

Островская Галина Всеволодовна, д-р физ.-мат. наук, профессор, ведущий научный сотрудник Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, г. Санкт-Петербург
E-mail: galya_ostr@mail.ru
Область научных интересов: оптические методы диагностики плазмы, голография, история науки.

УДК 550.3(09)

МАГНИТНЫЕ ДОРОГИ ПРОФЕССОРА ВЕЙНБЕРГА (К 100-ЛЕТИЮ ЛЕКЦИИ «ДВИЖЕНИЕ БЕЗ ТРЕНИЯ»)

Г.В. Островская

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН
E-mail: galya_ostr@mail.ru

31 марта (13 апреля по новому стилю) 1914 года в Санкт-Петербурге состоялась публичная лекция «Движение без трения», прочитанная приехавшим из Томска профессором Борисом Петровичем Вейнбергом. В лекции был представлен проект скоростной дороги, в которой капсулы с пассажирами перемещались в вакууме по трубе, разгонялись до скорости 800 км/час и удерживались от соприкосновения со стенками трубы силами магнитного поля. Этот проект, названный в то время «Сибирским чудом», почти на столетие опередил технические возможности своего века.

Ключевые слова:

Магнитные дороги, движение без трения.

Физические основы проекта

Интерес к электромагнитным явлениям Борис Петрович проявлял с самого начала своей научной деятельности. Об этом свидетельствует опубликованный им в 1902–1903 гг. монументальный труд (общим объемом в 1400 страниц) по нахождению вероятнейшего значения скорости распространения возмущений в эфире на основе всех имевшихся к тому времени результатов астрономических и лабораторных измерений [1], а также тема его магистерской диссертации «Влияние среды на электрически-магнитные взаимодействия» [2]. В период работы в Томском политехническом институте (1909–1924) Б.П. Вейнберг приступил к масштабному исследованию геомагнитных явлений, о чем будет рассказано ниже. Так что проект магнитной дороги возник не на пустом месте.

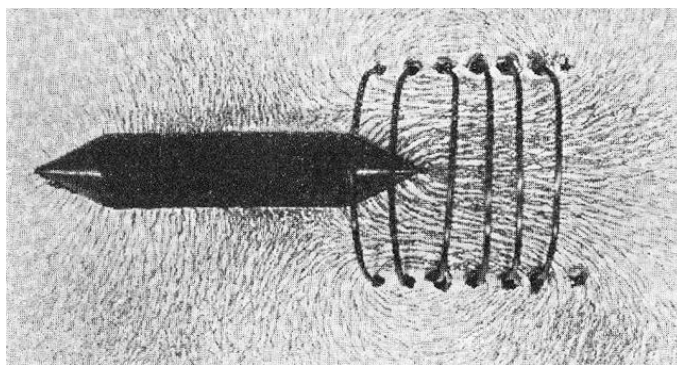


Рис. 1. Магнитные линии сил, втягивающих железное тело внутрь соленоида [3]

Сама же идея возможности использования магнитных сил для движения транспорта пришла в голову Борису Петровичу на лекции при демонстрации им процесса втягивания железного сердечника магнитным полем соленоида (рис. 1).

Текст лекции, прочитанной Б.П. Вейнбергом 31 марта 1914 года, был полностью опубликован в том же году в виде брошюры [3] (рис. 2, а). Несколько позже (в 1917 г.) в США была опубликована статья [4] по материалам доклада, сделанного Вейнбергом на заседании Инже-

нерной секции Американской ассоциации по научному прогрессу (рис. 2, б). В этих публикациях изложены физические основы проекта магнитной дороги, а также некоторые технические детали его возможной реализации.

