



**Все ли ясно в мире электричества?**

**А. Рабинович**

Одно из наиболее ярких достижений физики XIX века — теория электромагнитного поля Майкла Фарадея и Джеймса Максвелла. Она — надежный теоретический фундамент многочисленных технических изобретений, которыми был так богат XX век: от создания радио в его начале до современной мобильной связи. Математически эта теория представлена уравнениями Максвелла, описывающими изменения в пространстве и времени векторов электрического и магнитного поля в зависимости от распределения электрических зарядов и токов. Уравнения эти поистине великие. Как писал о них знаменитый физик Людвиг Больцман, преклонявшийся перед гением Максвелла: «Не божество ли начертало эти законы?» Однако есть все же одно смущающее обстоятельство: уравнения электромагнитного поля Максвелла, в отличие от уравнений других полей, являются линейными при сколь угодно (!) больших зарядах и токах. Это означаем что при увеличении зарядов и токов в любое количество раз во столько же раз увеличатся и электрические и магнитные поля.



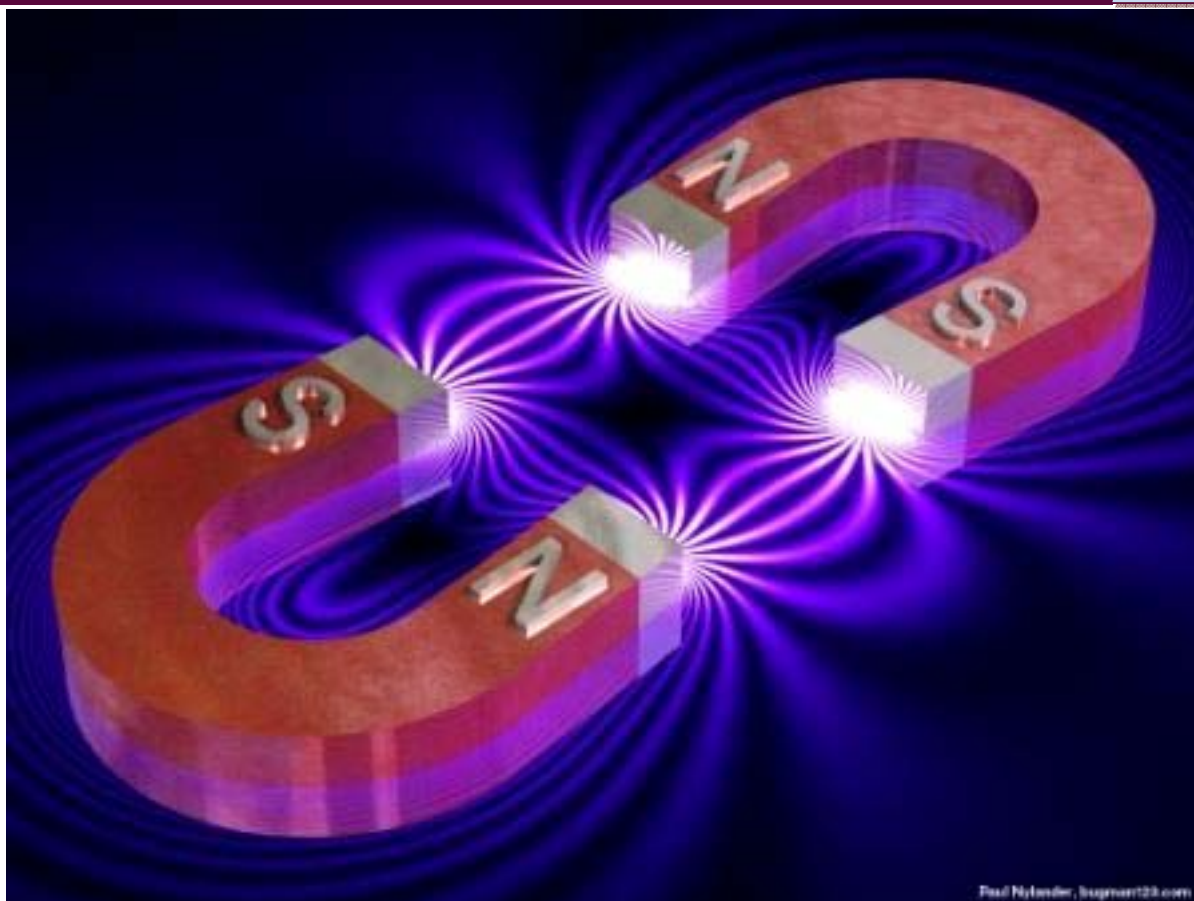
**Джеймс Клерк Максвелл**  
([nanometer.ru](http://nanometer.ru))

Что же касается таких полей, как ядерное и гравитационное, то они описываются линейными уравнениями только при не слишком большой интенсивности своих источников. Достаточно же мощные источники могут создавать сильно нелинейные поля.

