

## Тематика конкурсных работ учащихся Аэрокосмического лицея

Перелыгин Борис Павлович, доцент кафедры 608 Аэрокосмического факультета МАИ  
Пополитова Инна Вячеславовна, учитель физики и астрономии, заместитель директора по Аэрокосмическому образованию, МОУ лицей 13 г. Химки

Слова «научная работа школьника» нередко вызывают недоумение у людей, знающих не понаслышке, какой должна быть научная работа. С другой стороны, школьные педагоги возражают, что это «штучная» работа и она не для массовой школы. Но для нас, знающих как расцветает ребенок после первого своего доклада, как вдруг он может превратиться из ничем ни примечательного среднего школьника в пытливого исследователя, изобретателя, уже много лет не стоит вопрос о том, нужна ли научно-исследовательская работа в школе.

Для школьного учителя будет иногда и непосильной задачей подготовить сильную задачу для школьника, провести ее профессиональное сопровождение в течение нескольких лет. Преподаватель ВУЗа хорошо специализирован в своей отрасли, но не имеет навыка работы со школьником. Нам удалось найти друг друга, создав эффективный творческий союз. После многих лет нашей общей работы можно говорить об итогах, результатах, выводах.

В этой статье, мы хотели бы обсудить вопросы, связанные с формулированием темы для школьника, адаптацией институтской математики и физики под базовый уровень. Найти задачу, интересную и посильную для школьника—это основная проблема любого научного руководителя. Как правило, тема может «рождаться» в течение многих лет, созревать в обсуждениях.

### 1. Темы докладов на конференциях – общая характеристика

Сопровождение учащихся лицея на конкурсы и конференции предоставляет возможность ознакомиться с определённой тематикой докладов. Мы участвуем в секциях и номинациях “ Эксперимент в космосе ”, “ Космическая лаборатория ”, “ Космические проекты ” и др., так что естественно рассматривается только авиационно – космическая тематика. Даже в этом случае трудно, да и не нужно, классифицировать такую широкую тематику. Отметим отдельные типы докладов с короткими комментариями по теме и, самое главное, по образовательной ценности в ней для самого учащегося.

Наиболее многочисленный тип – *реферативные доклады*. Реферативные доклады имеют право быть и могут иметь эту самую самостоятельную образовательную ценность, но не всякие. Можно указать на следующие, малополезные по нашему мнению для учащихся, доклады о жизни и профессиональном творчестве выдающихся учёных и конструкторов. Когда на пленарном заседании научной конференции такой доклад делает крупный учёный, - это так принято, понятно, иногда интересно. Но когда хронологию профессиональной деятельности пересказывает учащийся по сценарию родился—изобрел—умер, это не интересно, и для основных слушателей – самих учащихся, и прежде всего для самого докладчика. Любая авторская работа требует личного участия ребенка, его увлеченности и интереса.

Часто слышны сетования учителей на малую эффективность детских рефератов в наше время информационных технологий, когда найти интересную информацию дело 15 минут. В лицее в настоящее время принята практика школьных конференций рефератов, где в первую очередь от докладчика требуется свободное владение выбранной темой, умение выступать перед аудиторией. Наличие текста доклада при этом мы уже не считаем необходимым.

Отметим *доклады по известным методам, технологиям* и даже устройствам. Иногда учащийся и не знает, что это известно, и собственными часто оригинальными приёмами вхо-

дит в тему и представляет результаты этого “исследования“. Пример такого доклада: проблема космической навигации, где известной информацией являются угловые измерения: Земля – планеты, Земля – Солнце – планеты – звёзды и т.д. Учащийся строит анимационную картинку Солнечной системы и позволяет желающему (лучше из членов жюри) на данную дату проведения конференции выбрать планету для измерения. Показывается её видимый диаметр, освещённость, угол измерения и другие данные.

Иллюстрация в виде анимационной картинку (минифильм) означает, что в школе или дома компьютеры имеют соответствующие приложения по графике и анимации, а учащийся в какой-то степени этим владеет. Такие доклады нравятся и высоко оцениваются жюри и, естественно, имеют познавательную ценность для учащихся.