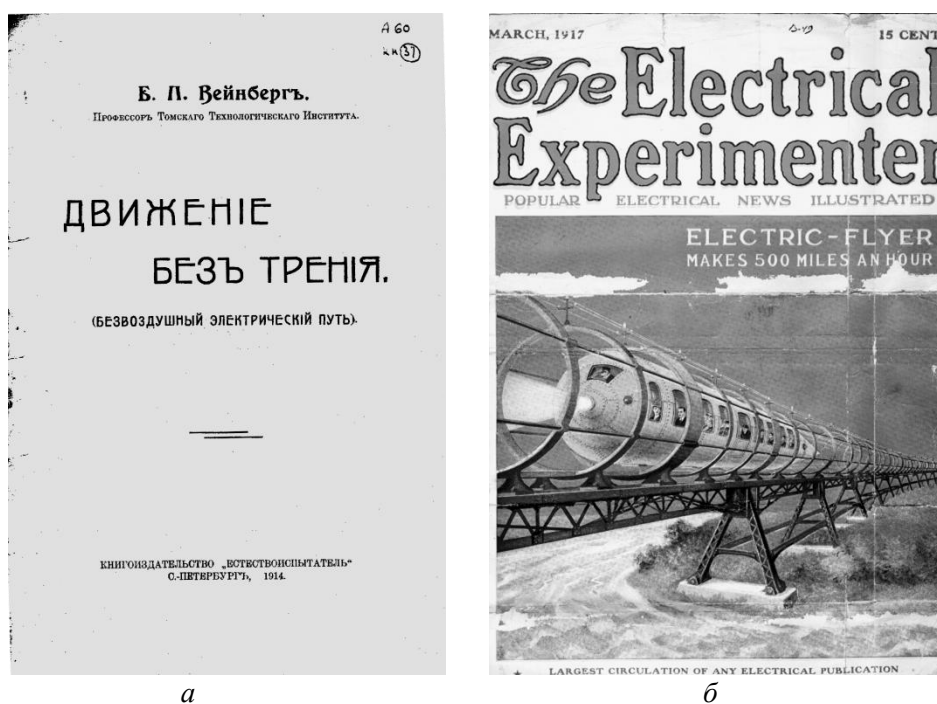


Рис. 2. Титульный лист брошюры [3] и обложка американского журнала [4]

При объяснении своей идеи «движения без трения» Борис Петрович исходит из основного закона физики – 1-го закона Ньютона. Согласно этому закону *«тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока какая-нибудь приложенная к нему сила не выведет его из этого состояния»*. Основными силами, которые в реальных условиях приводят к замедлению движения тела и искривлению его траектории, являются трение и гравитация. Трение проявляется как при движении тела по твердой поверхности, так и в виде сопротивления атмосферного воздуха или воды при движении в газообразной или жидкой среде. Чтобы избежать трения о воздух, Борис Петрович предлагает поместить тело (вагон) в трубу, из которой откачен воздух, а чтобы избежать трения о стенки камеры – удерживать движущееся тело с помощью магнитных полей. При этом вагон, разогнанный до определенной скорости, будет двигаться в заданном направлении по инерции, не нуждаясь в дополнительных затратах энергии на поддержание скорости его движения.

Борис Петрович разработал схематический проект конструкции транспортного средства, действующего по этому принципу (рис. 3). Вагон 1 представляет собой железную капсулу, внутри которой пассажир располагается в лежачем положении. Вагон движется внутри трубы 2, в которой создается вакуум. Электромагниты 3, компенсирующие гравитацию, располагаются на некотором расстоянии друг от друга и последовательно включаются при приближении к ним вагона, а выключаются при прохождении вагоном середины магнита. В промежутке между магнитами вагон несколько опускается под действием гравитации. При таком расположении соленоидов траектория 4 движения вагона будет близка к синусоиде малой амплитуды.

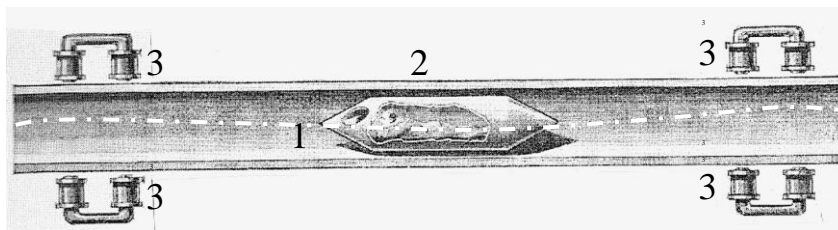


Рис. 3. Схема прямолинейного участка магнитной дороги

В работах [3, 4] представлены также схемы расположения магнитов при поворотах, спусках и подъемах трассы, а также схемы станции отправления (рис.4), а также станции назначения и промежуточных станций.