А что если то же самое касается и электромагнитных полей? Они ведь тоже могут стать нелинейными при очень больших зарядах и токах? Причем таких, которые недостижимы в лабораторных условиях. Тогда эти нелинейные поля могут оказаться за гранью экспериментального обнаружения. I

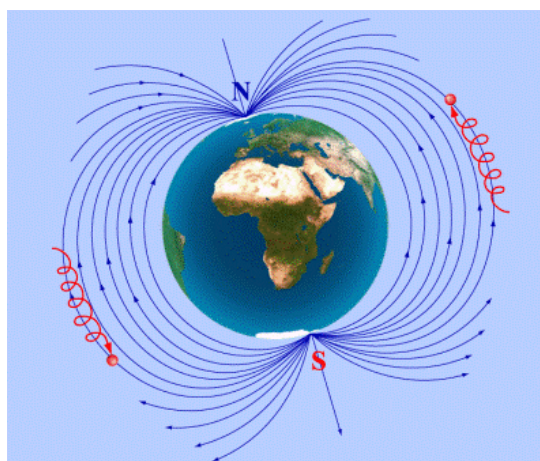
Другими словами, всегда ли верны уравнения Максвелла? Может, и их судьба сходна с судьбой законов ньютоновской механики, уступившей место эйнштейновской теории при скоростях, близких к световой, и квантовой механике на атомных масштабах?

Обратимся к опытным данным, неясным с позиций классической теории Максвелла. Здесь возникает целый ряд загадок.



nylander.wordpress.com

Поразительно, что до сих пор неизвестна природа земного магнетизма. Первая известная попытка его объяснения была предпринята выдающимся английским естествоиспытателем Уильямом Гильбертом в конце XVI века. Изготовив маленькую модель Земли из постоянного магнита, он убедился в схожести ее свойств с оригиналом и пришел к выводу, что Земля — огромный сферический магнит. Эта точка зрения доминировала в течение трехсот лет, пока не была опровергнута в конце XIX века Пьером Кюри. Он экспериментально доказал, что постоянные магниты (железо, никель) размагничиваются при достаточно высокой температуре — так называемой точке Кюри. Что же касается недр Земли, то в них температура значительно выше точек Кюри для железа и никеля и потому от идеи Гильберта пришлось отказаться.



markx.narod.ru

В дальнейшем был предпринят ряд иных попыток решения этого вопроса.



Наиболее популярной сейчас является теория динамо, в которой Земля рассматривается не как постоянный магнит, а как электромагнит. Но для его работы необходимо, как минимум, чтобы в Земле постоянно сохранялась электродвижущая сила, поддерживающая электрические токи и неизменное геомагнитное поле в течение геологически длительного времени. Однако совершенно неизвестно, каким образом это может осуществляться.

**Феномен шаровой молнии**



zeh.ru



Шаровая молния — это один из наиболее удивительных объектов. Появляющаяся иногда во время грозы, она представляет собой небольшой упругий шар с диаметром, обычно не большим 50 сантиметров и временем жизни от секунд до нескольких минут. Поражает ее способность сохранять свою форму. Ведь совершенно непонятно, какие силы сдерживают ее от быстрого распада. Если бы она вовсе не имела электрических зарядов, то таким силам просто неоткуда было бы взяться. Но классическая теория не помогает и в случае существования зарядов. Если бы шаровая молния имела заряды одного знака, то согласно составной части теории Максвелла — закону Кулона,





— она бы разлетелась. Ведь одноименные заряды отталкиваются. А если бы в ней чередовались заряженные слои разного знака, то, по тому же закону, она не сумела бы сохранить свою форму. Как известно, разноименные заряды притягиваются.