Отметим проекты и доклады, которые определим как “*натаскивание*“. Короче на одном примере. Учащийся представляет проект и доклад по теме “Конструктивная и технологическая разработка шарнирного механизма работающего в космосе “. Обратите внимание: разработка и конструктивная, и технологическая, т.е. полный цикл технической документации. О познавательной ценности может судить читатель, но в оправдание можно сказать следующее: Любая адекватная информация, “ верно воспроизводящая в мышлении связи и отношения объективного мира “ ( из словаря ), - является познавательно полезной.

Следующий тип докладов – это доклады *фантазийного типа*. Вот где полная свобода творчества учащегося при пассивном созерцании со стороны руководителя (консультанта). Отметим, что иногда в работе секций участвует определённое количество “ детского сада “, - это учащиеся 8-х, 7-х, а иногда даже младших классов. И возможно только благожелательное отношение, когда девочки представляют архитектуру своей космической станции на Венере в форме розы. Они выращивают там цветы и возможно считают выращенные там тюльпаны дешевле, чем из Голландии, - там тепло, а экономика рыночная. Только подобного рода работы никак не должны выдвигаться на *научных* конференциях, иначе ребенок вводится в заблуждение своим руководителем и получает превратное представление о собственно науке.

Приведём примеры, которые, по нашему мнению, не заслуживают даже благожелательного отношения. Докладывает о проекте солнечного паруса учащийся 11-го класса. Он планирует полёты далеко за пределами Солнечной системы, что одно должно приводить к размышлениям о предельных возможностях этого способа движения. Но он ставит лазерное устройство, которое использует энергию солнечного излучения, на самой далёкой планете Плутон и таким способом просто “решает“ эту задачу.

Другой учащийся рассматривает альтернативу проекту “Морской старт“. Это успешно работающий проект ведущих фирм США, России, Норвегии, Украины реализует старты ракет-носителей из акватории океана в районе экватора с использованием плавучего комплекса (кораблей большого водоизмещения и большой длительности плавания). Учащийся предлагает создать в океане искусственный остров со стационарным космодромом. Может быть, эта красивая идея ещё никому и не приходила в голову, но в любом случае следует задавать себе вопрос и отвечать на него – сколько будет стоить остров? На этот вопрос с его стороны следует один ответ – это будет дешево.

Наблюдая за творчеством наших коллег и «соперников» мы пришли к собственному категоричному пониманию как надо вести подобную работу со школьниками:

- Исследовательская работа школьника при любых обстоятельствах должна оставаться в рамках научного подхода, здравого смысла и целесообразности.

- Руководитель исследовательской работы должен иметь «запас прочности» в области исследования. Верно утверждение: «исследовательская работа—результат совместного творчества ребенка и взрослого, и взрослый не должен знать решения заранее». Но нельзя эту идею понимать буквально: я ничего не знаю о выращивании тюльпанов, давай-ка исследуем, как они будут расти на орбите...
- На первом этапе руководство работой школьника может заключаться в его натаскивании по избранной теме, но рано или поздно ребенок должен начать вносить свой вклад в совместное творчество, иначе вся эта деятельность станет обманом и очковтирательством.
- Недопустимо многократное участие ребенка в конкурсах и конференциях с одним и тем же докладом без развития темы и существенных доработок. Каждое новое выступление должно содержать развитие темы, осмысление старых ошибок.

Работа по конкурсному проекту не является обязательной школьной дисциплиной и 2-х – 3-х летняя работа после периода начальной заинтересованности в дальнейшем поддерживается уже интересом к собственным результатам, успехами на конкурсах и другими личными качествами.

## **2. Тематика конкурсных работ лицея**

Отметим, что некоторые темы конкурсных работ идут на протяжении нескольких лет (9-й -11-й классы), а нередко продолжают другими авторами. Не забывая возможного упоминания о скромности, отметим, что это представляется необходимым для поддержания достаточно высокого уровня конкурсных работ. Далее мы приводим тот перечень тем, которые давались ученикам лицея в течение 8 лет нашего сотрудничества. Тематика является короткой и приводится на этой единственной странице только в целях целостного восприятия.