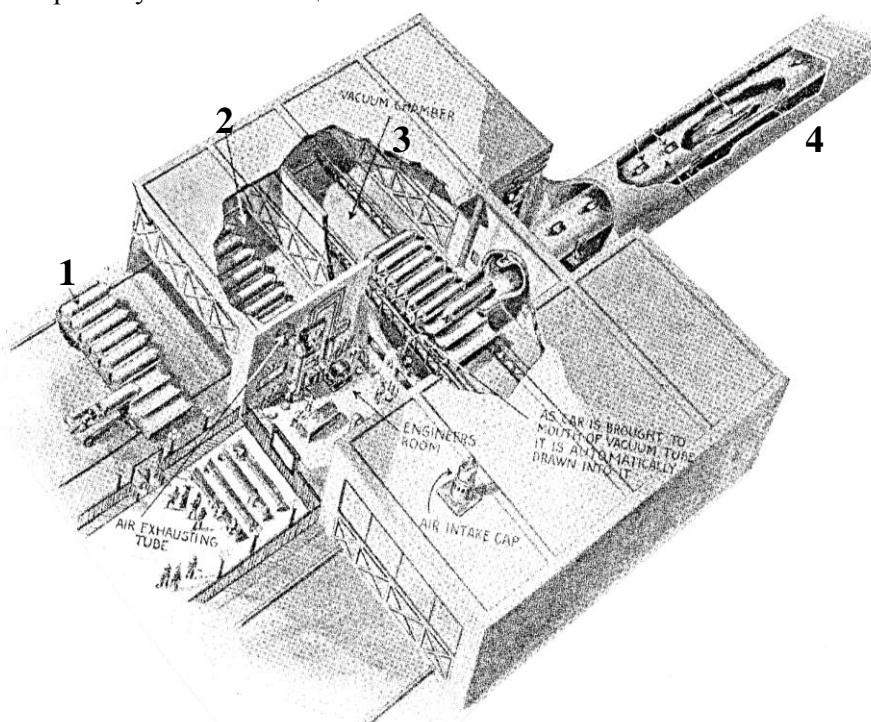


Рис. 4. Схематическое изображение станции отправления [4]: 1 – посадочная платформа; 2 – промежуточная камера; 3 – вакуумная камера, соединяющаяся с вакуумной трубой 4

На платформе 1 пассажиры размещаются внутри вагонов, после чего входное отверстие вагона герметически закрывается. Затем платформа с восемью вагонами перемещается в промежуточную, воздухонепроницаемую камеру 2, из которой откачивается воздух, после чего створки ворот между камерами 2 и 3 открываются, и платформа с вагонами перемещается перпендикулярно оси трубы. В момент совпадения оси вагона с осью трубы автоматически включается ток в соленоиде, и вагоны один за другим втягиваются в жерло трубы.

Максимальная скорость, которую можно достичь в такой системе, определяется силой притяжения магнита, необходимой для компенсации центробежной силы, возникающей на поворотах трассы: чем круче поворот, тем большей должна быть сила магнита. Предположив, что магниты имеют разумные размеры, а сила тока – разумную величину, Борис Петрович рассчитал, что при радиусе кривизны пути 750 м можно достичь скорости 800 км/ч. При такой скорости расстояние от Москвы до Владивостока можно преодолеть за 11 часов.

Лекция Бориса Петровича была встречена с большим интересом и имела значительный резонанс в прессе. В архиве Б.П. Вейнберга имеются десятки, если не сотни вырезок из газет и журналов того времени. Здесь я ограничусь цитатой из статьи Перельмана [5]: *«Не могу забыть впечатления, которое произвел на холодную петербургскую публику этот смелый и*

оригинальный проект, когда в конце марта текущего года изобретатель в блестящей лекции нарисовал перед слушателями картину будущей борьбы с пространством. Поезда, несущиеся в пустоте, без рельсов, без трения, без локомотивов, свободно и быстро, как планеты в мировом пространстве... Проект реален при всей своей фантастичности. Он технически неуязвим, разработан до мелочей...».

Попытки реализации проекта

В работах [3,4] содержатся сведения о лабораторных опытах, проведенных Б.П. Вейнбергом в физической лаборатории Томского технологического института (ТТИ) в 1911–1913 гг. для проверки его идеи.

