства, он находился в институте на должности младшего научного сотрудника. Осенью 1979 г. Э.Б. уволился из Физтеха «по собственному желанию», а в следующем году уехал из СССР. На этом нелегком решении особенно настаивали его дети.



На набережной Невы, начало 1970-х гг.

В 1980-87 гг. Э.Б. работал в крупных научных центрах США – McDonnell Center for Space Science at Washington University (St. Louis), Joint Institute for Laboratory Astrophysics at University of Colorado, а также в Institute of Theory Studies (San-Francisco). В 1987 г. возникла перспектива перейти в один из лучших университетов Западного побережья, его пригласили приехать, выступить с докладом на семинаре. Но дело кончилось ничем (см. ниже).

В декабре 1985 г., а затем в апреле 1986 г. Э.Б. опубликовал в журнале Nature (London) два письма в защиту Сахарова, который находился тогда в ссылке в Горьком (Нижний Новгород). Из этого авторитетного издания

многочисленные читатели, ученые разных стран узнали о научных достижениях крупнейшего физика, который, рискуя свободой и жизнью, открыто выступил за права человека, против царившего в СССР произвола властей.

## **В.Л. Гинзбург: Мы в долгу перед Глинером**

Москва, Физический институт РАН, зима 1999 года. Виталий Лазаревич Гинзбург самым длинным ключом из большой связки отпирает висячий замок на дверях его рабочего кабинета:

- Пришлось повесить амбарный замок после того как из этой комнаты украли принтер (ксерокс?).

Он пригласил к себе для разговора трех физиков, занимающихся космологией:

- Время от времени слышу об инфляции, но все не могу понять толком, что в ней такого. И почему она необычайно популярна. В чем там дело, если по сути?

Виталий Лазаревич слушал ответы на эти вопросы, задавал новые, но к концу беседы был разочарован, едва ли не рассержен:

- В общем, я мало чего нового усвоил. Хочу поговорить еще со Славой Мухановым, он квалифицированный человек, я ему тоже доверяю. Одно ясно – вся эта бурная деятельность возникла из идеи Глинера о первичном вакууме. Но о Глинере я и так знал.

Гинзбург встречался с Э.Б. в Калифорнии годом или двумя ранее и заказал ему тогда большой критический обзор по космологии для журнала Успехи Физических Наук (УФН), где Виталий Лазаревич был главным редактором. Э.Б. все медлил и в итоге написал не подробный обзор, а скорее небольшую статью «Раздувающаяся Вселенная и вакуумоподобное состояние физической среды» – только о том, что его интересовало и волновало в тот момент. В этой статье, вопреки обычаям инфляционного сообщества, имелась критика, выдержанная, впрочем, в свойственной Э.Б. самой мягкой и деликатной манере. Она касалась «видимо, ошибочной» интерпретации раздувания в целом большом классе весьма популярных в ту пору инфляционных сценариев.

К этой статье, вышедшей в УФН в февральском выпуске за 2002 год, Гинзбург написал предисловие, в котором упомянул о некоторых фактах непростой биографии Глинера; сказал, в частности, о его жизни в Америке: «К сожалению, в 1980 г. Глинер эмигрировал в США, поскольку были известные всем нам трудности с получением его детьми университетского образования. В США он успешно работал в нескольких университетах в области физики Солнца и общей теории относительности. В 1987 г. он, однако, потерял работу после того как на семинаре в одном из всемирно

известных университетов высказал мысли, близкие к изложенным в настоящей публикации и, видимо, неугодные некоторым преуспевающим космологам в США. [...] по сложившимся обстоятельствам, он не принадлежит к какой-либо влиятельной научной группе, не может посещать научные конференции, пользоваться академической компьютерной сетью, да и публикация статей в ведущих зарубежных журналах не является бесплатной. Я считаю, что мы в большом долгу перед Э.Б. Глинером и должны быть рады возможности опубликовать его статью, тем более что она, в той мере, в которой могу об этом судить, глубока по содержанию. Замечу, что ценность пионерской работы Глинера уже была ранее отмечена в УФН и Бюллетене РАН [даны ссылки].»