### **Проблемы атмосферного электричества**

Как показывают измерения, в ясную погоду электрическое поле у поверхности Земли составляет 100 В/м, а на высоте около 50 километров его почти нет. Для того чтобы объяснить это свойство поля, предполагалось, что существует некий сферический конденсатор, положительно заряженная обкладка которого находится на высоте около 50 километров, а отрицательно заряженной обкладкой является поверхность Земли. Но тогда положительные заряды должны притягиваться Землей и конденсатор бы разрядился. Сторонники этой гипотезы пытаются спасти ее предположением о компенсации потерь вследствие подзарядки конденсатора от гроз. Но это не подтверждается современными экспериментальными данными. Кроме того, как показали ракетные исследования атмосферы на высотах до 80 километров, там неоднократно наблюдалась смена знака электрического поля, что является крайне удивительным. Оставаясь в рамках классической физики, можно объяснить это только одним: чередованием отрицательно и положительно заряженных слоев атмосферы. Но тогда соседние слои будут притягиваться друг к другу. И такая структура неминуемо разрушится.

### **Загадки слоев атмосферы**

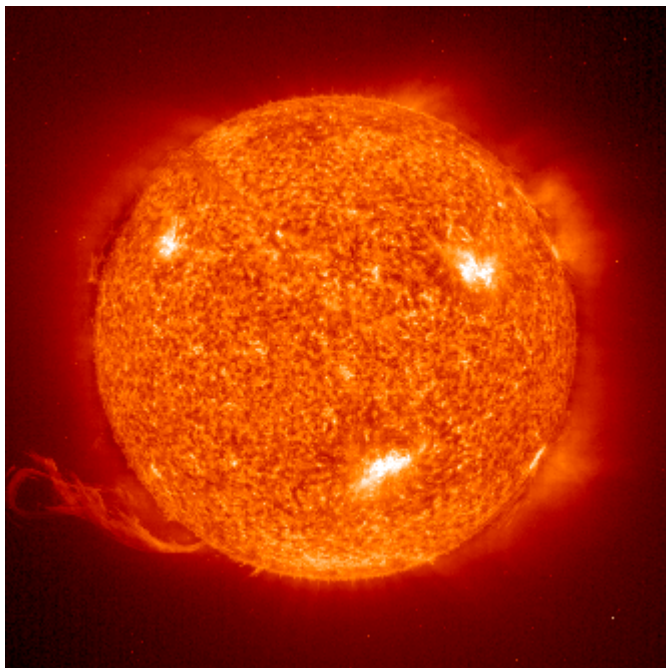
Атмосфера Земли состоит из ряда слоев. Это тропосфера, стратосфера, мезосфера, ионосфера, протоносфера и некоторые небольшие промежуточные слои. В самом верхнем слое — протоносфере достигаются весьма высокие температуры, порядка 1300° С. При таких температурах этот слой должен был бы очень быстро рассеяться, так как силы притяжения Земли недостаточно для удержания его частиц — протонов. Однако с ним ничего подобного не происходит.

Соседние слои — ионосфера и мезосфера — имеют резко контрастирующие температуры. Если в ионосфере температуры очень высокие, достигающие до 1100° С, то в мезосфере они очень низкие, достигающие -130° С. Удивительно, что не происходит никакого выравнивания температур. Природа этого явления неизвестна и необъяснима с позиций классической физики.



[zeh.ru](http://zeh.ru), [windsun.com](http://windsun.com), [oysteinwika.com](http://oysteinwika.com)





aerospaceguide.net

Существует немало и других загадок. Например, почему у Солнца в среднем каждые 11 лет северный и южный магнитные полюсы меняются местами, а у Земли, согласно палеомагнитным данным, подобная инверсия магнитного поля происходит всего несколько раз за миллион лет?