### ***Солнечный парус с использованием облака мелкодисперсных частиц (2000-2006г) :***

- работа над проектом и выступления на конкурсах;
- консультации учащегося и студента Горлина И. у специалистов и преподавателей МАИ и МГУ;
- работа студентом над технической документацией и оформление патента на способ и устройство.

### ***Солнечный парус с гибкими связями (2003-2008):***

- анализ проектно-баллистических характеристик;
- использование электростатических сил для стабилизации купола;
- технические решения по устойчивым и неустойчивым конфигурациям паруса;
- оценки управляемости;
- управление с регулированием по угловой скорости.

### ***Использование ротационных тросовых систем для доставки грузов на МКС и выведения стационарного спутника (2001-2003):***

по данной теме было два выступления на конкурсе ВАКО “Союз “ и в дальнейшем по согласию сторон (учащиеся Колосов К. и Старостин А.) работа закончилась;

### ***Спортивные игры в космосе (2005-2008):***

- баскетбол на Луне;
- настольный теннис в условиях лунной гравитации;
- настольный теннис в условиях слабой (нулевой) гравитации.

Как видно из сказанного, некоторые темы разрабатывались в течение 5 лет несколькими учащимися. Между работами есть преемственность, но каждая из них самостоятельна. Мы используем ниже в качестве комментариев к некоторым из этих работ, по возможности, краткие физические пояснения и математические соотношения с целью:

- моделировать процесс введения учащегося в тему;
- продемонстрировать, как может осуществляться адаптация сложных математических и технических понятий на школьный уровень;

### 3. Солнечный парус с использованием облака мелкодисперсных частиц

Одной из проблем технической реализации проектов космических аппаратов с солнечным парусом является проблема развёртывания и сохранения требуемой формы очень тонкой плёнки с линейными размерами несколько сот метров и более. Для получения некоторых характеристик этого процесса предприятиями РКК “Энергия” и НПО Лавочкина были реализованы (не совсем успешные) космические пуски экспериментальных аппаратов.

Можно задать вопрос, - а что хорошего или плохого, если вместо плёнки использовать большое количество частиц малых размеров? – и почему малых размеров?

Рассмотрим частицу в форме кубика, на одну грань которого по нормали действует солнечный световой поток. Тогда ускорение единичной частицы будет:

$$a_1 = p_0 \delta^2 / \rho \delta^3 \quad \text{или} \quad a_1 = p_0 / \rho \delta, \quad (3.1)$$

где  $p_0$  - давление солнечного излучения на околоземных орбитах

при коэффициенте отражения равном единице ( $9.32 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м}^2$ );

$\rho$  - плотность вещества частицы ( $\text{кг/м}^3$ );

$\delta$  - размер грани кубика (м).

Из (3.1) видно, что чем меньше плотность и размер частицы (до предела заметного влияния эффектов дифракции), тем больше ускорение. Если частиц много и мы обеспечим передачу сил от них на космический аппарат, то суммарное ускорение космического аппарата с солнечным парусом такого вида определяется формулой:

$$a_{\Sigma} = (p_0 / \rho \delta_s) / (1 + \mu) \quad (3.2)$$

где  $\mu$  - отношение массы самого космического аппарата к массе частиц;

$\delta_s > \delta$  - эквивалентный размер частицы (они могут затенять друг друга).

Формула (3.2) – это типичное соотношение связывающее **проектные и баллистические характеристики**:

- в правой части - проектные параметры: отражательная способность ( $p_0$ ), плотность материала частиц ( $\rho$ ), характерный линейный размер ( $\delta$ ), отношение массы космического аппарата к массе частиц ( $\mu$ );

- суммарное ускорение ( $a_{\Sigma}$ ) в левой части - основная баллистическая величина, характеризующая величины скоростей и времена полётов.

Если принять  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$  – (3 микрона),  $\mu = 1$ ,

$$\text{то } \underline{\max(a_1)} = 3.1 \cdot 10^{-3} \text{ м/сек}$$

- это очень большое ускорение для парусных систем, но это только одна частица малых размеров.