Вот как описывает Борис Петрович этот эксперимент [3]: *«Опыты показали полную возможность разогнать при помощи соленоидов со сравнительно небольшим числом витков и со сравнительно слабыми токами вагон (около 10 кг весом) внутри медной трубы диаметром 25 см, подхватить его с полу электромагнитами во время движения и заставить его двигаться далее, не касаясь стенок, а также сворачивать его с пути. Правда, опыты эти пока, из-за недостаточности средств, производились в воздухе, но при тех сравнительно небольших скоростях – порядка нескольких метров в секунду, – какие можно осуществить при небольшом пространстве для разгона (около 1 м), сопротивление воздуха значения не имеет».*

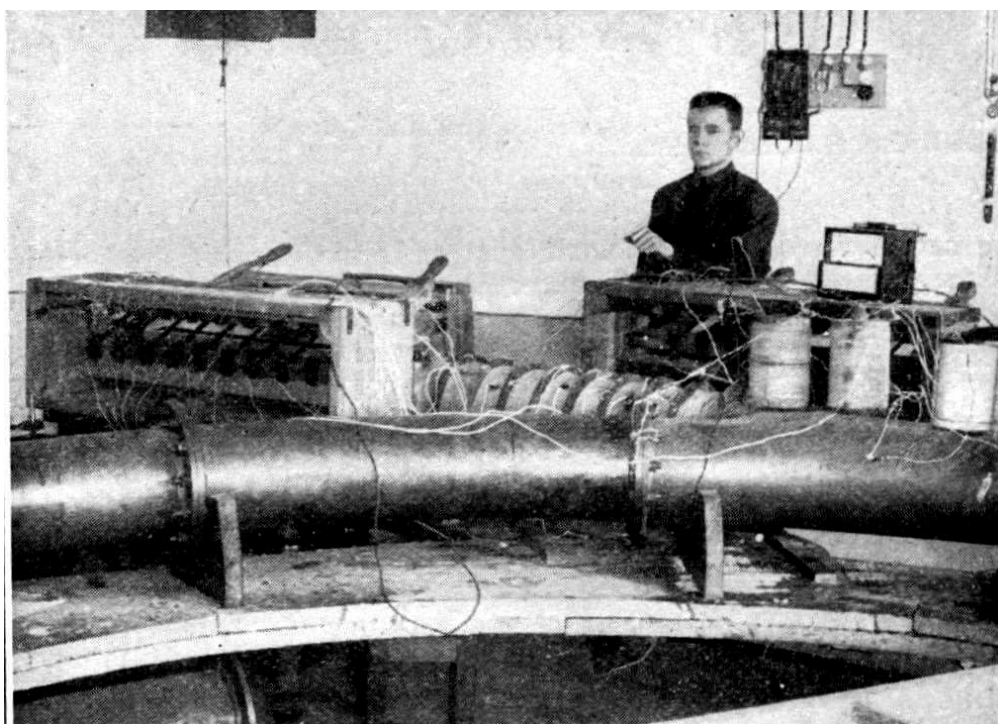


Рис. 5. Действующий макет магнитной дороги Б.П. Вейнберга в физической лаборатории ТТИ. На фотографии – ученик Бориса Петровича, студент А.Н. Добровидов, в будущем – профессор ТТИ

Уже на стадии запуска лабораторного макета (рис. 5) Борис Петрович столкнулся с серьезными трудностями, о возможных путях преодоления которых он пишет в [3, 4], а также [6]. Главными из них являются необходимость синхронизации последовательного включения магнитов и предотвращение соприкосновения «вагона» со стенками трубы. В [3, 4] описаны принципиальные схемы обеспечения безопасности движения, включающие датчики отклонения вагона от заданной траектории и систему магнитов, корректирующих эти отклонения. Однако реализовать эти схемы автоматизации и контроля на практике даже при сравнительно низких (порядка 10–20 км/ч) скоростях движения вагона, достигнутых в лабораторных экспериментах, было невозможно из-за отсутствия нужного оборудования и

нехватки средств. Трудно даже представить, как должны вырасти все эти трудности при полномасштабной реализации проекта и при движении вагона со скоростью в 8000 км/ч.