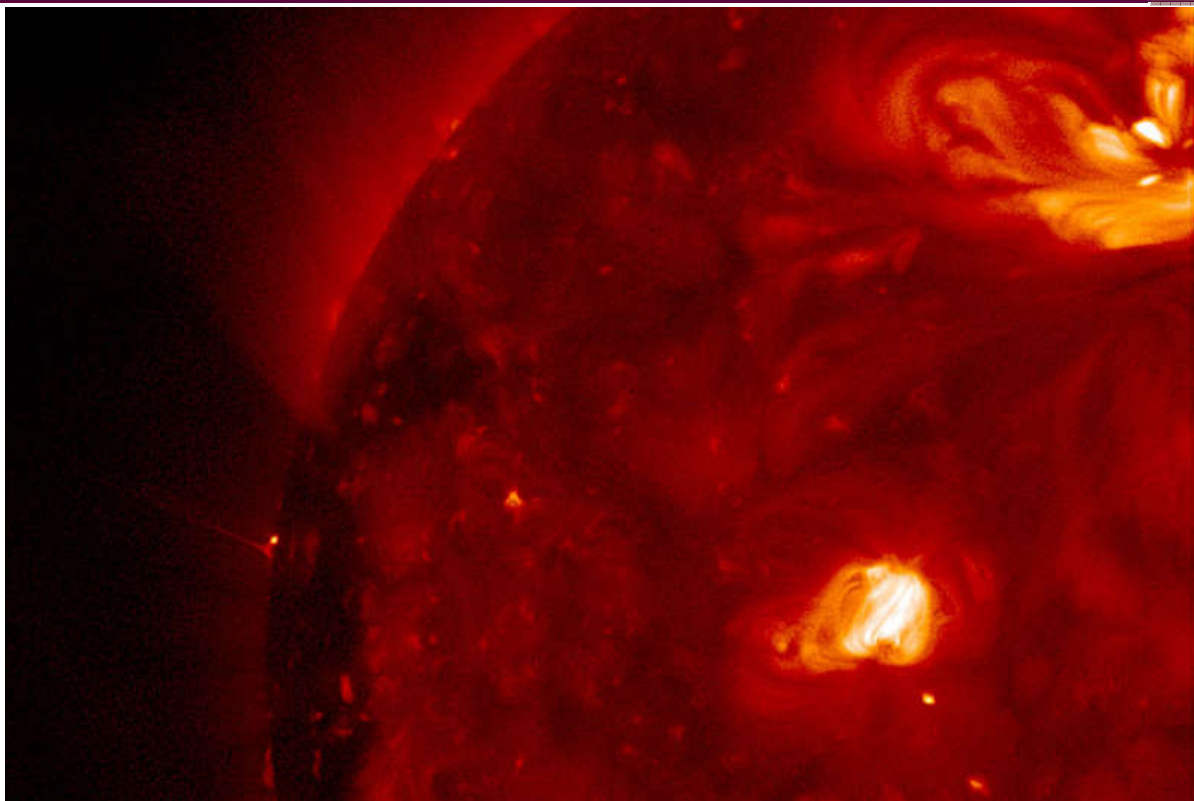
Все эти загадки подталкивают к поиску некоторого нелинейного обобщения классической теории электромагнетизма. Но как к нему прийти, на каком фундаменте можно было бы

осуществить его построение?

Оказывается, все не так уж безнадежно и такой фундамент есть. Возник он чуть более полувека назад. Это теория Ч. Янга (нобелевского лауреата по физике) и Р. Миллса, опубликованная в 1954 году. Предложенная ими система исключительно красивых уравнений имеет ряд общих черт с уравнениями Максвелла, но при этом уравнения Янга — Миллса являются нелинейными и обладают более богатой группой симметрии.

В течение ряда лет теория Янга — Миллса считалась бесперспективной, хотя и очень интересной, так как не было видно каких-либо ее физических приложений. Но затем идеи Янга — Миллса пережили второе рождение. Они удачно вписались в современные теории электрослабых и сильных взаимодействий. А через 20 лет после их создания, в 1974 году произошло знаменательное событие. На основе уравнений Янга-Миллса была предсказана особая микрочастица — монополю Хофта — Полякова. Как известно, любой магнит имеет два полюса — северный и южный, а найденное решение — монополю, — вопреки этому, имело только один полюс. Были предприняты значительные усилия экспериментаторов для обнаружения этих экзотических микрочастиц. Пока они не принесли удачи, но поиски продолжаются.

Если в микромире существование монополей вопрос открытый, то в макромире они все-таки найдены. Ими, судя по всему, становятся на некоторое время многие



astronet.ru

звезды. Во всяком случае, наше Солнце является ярким тому примером. Как уже говорилось, примерно каждые 11 лет северный и южный магнитные полюса Солнца меняются местами. Но происходит это довольно своеобразно. В периоды переполюсовки магнитное поле в северном и южном полушариях Солнца меняет знак не одновременно. На несколько месяцев, а иногда и год, Солнце превращается в магнитный монополь.