Теперь можно спросить читателя - сможет ли наш возможный оппонент утверждать о “натаскивании” учащегося на такое профессиональное понятие как проектно-баллистические

параметры (характеристики)? Превышены в данном случае какие-либо базовые знания учащегося даже 9-го класса?

Далее формулируется идея стабилизации облака частиц и задача передачи сил светового давления от них космическому аппарату с использованием электростатических (кулоновских) сил взаимодействия одноимённых и разноимённых зарядов (рис.3.1). Заметим, что стабилизация определённой геометрии облака и аппарата и есть реализация задачи передачи сил.

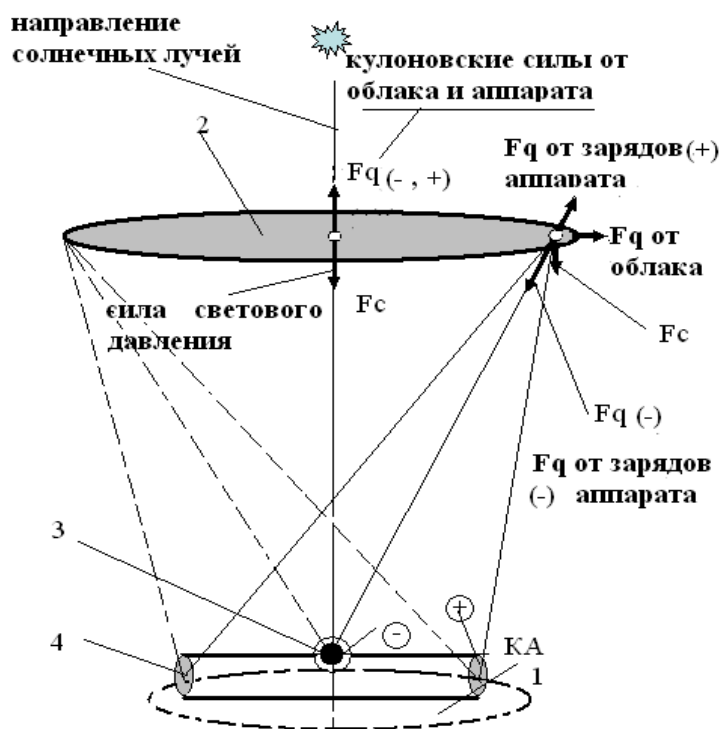


Рис.3.1. Схема устройства космического аппарата с солнечным парусом с использованием облака мелкодисперсных частиц.

- 1- космический аппарат; 2- облако мелкодисперсных частиц;  
3 - отрицательный заряд; 4 - положительный кольцевой заряд.

В результате фотоионизации солнечным потоком облако частиц имеет суммарный положительный заряд. На оси симметрии всегда можно найти частицу с определёнными размерами и величиной заряда, которая будет находиться в равновесии под действием сил светового давления  $F_c$  и кулоновских сил  $F_q(-,+)$  от зарядов облака и аппарата (3) и(4).

При определённых величинах зарядов (3) и(4) и геометрии их расположения возникает “потенциальная яма” и, как следствие этого, появляется ограниченная область движения частиц, которые выведены из положения статического равновесия. Мы моделировали эти движения, получали траектории движения, ограниченные цилиндрической областью, может быть с предельными циклами, - не знаем. Но этими расчётами мы отвечали нашим “отрицательным” оппонентам, что ссылки на теорему Эрншоу здесь не правомерны, в частности потому ещё, что кроме электростатических сил имеется сила другой природы – сила светового давления.

Основной проблемой является стабилизация частиц в поперечном направлении, естественно, частиц на периферии облака. На рисунке показана система сил, действующих на периферийную частицу. Наши “положительные” оппоненты, с которыми мы полностью со-

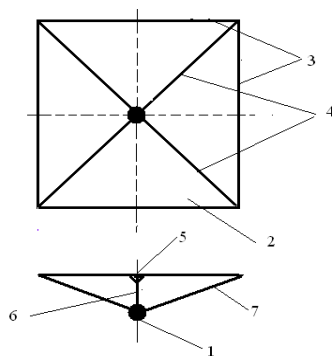
гласны, отмечали значительные теоретические трудности моделирования данных процессов для получения значимых результатов.