Оценивая эти обстоятельства, Б.П. Вейнберг приходит к выводу, что для начала следует построить «облегченный» электромагнитный путь [3]. В этом варианте вагон катился бы по ровному полотну, но давил на него лишь малой долей своего веса, большая часть которого компенсировалась бы притяжением магнитов, расположенных над вагоном. Еще более доступным, по мнению Бориса Петровича, мог бы быть «подвесной электромагнитный путь», в котором вагон катился бы по потолку прижимаемый к нему магнитами и электромагнитами с силой, слегка превышающей его вес. Более того, по экономическим соображениям, а также в целях безопасности Борис Петрович предлагает на первом этапе отказаться и от вакуумной трубы. Потеря же скорости из-за трения и сопротивления воздуха, неизбежная при реализации этих «облегченных» вариантов магнитной дороги, могла бы быть скомпенсирована при периодическом включении втягивающих соленоидов. По-видимому, именно такой облегченный вариант магнитной дороги изображен на обложке американского журнала (рис. 2, б).

После успешного запуска макета магнитной дороги в 1913 г. в Томск приезжали делегации зарубежных ученых, американскими кинооператорами в лаборатории ТТИ был снят научно-документальный кинофильм о профессоре Вейнберге и его изобретении, который с успехом демонстрировался в США под названием «Сибирское чудо» [6].

Следует отметить, что буквально через два месяца после лекции Бориса Петровича, в мае 1914 г., на выставке в Лондоне французским инженером Эмилем Башле был продемонстрирован действующий макет магнитной дороги, основанной на близких принципах и предназначенной для транспортировки почты, что в еще большей степени привлекло внимание предпринимателей к обоим проектам.

Проект безрельсовой магнитной дороги рассматривался в Управлении Сибирской железной дороги, расположенном в Томске [6]. Интерес к данному проекту проявлял и ряд иностранных компаний. Однако проектировщиков отпугивала высокая стоимость реализации проекта, которая даже в облегченном варианте, по сугубо предварительным оценкам Б.П. Вейнберга, составляла около 200 тыс. руб. за 1 км пути. Деньги немалые, учитывая, что один царский рубль того времени соответствует примерно 1300 современным рублям.

Разразившаяся летом 1914 г. Первая мировая война спутала планы проектировщиков. Ни одна из стран, участвующих в военных действиях, не могла позволить себе реализацию столь затратных проектов в военное время. В то же время война дала мощный импульс развитию военной авиации, что в дальнейшем, уже по окончании войны, привело к созданию гражданской авиации и решило проблему скоростных перевозок пассажиров на большие расстояния. В результате интерес к проектам магнитных дорог надолго угас.

Геомагнитные исследования Б.П. Вейнберга

В заголовке моей статьи слова «**магнитные дороги**» не случайно употреблены во множественном числе. При этом я не имела в виду различные варианты скоростных дорог, предложенных Б.П. Вейнбергом и Э. Башле. Воспользовавшись как предлогом для написания этой статьи столетием лекции «Движение без трения», я хочу напомнить о совсем других «магнитных» дорогах Бориса Петровича. А именно о дорогах, пройденных им во время экспедиций, в ходе которых он занимался измерением магнитного поля Земли.

К планомерным исследованиям земного магнетизма Борис Петрович приступил в Томске в 1910 г. Эти исследования проводились под эгидой Международной магнитной комиссии Института Карнеги (Вашингтон) и комиссии при Российской академии наук, координирующих исследования магнитологов, соответственно, в мировом масштабе и на территории России. Конечной целью этих исследований было получение общей картины распределения магнитного поля Земли на всей поверхности земного шара (на суше и на воде). Борис Петрович был назначен членом Российской магнитной комиссии.

В то время для многих районов Сибири данные о магнитных измерениях, сделанных в предшествующие годы, полностью отсутствовали. Так что Борису Петровичу предстояло сыграть роль первопроходца в деле геомагнитной съемки Сибири, и особенно ее северных районов.

План геомагнитной съемки был рассчитан на 10 лет, но события исторического масштаба (Первая мировая война, революция и гражданская война) существенно затруднили его реализацию. Тем не менее благодаря кипучей энергии Бориса Петровича в исследовании земного магнитного на территории Сибири был сделан существенный шаг вперед.

За время пребывания в Томске Б.П. Вейнберг организовал 23 экспедиции с целью проведения геомагнитных измерений. Маршруты этих экспедиций пролегли: по Горному Алтаю (1910); вдоль реки Енисей от Красноярска до Дудинки (1912); по территории Монголии (1913); по пути из Верхнеудинска до Чуйского тракта (1913); по западной части Сибири (1914); по маршруту Томск – Кузнецк – Красноярск (1915); по Оби и Обско-Тазовской губе (1920) и т. д.