Гинзбург надеялся, что вслед за краткой статьей Э.Б. рано или поздно напишет и обещанный большой критический обзор по инфляции. Летом 2009 г. спрашивал автора по телефону:

- Что слышно об Эрасте? Вы с ним перезваниваетесь? Почему он не отвечает на мои электронные письма? Я уже думаю, не обиделся ли он вдруг на меня. Передавайте, пожалуйста, ему привет, пусть напишет мне. И вообще – пусть пишет обзорную статью, обещал же.

## **Вакуум Эйнштейна – Глинера**

Глинеру принадлежат по крайней мере два научных результата, вошедшие в золотой фонд современной космологии. Как уже упоминалось в начале статьи, это физическая интерпретация космологической постоянной и гипотеза о природе космологического расширения. Скажем о науке немного подробнее.

Космологическая постоянная – изобретение Эйнштейна. В 1917 г. он включил ее в математическую структуру своей общей теории относительности, причем сделал это в исключительно простой и элегантной форме. Но что она означает по существу? Какая физика стоит за ней? На этот счет не было дано никаких разъяснений или истолкований. Понимание физической сути космологической постоянной формы. Но что она означает по существу? Какая физика стоит за ней? На этот счет не было дано никаких разъяснений или истолкований. Понимание физической сути космологической постоянной складывалось постепенно, десятилетие за десятилетием, начиная с работ В. де Ситтера, Ж. Леметра, Р. Толмена. Решающее слово было сказано Глинером в 1965 г. Он выдвинул представление о том, что эта величина описывает универсальный космический вакуум, создающий всемирное антитяготение. Сейчас это представление является общепринятым.





Галина Ивановна и Э.Б. , Сан-Франциско, 2010 г., снимок В. Кетова  
(в кадр попал велосипед этого фотографа-путешественника)

Различных вакуумов в физике немало; это и «технический» вакуум, и истинный, и ложный, и квантовый вакуум, и т.д. Будем для определенности называть космическую среду, о которой идет речь, вакуумом Эйнштейна-Глинера, или ЭГ-вакуумом.

ЭГ-вакуум — особая, не известная до того в физике сплошная среда. Она невидима, не излучает и не поглощает света, не рассеивает его.

Но это не пустота, ЭГ-вакуум обладает отличной от нуля энергией. Его энергия однородно, идеально равномерно заполняет все пространство Вселенной. Плотность энергии вакуума (то есть его энергия, приходящаяся на единицу объема) всюду одинакова и не меняется со временем. ЭГ-вакуум имеет также отличное от нуля давление, причем связь между давлением и плотностью энергии – то, что называют уравнением состояния среды, – такова: давление есть плотность энергии, взятая со знаком минус. (Обе величины имеют одинаковую физическую размерность.) Плотность энергии



вакуума положительна; значит его давление отрицательно. Само по себе отрицательное давление не так уж необычно; например, давление отрицательно внутри растянутого резинового жгута или во всесторонне растянутой стальной болванке. Но ни в одной среде, кроме вакуума, отрицательное давление не равно по абсолютной величине плотности энергии.

Из уравнения состояния вакуума вытекают два важнейших его свойства. Во-первых, ЭГ-вакуум обладает основным механическим свойством вакуума: движение и покой относительно него неразличимы (как и в случае тривиальной пустоты). Об этом можно еще, например, сказать так. Пусть имеются два тела (или две системы отсчета), которые произвольно движутся относительно друг друга. Но относительно вакуума оба тела (или обе системы отсчета) всегда покоятся. Вакуум — среда, которая сопутствует любому движению. Ясно, что по этой причине он сам не может служить системой отсчета. По той же причине плотность энергии вакуума одинакова во всех системах отсчета, как бы они ни двигались друг относительно друга в пространстве. Так что вакуум всегда, везде и в любой системе отсчета один и тот же по всем своим свойствам.