Но вернемся к уравнениям Янга-Миллса. Их очень активно изучают во всех ведущих физических центрах мира. Однако область их применения до сих пор ограничивалась исключительно объектами микромира, так как считалось, что единственно возможным инструментом описания электромагнитных явлений в макромире являются именно уравнения Максвелла. Но верно ли это? И не сможет ли теория Янга — Миллса послужить ключом к разгадке проблем макромира, нерешенных максвелловской теорией?

Попробуем в этом разобраться.

Нелинейные уравнения, предложенные Янгом и Миллсом, описывают три физических поля, характеризуемых четырьмя потенциалами, тогда как в теории Максвелла такое поле только одно. При этом выражения для энергии и импульса



374.ru

полей Янга — Миллса имеют большую степень сходства с аналогичными выражениями для поля Максвелла. Кроме того, если в теории Янга — Миллса второе и третье поле отсутствуют, то первое поле будет описываться линейными уравнениями Максвелла, Поэтому нелинейная теория Янга — Миллса выглядит вполне естественным обобщением теории Максвелла.

Высказанные соображения привели к идее использовать уравнения Янга — Миллса вместо классических уравнений Максвелла для описания нелинейных электромагнитных полей. Такие поля могли бы создаваться достаточно большими зарядами и токами. И как оказалось, эта гипотеза проливает свет на загадочные явления природы, о которых говорилось выше.

В недавно опубликованной автором статье<sup>1\*</sup> была предложена система уравнений нелинейной теории электромагнетизма, в основе которой лежат уравнения Янга — Миллса. Для этой системы уравнений было найдено простое точное решение, описывающее электрическое поле заряженного сферического тела и являющееся обобщением закона Кулона.

<sup>1</sup> Rabinowitch A. S. Yang — Mills Equations and Nonlinear Electrodynamics // Russian Journal of Mathematical Physics, Vol. 12, No. 3, 2005, pp. 379-385.





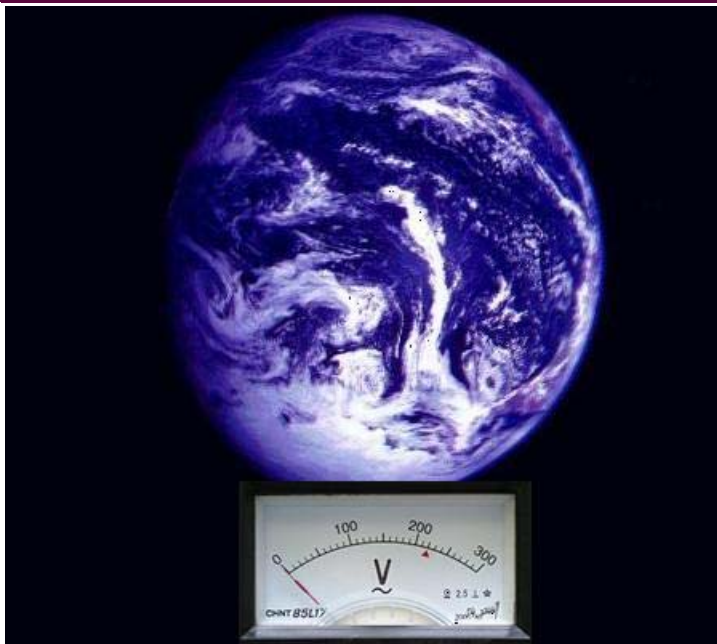
374.ru

В нем так же, как и в законе Кулона, внешнее электрическое поле заряженного сферического тела обратно пропорционально квадрату расстояния от его центра. Обобщение же состоит в том, что внешнее поле пропорционально не истинному заряду тела, как в законе Кулона, а некоторому другому заряду, который назовем эффективным.

Пока истинный заряд тела не превосходит сотни тысяч кулон, этот эффективный заряд практически неотличим от него и классический закон Кулона выполняется с высокой точностью. Но если истинный заряд тела доходит до миллиона кулон, его эффективный заряд резко отличается от истинного. И тогда проявляются совершенно новые, неклассические эффекты.

Интересной особенностью эффективного заряда является его синусоидальная зависимость от истинного заряда, повторяющаяся через периоды величиной несколько миллионов кулон. При этом, когда истинный заряд тела, монотонно увеличиваясь, достигает половины данного периода, внешнее электрическое поле тела переходит через нуль и затем меняет свой знак. Это свойство назовем эффектом насыщения электрических сил.