Количество сделанных Б.П. Вейнбергом магнитных определений на территории Сибири огромно. В связи с публикацией каталога сухопутных магнитных измерений Института Карнеги в Вашингтоне Борис Петрович [8] сравнивает число магнитных определений, выполненных сотрудниками его группы ТТИ, с полным количеством магнитных определений отдела земного магнетизма Института Карнеги и приходит к выводу, что на ТТИ приходится примерно четвертая часть всех сухопутных определений. С горечью Борис Петрович отмечает, что из-за недостатка хороших магнитометров около половины определений были неполными: самодельный, упрощенный магнитометр, изготовленный в физической лаборатории ТТИ, позволял определять только две компоненты вектора магнитного поля.

Для получения пространственных распределений магнетизма в Сибири Борис Петрович использует все доступные ему данные о магнитных измерениях: материалы своих экспедиций, опубликованные данные других магнитологов, а также все материалы по измерению склонения, которые удалось извлечь из архивов разных ведомств. Для получения пространственного распределения магнетизма на данной территории нужно как минимум привести все полученные данные к одному времени путем введения временных поправок и обобщить данные всех магнитных измерений, сделанных исследователями на данной территории в разное время. Из сказанного следует, что исходные данные магнитных наблюдений подвергаются в дальнейшем сложной и кропотливой обработке. Не вдаваясь в детали такой обработки, отмечу существенный вклад Бориса Петровича в разработку методики обработки наблюдений применительно как к проблемам земного магнетизма, так и для широкого круга других естественных наук.

Начав с составления магнитных карт Сибири, Борис Петрович затем собирает, обрабатывает и обобщает все доступные ему данные магнитных определений на территории СССР и публикует магнитные карты Поволжья, Приуралья и Дальнего Востока.

Начатые в Томске исследования земного магнетизма Борис Петрович продолжает в Ленинграде, сначала в Главной геофизической обсерватории, а затем в Институте земного магнетизма (ВНИИЗМ).

В 1929–1933 гг. под его редакцией выходит трехтомный «Каталог магнитных измерений в СССР» [9]. И, конечно, Бориса Петровича беспокоит наличие на магнитных картах не просто белых пятен, а огромных белых территорий в полярных областях.

Работы по составлению магнитных карт и каталогов для полярных областей были особенно актуальны в связи с началом освоения Северного морского пути и масштабного исследования Арктики. В тесном контакте с Борисом Петровичем магнитные определения в Арктике проводил его ученик Е.К. Федоров, сначала во время зимовок на Земле Франца Иосифа, а затем во время плавания на льдине в составе экспедиции Папанина. В заметке [10] Борис Петрович пишет: *«Всякое свидание с Е.К. Федоровым доставляет мне большое удовольствие, тем более что он приходит ко мне не с пустыми руками, принося каждый раз «с пыла горячие» результаты обработки своих определений в полярных областях, существенно пополняющие составленный мною каталог магнитных определений»*. Другой его ученик, В.Х. Буйницкий, проводил магнитные измерения по программе Б.П. Вейнберга во время дрейфа на затертом льдами ледоходе «Седов».

Борис Петрович собирает и обобщает информацию о магнитных определениях в этих областях, добытую героическими усилиями исследователей-полярников. В результате обработки этих данных им построены магнитные карты Арктики [11] и изогон (линий равного склонения), приведенные на рис. 6.

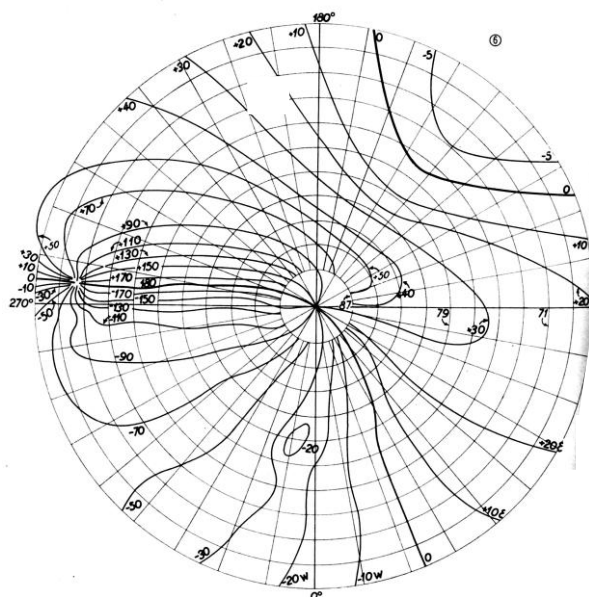


Рис. 6. Карта изогон (линий равного склонения) Арктической области на 1930 г.