Во-вторых, ЭГ-вакуум создает не тяготение, а антитяготение, всеобщее отталкивание во Вселенной. Дело в том, что, согласно общей теории относительности, способность однородной среды создавать тяготение определяется не только ее плотностью (как в теории тяготения Ньютона), но еще и давлением. «Эффективная гравитирующая плотность энергии» в космологии дается комбинацией этих двух величин: она равна плотности энергии плюс три величины давления. Для вакуума с его особым уравнением состояния эта сумма отрицательна. Вот почему ЭГ-вакуум — в отличие от всех других сред в природе — создает не тяготение, а антитяготение.

Сегодня этот круг идей неожиданно оказался в центре самых оживленных дискуссий, теоретических и наблюдательных исследований в фундаментальной физике, космологии и астрономии. В 1998-99 гг. две международные группы астрономов-наблюдателей, одной из которых руководили Брайан Шмидт и Адам Райэсс, а другой — Сол Перлматтер, сообщили, что космологическое расширение происходит с ускорением. Прежде считалось, что разбегание галактик может только замедляться со временем под действием их собственного тяготения. Но ускорение означает, что в природе имеется не только всемирное тяготение, но и всемирное антитяготение, которое к тому же преобладает над тяготением в наблюдаемой Вселенной. Антитяготение создается не галактиками, а некоей особой космической средой, в которую все они погружены.

Дальнейшие исследования показали, что лучше всего на роль такой среды подходит ЭГ-вакуум. Действительно, все (!) свойства ЭГ-вакуума, о которых говорил и писал Глинер, находят замечательное соответствие и полное подтверждение в астрономических наблюдениях. Это в первую очередь относится к ключевой характеристике ЭГ-вакуума – его уравниванию состояния. Согласно всему комплексу имеющихся на сегодняшний день космологических данных, отношение давления вакуума к его плотности есть минус единица (как у Глинера – см. выше) и притом с очень высокой для такого рода измерений точностью – до 3-4 процентов.

Как это нередко бывает в жизни науки, для вновь открытого феномена тут же придумали и новое название – «темная энергия». Так теперь чаще всего называют наблюдаемый ЭГ-вакуум. На долю темной энергии приходится около трех четвертей всей энергии (или массы) наблюдаемой Вселенной. Так что это основной ингредиент «космической смеси». За открытие ускоренного расширения Вселенной три названные выше астронома получили Нобелевскую премию 2011 года.

Другой важнейший результат Э.Б. – его идея первичного вакуума. Она не нашла еще наблюдательного подтверждения. Ее теоретическая разработка затруднена тем обстоятельством, что «стандартная» фундаментальная физика не применима в крайне необычных условиях очень ранней Вселенной. Так что всем, кто работает в этом направлении, приходится волей-неволей прибегать к далеко идущим экстраполяциям и порой совершенно произвольным предположениям о физических законах, действовавших в начале космологической эволюции (последнее относится прежде всего к упомянутым выше инфляционным сценариям). По этим причинам не будем здесь входить в детали, скажем только о главном.

Согласно Глинеру, первичный вакуум обладал всеми описанными выше свойствами ЭГ-вакуума. Но в самой ранней истории мира его плотность энергии была на множество порядков величины больше того значения, которое нашли астрономы-наблюдатели на нынешней фазе космологической эволюции. Изначальный сверхплотный вакуум создавал антигравитацию огромной силы. Поэтому он был способен эффективно разгонять вещество, которое рождалось из него и двигалось на его фоне. Вещество быстро приобретало колоссальные скорости разлета. Таков предложенный Э.Б. физический механизм Большого Взрыва: за мельчайшие доли секунды сверхплотный первичный вакуум породил вещество Вселенной и заставил это вещество расширяться.