Здесь возникает аналогия с ядерными силами, для которых подобный эффект хорошо известен.



Эффект насыщения электрических сил означает, что должны существовать тела с истинными зарядами в миллионы кулон, которые не создают никакого внешнего электрического поля. Вся их электрическая энергия должна быть сосредоточена внутри них, а внешний наблюдатель может об этом даже и не подозревать.

Обратимся к Земле. Измерения ее внешнего электрического поля

показывают, что оно вызывается отрицательным эффективным зарядом, примерно равным полумиллиону кулон. Но каков же ее истинный заряд? Для классической линейной теории электрического поля это простой вопрос: в ней нет отличия между эффективным и истинным зарядом. Однако в описываемой нелинейной теории ответить на данный вопрос довольно затруднительно. Ведь в ней зависимость эффективного заряда от истинного периодически повторяется. И, значит, истинные заряды, отличающиеся на величины, кратные периоду, будут давать одно и то же значение эффективного заряда и одинаковое внешнее электрическое поле. Поэтому истинный заряд Земли может оказаться много большим, чем ее эффективный заряд, составляющий около половины миллиона кулон.

Эта особенность нелинейной теории позволяет по-новому подойти к вопросу о природе магнитного поля Земли: оно может быть вызвано круговыми токами зарядов Земли, участвующих в ее осевом вращении.

В классической линейной теории, где нет разницы между эффективным и истинным зарядом, такое объяснение сталкивалось бы с большими трудностями: слишком малая величина получалась бы для магнитного поля Земли. Однако в предлагаемой нелинейной теории, где истинный заряд Земли может значительно превосходить ее эффективный заряд, данные трудности исчезают.

Кстати, идея о связи между магнетизмом планет и звезд и их вращением высказывалась довольно давно английским физиком, лауреатом Нобелевской премии



Патриком Блэкеттом. Основой для нее послужила замеченная им примерная пропорциональность магнитных моментов небесных тел и их кинетических моментов, определяющихся собственным вращением. При этом он подчеркивал, что такое объяснение их магнетизма не основано на каких-либо известных законах физики, а требует разработки совершенно новой концепции.

Такой концепцией как раз и может оказаться нелинейная теория электромагнетизма, основанная на уравнениях Янга-Миллса.



Вернемся к найденному в ее рамках решению, описывающему нелинейное электрическое поле заряженного сферического тела. Его следствием является существование устойчивых сферических тел и слоев с общим истинным зарядом несколько миллионов кулон и эффективным нулевым зарядом. В их нижних частях будут действовать силы отталкивания. В центральных — произойдет смена знака электрического поля. А в верхних частях будут действовать силы притяжения. Вне этих тел электрические силы будут равны нулю, что соответствует эффекту их насыщения.



Такие сферические тела могут, например, возникать во время гроз. Для этих случаев мною была сделана приближенная оценка их максимального диаметра. Он получился порядка 40 сантиметров. Удивительно, но это как раз хорошо соответствует размерам шаровых молний. Так не в нелинейных ли электрических эффектах ключ к пониманию их природы?

Рассмотрим еще одно применение найденного решения для нелинейных полей заряженных сферических тел. Оно касается объяснения загадочного разделения на устойчивые слои земной атмосферы. Если справедлива предложенная нелинейная теория электрического поля, то, как было сказано, каждый такой слой должен иметь истинный заряд несколько миллионов кулон. При этом один раз внутри слоя и при переходе от одного слоя к другому должна происходить смена знака электрического поля. Этот вывод как раз согласуется с упомянутыми выше результатами ракетных исследований атмосферы, показавшими неоднократную в ней смену знака электрического поля.

Необходимо отметить огромный вклад российских ученых и инженеров в осуществление ракетных исследований атмосферы Земли, давших исключительно ценную информацию по ее электрическим свойствам. К сожалению, к началу 90-х годов ушедшего века, из-за отсутствия достаточного финансирования, эти исследования прекратились, что сильно затормозило изучение физики земной атмосферы.

В связи с этим хотелось бы обратить внимание научной общественности и правительства на исключительную важность и перспективность возобновления ракетных исследований земной атмосферы, являющейся уникальной природной лабораторией.

(Знание-сила)