В результате работы студента Горлина И. с технической документацией, оппонентами, экспертами получен патент РФ на изобретение №2268206 “СПОСОБ СОЗДАНИЯ ТЯГИ В СОЛНЕЧНОМ ЛУЧИСТОМ ПОТОКЕ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЭТОГО СПОСОБА” с приоритетом от 12 марта 2004г.

#### 4. Солнечный парус с гибкими связями

Мы анализируем с учащимися типичные конструкции солнечных парусов космических аппаратов. Информация из книг, Интернет, в это время появляется также доступная информация о неудачном эксперименте НПО Лавочкина, в котором проблема раскрытия и стабилизации формы решалась с использованием пневматических (надувных) конструкций.

Предлагается рассмотреть нетипичную конструкцию солнечного паруса -полотнище паруса не плоское, а в форме цилиндрического параболоида (в частности парашюта) и связи полотнища с космическим аппаратом не жёсткие - стержни, а гибкие - в виде строп. Но для этого следует даже на начальном этапе показать положительные стороны такого технического решения. Если мы это делаем (не руководитель, а лучше вместе), - это уже является введением в тему, которая может заинтересовать учащихся.



дением в тему, которая может заинтересовать учащихся.

**Типичные конструкции космических аппаратов с солнечным парусом.**

Рис.4.1(а) Солнечный парус с жёстким каркасом.

- 1- космический аппарат; 2 – полотнище паруса; 3 – внешние стержни;
- 4- радиальные стержни; 5 – ступица; 6 – центральный стержень; 7 – система (тросов) растяжек.

Рис.4.2 (б) Солнечный парус роторного типа.

1-космический аппарат; 2-полотнище; 3-ферменная конструкция с системами раскрытия, закрутки и регулирования угловых положений полотнищ; 4-вектор угловой скорости закрутки; 5- направление солнечных лучей.

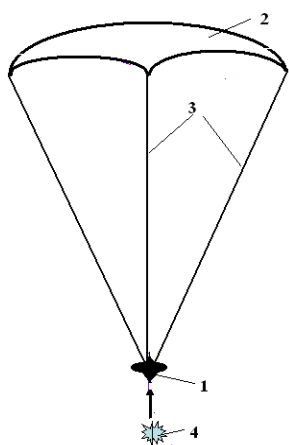
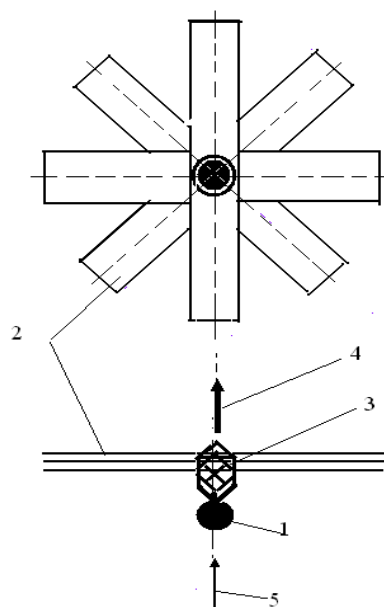


Рис.4.3. Схема солнечного паруса с гибкими связями  
1-космический аппарат; 2- полотнище паруса (варианты: параболоид вращения, цилиндрический параболоид); 3- стропы -нити (гибкие связи); 4- направление солнечных лучей.

В литературе отмечаются следующие **основные недостатки** типичных конструкций:

-трудности частого и быстрого изменения углового положения (вектора кинетического момента) конструкции (б);

- увеличение относительной массы стержней с увеличением размеров полотнища для конструкции (а).



Последнее объясняется тем, что стержни работают на устойчивость и этот эффект увеличивается, как и масса стержней, с увеличением размеров.