Было бы исключительно интересно выяснить, существует ли связь (эволюционная?) между гипотетическим первичным вакуумом и тем реальным вакуумом – темной энергией, – что наблюдают астрономы в сегодняшней Вселенной через 14 миллиардов лет после Большого Взрыва.

Имеется множество и других вопросов. Самый важный из них – внутренняя структура вакуума Эйнштейна – Глинера. Дело в том, что ни идеи Глинера, ни астрономические наблюдения ничего не говорят о составе вакуума на микроскопическом уровне. Что это за субстанция? Из чего она «сделана»? Вопрос остается полностью открытым. Как многие полагают, это ключевая проблема фундаментальной физики 21-го века.

Вернемся к вопросу Гинзбурга об инфляции: «Почему она необычайно популярна?» Действительно, интерес к пионерской идее Глинера не угасает уже четыре десятка лет. Она привлекает к себе все новые поколения теоретиков разных стран. Научные группы и целые научные школы, изучающие инфляционную космологию, множатся в университетах по всему миру. На эту тему ежегодно печатаются сотни статей, выходят десятки книг, проводятся многочисленные семинары и конференции, защищаются диссертации, присуждаются международные премии и т.д.

Главная причина этой поистине удивительной популярности состоит, как кажется, в том, что идея первичного вакуума открывает невероятно широкие, практически неограниченные возможности для теоретического поиска в той загадочной и многообещающей области фундаментальной науки, где сходятся космология и физика элементарных частиц. Именно здесь (где же еще?) таится ответ на вопрос, волнующий астрономов и физиков почти сто лет: почему расширяется Вселенная? Самым значительным достижением теории на этом пути была и остается идея Глинера о первичном вакууме. Не известно ни одной другой идеи, которая могла бы сейчас составить ей сколько-нибудь серьезную конкуренцию в этой области.



Э.Б. и автор, 1994 г., дом Глинеров, снимок Галины Ивановны

А как же резкие возражения Зельдовича? В их научном споре победил Глинер, хотя и не сразу. В начале 1980-х гг. на семинаре в Физтехе в переполненном зале, как это всегда бывало на его выступлениях, Яков Борисович с энтузиазмом рассказывал о новостях космологии. Упомянув о работе Гута по инфляции, Зельдович заметил: «В свое время я недооценил работы ленинградцев».

В 2003 г. Э.Б. приезжал в Россию впервые после отъезда из СССР. Его тепло принимали в Физтехе, он выступил на многолюдном юбилейном семинаре в его честь. Были также доклады теоретиков Физтеха, других институтов Петербурга и Москвы. Э.Б. выступал потом в Москве в Институте космических исследований РАН с докладом «То, что мы зовем вакуумом».

В США Э.Б. наградили медалью «Ветеран Второй мировой войны». С медалью дается еще талон, помещаемый на ветровое стекло автомобиля; это разрешение ветерану парковаться «everywhere», что особенно понравилось Эрасту Борисовичу. У него небольшой дом с садом в тихом районе Сан-Франциско, хорошо знакомый многим питерцам и москвичам, побывавшим в гостях у Э.Б. Незабываема обстановка приветливой доброжелательности, покоя и уюта, многие годы заботливо создававшаяся там стараниями Галины Ивановны, замечательного человека, жены Э.Б. Всюду в доме видимо-невидимо книг на обоих языках...



У Тихого, или Великого...

В год его большого юбилея друзья и коллеги шлют Эрасту Борисовичу горячие пожелания доброго здоровья, благополучия, новых радостей научного творчества.

**А.Д. Чернин,**

**ГАИШ МГУ**

PS: Автор глубоко благодарен Белле Глинер (дочери Э.Б., Калифорния), А.С. Зильберглейту (Стэнфорд, Калифорния) и Д.Г. Яковлеву (Физтех, Петербург) за исключительно ценные сведения и строгую критику первоначального варианта текста, а также О.С. Бартунову (ГАИШ) за помощь в оформлении статьи.