В общей сложности около 100 работ Бориса Петровича посвящено исследованиям магнитного поля Земли. Библиография и обзор работ Б.П. Вейнберга по магнитной тематике приведены в книге [12]. Именно это направление научной деятельности можно назвать его **главной магнитной дорогой**.

Что касается его проекта, 100-летию которого посвящена настоящая статья, то, по воспоминаниям моего отца, Всеволода Борисовича Вейнберга, этот проект по инициативе Бориса Петровича в 30-х годах был в миниатюре воплощен на Ленинградском почтамте, где в течение какого-то времени использовался для транспортировки почтовых отправок.

До последних дней своей жизни Б.П. Вейнберг оставался начальником теоретической группы НИИЗМа. В течение зимы 1941–1942 гг, в тяжелейших условиях блокадного Ленинграда Борис Петрович по 12–13 часов в день работал над составлением Мирового магнитного каталога. К сожалению, завершить этот последний труд своей жизни он не успел. Б.П. Вейнберг умер от истощения 18 апреля 1942 года. Из его научной группы не выжил никто: одни погибли на фронте, другие умерли от голода. В сентябре 1941 г. в боях под Ленинградом погиб его средний сын – Кирилл Борисович Вейнберг, которого Борис Петрович считал своим преемником в области земного магнетизма. Так что после окончания войны некому было завершить и опубликовать его незавершенные геомагнитные труды.

Чтобы не заканчивать статью на столь грустной ноте, я хочу вернуться к проекту магнитной дороги и к лекции Б.П.Вейнберга «Движение без трения».

Все новое – это хорошо забытое старое

О проектах магнитных дорог Б.П. Вейнберга не вспоминали до конца 20-го столетия, когда сначала в Японии, а затем в США, Франции и Китае начали появляться монорельсовые поезда на «магнитной подушке» (рис. 7, а). Другое название таких поездов – маглев, что расшифровывается как «магнитная левитация». Разгоняется этот поезд как обычный, на колесах, затем колеса постепенно втягиваются, как шасси у самолетов, и поезд движется над рельсом, поддерживаемый мощными магнитами, расположенными вдоль рельса. На аналогию таких поездов с изобретением Б.П. Вейнберга первым указал Геннадий Черненко [13–15]. Поезд, курсирующий между Шанхаем и аэропортом, достигает скорости 430 км/ч и преодолевает расстояние 30 километров за 8 минут (с учетом разгона и торможения). Недавно рекорд скорости в 581 км/ч поставил японский маглев (581 км/ч). Поскольку такие поезда движутся в воздухе, а не в вакууме, их прототипом, с некоторыми оговорками, можно считать «облегченный» вариант

магнитной дороги Вейнберга [3]. Главным недостатком поездов на магнитной подушке являются большие затраты на строительство подобных дорог, что ограничивает возможность увеличения дальности перевозок.



Рис. 7. Монорельсовый поезд на магнитной подушке маглев

Совсем недавно (13 августа 2013 г.) как подарок к 100-летию идеи «Движения без трения» по российскому телевидению была показана презентация проекта сверхскоростного поезда «Hyperloop», разработанного американским инженером Элоном Маском (рис. 8). Согласно этому проекту, движение герметичных вагонов с пассажирами будет происходить внутри трубы, из которой воздух откачен до форвакуума (10^{-3} от атмосферного давления), а разгон и торможение осуществляться с помощью мощных электромагнитов. Это роднит данный проект с проектом Б.П. Вейнберга, что и было отмечено в той же телевизионной программе, а затем и в статье [16], опубликованной в одной из петербургских газет. Однако имеется и принципиальное различие между этими проектами: для предотвращения соприкосновения вагона с дном трубы в проекте Элона Маска предполагается использовать не магнитную, а воздушную подушку, создаваемую с помощью мощной турбины. По расчетам автора проекта, такая система позволит разогнать вагон до скорости в 1200 км/ч. К тому же автор обещает 10-кратное уменьшение стоимости строительства данной дороги по сравнению с другими подобными проектами. Предполагается, что «Hyperloop» будет курсировать между Лос-Анджелесом и Сан-Франциско, преодолевая расстояние в 600 км между ними за 30 минут.



Рис. 8. Проект дороги «Hyperloop» Элона Маска

Особенно мне понравилось в проекте Элона Маска то, что всю энергию, необходимую для функционирования этой системы, должны обеспечить **солнечные батареи**, расположенные

на внешней поверхности транспортных труб. Если этот проект будет реализован, сбудется еще одна мечта профессора Вейнберга: еще в 1911 г. в одной из своих публичных лекций, прочитанных в ряде городов Сибири, он рассматривал *«непосредственную переработку солнечной энергии в механическую как идеал техники будущего»*. В дальнейшем гелиотехника стала одним из важнейших направлений его научной и практической деятельности, и он по праву считается **основоположником отечественной гелиотехники**. Однако это направление деятельности Бориса Петровича Вейнберга выходит далеко за рамки настоящей статьи, и к нему можно будет вернуться в будущем, по поводу какого-нибудь очередного юбилея.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вейнберг Б.П. Вероятнейшее значение скорости распространения возмущений в эфире на основании исследований, сделанных до настоящего времени: в 2 ч. Ч. 1. Определение наиболее вероятнейшего значения скорости света из астрономических наблюдений. – Одесса: Экономическая типография, 1903. – 716 с.
2. Вейнберг Б.П. Вероятнейшее значение скорости распространения возмущений в эфире на основании исследований, сделанных до настоящего времени: в 2 ч. Ч. 2. Определения наиболее вероятнейшего значения скорости распространения возмущений в эфире на основании земных опытов. – Одесса: Экономическая типография, 1903. – 640 с.
3. Вейнберг Б.П. Влияние среды на электрически-магнитные взаимодействия. – Одесса, 1904. – 173 с.
4. Вейнберг Б.П. Движение без трения. – СПб.: Естествоиспытатель, 1914.
5. Weinberg V.P. Five Hundred Miles an Hour // The Electrical Experimenter. – 1917. – March. – P. 705–708.
6. Перельман Я. В борьбе с пространством // Современное слово. – Вып. от 03.05.1914.
7. Кузнецова С.И. Трудная судьба профессора Вейнберга // Известия ТПУ. – 2009. – Т. 315, № 2. – С. 198–202.
8. Легенды о «Сибирском чуде» и профессоре Вейнберге // Легенды и мифы старого Томска. К 400-летию основания города. – Томск, 2006. – Кн. 2. – С. 186–193.
9. Вейнберг Б.П. Сухопутные магнитные наблюдения Института Карнеги в Вашингтоне и выводы из них по отношению к земному магнетизму Сибири // Сиб. Природа. – 1922. – № 3. – С. 52–57.
10. Вейнберг Б.П. Каталог магнитных определений в СССР и сопредельных странах с 1556 по 1926 годы. – Л.: Изд-во ГГО. – Ч. 1. – 1929. – 216 с.; Ч. 2. – 1932. – С. 217–297; Ч. 3. – 1933. – С. 297–391.
11. Вейнберг Б.П. Евгений Федоров (Отважные завоеватели полюса) // Смена. – 1937. – № 122.
12. Weinberg V.P. Preliminary Summary of Data on the Present Distribution of Magnetic Declination within the Arctic Zone // Terr. Magn. – 1931. – Vol. 36. – P. 273–276.
13. Черненко Г. Из Петербурга во Владивосток за 11 часов // Гудок. – Вып. от 01.06.1996.
14. Черненко Г. Магнитолет профессора Вейнберга // НЛЮ. – 1997. – № 13.
15. Черненко Г. Победить трение возможно! // Техника молодежи. – 2009. – № 900. – С. 37–39.
16. Соколов А. Очарованный скоростью // Петербургский дневник. – Вып. от 27.09.2013.

Поступила 01.04.2014 г.