Мы начинаем с учащимся рассуждать о прочности при работе на устойчивость на бытовом уровне. Короткая соломинка (для них сейчас более понятно - трубка для коктейля) выдерживает определённое усилие при осевом сжатии. При увеличении длины соломины при постоянной нагрузке требуется увеличение её толщины, а это значит, что величина её массы увеличивается быстрее, чем длина. Вот так – прочность вокруг нас!

Если масса стержней пропорциональна площади (массе) паруса  $m_c = k_c S \rho_s$ , то основное уравнение (3.2), связывающее **проектные и баллистические характеристики**, записывается в виде,

$$a_{\Sigma} = (p_0/\rho_s)/(1+\mu+k_c), \quad (4.1)$$

где  $\rho_s$  -поверхностная плотность ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ); в (3.1) это  $\rho\delta$ ;

$S$  -площадь пленки паруса ( $\text{м}^2$ );

$\mu = m_{ка} / \rho_s S$  –отношение массы космического аппарата к массе плёнки с площадью  $S$ .

Если учитывать увеличение относительной массы конструкции с увеличением площади паруса  $S$  относительно площади опорного паруса  $S_0$ , то уравнение записывается в такой форме:

$$a_{\Sigma} = (p_0/\rho_s)/[1+\mu+k_c(S/S_0)^{(n-1)}], \quad (4.2) \quad \text{где } n > 1.$$

Уже отмечалось, что толщина плёнки является важнейшей проектной характеристикой. Учащемуся указывается, что основу плёнки составляют материалы типа каптон, майлар, которые покрыты алюминием:

- толщина покрытия -0.1мкм;
- плотность алюминия- $2.7 \cdot 10^3 \text{кг}/\text{м}^3$ ;
- плотность основы – ( $.2 \dots 1.4$ ).  $10^3 \text{кг}/\text{м}^3$ .

Далее учащийся рассчитывает массу единицы поверхности плёнки -поверхностную плотность  $\rho_s = (0.27+1.4\delta) 10^{-3}, \text{кг}/\text{м}^2$ .

где  $\delta$  - толщина плёнки в мкм.

Таблица 1

$\delta, \text{мкм}$	2	4	6	8
$\rho_s 10^3, \text{кг}/\text{м}^2$	3.07	5.87	8.67	11.47

Один квадратный метр плёнки толщиной 2 микрона имеет массу  $\sim 3$ грамма; оцинкованные крыши, которые блестят на солнце, в космосе летать не смогут!- это уже понимает учащийся, который может определить максимальное ускорение самой плёнки по простейшей формуле

$$\max(a) = p_0/\rho_s, \quad (4.3)$$

а космического аппарата по формулам (4.1, 4.2).

На рис.4.3 показана принципиальная схема конструкции солнечного паруса с гибкими связями. По сравнению с конструкцией рис.4.2 (а) здесь нет элементов, работающих на устойчивость, что является положительным фактором. Здесь есть элементы (полотнище, нити-стропы), которые могут работать только на растяжение. Но масса полотнища неплюсской формы, его масса и способность какой-то формы воспринимать силу солнечного давления – пока нам неизвестны. Мы должны рассматривать также вопрос о форме купола с точки зрения его устойчивости – очень плоский купол неустойчив в местах соединения со стропами.

Это новая и достаточно сложная задача, адаптированного (к базовым знаниям) решения которой мы не получили.

Но мы высказали идею стабилизации пологой формы купола электростатическими силами, провели серию экспериментов с использованием оборудования кабинета физики лицея. Они естественно имеют только качественный характер, без каких-либо количественных характеристик электростатического поля от электрофорной машины.

В качестве плёночной конструкции использовалась плёнка экранно-вакуумной теплоизоляции для космических аппаратов. Это плёнка ЭВТИ-В или 2В толщиной 5 мкм металлизированная алюминиевой фольгой с одной (В) или с двух сторон (2В). Лучшие результаты по формообразованию получались для плёнки металлизированной с двух сторон. Как показывают эксперименты, конструкции разворачиваются и стабилизируются даже при наличии земного гравитационного поля. Это подтверждает наши предложения о принципиальной возможности формообразования или стабилизации заданных форм в космосе.

Для корректного сравнительного анализа мы должны получить *уравнение, связывающее проектные и баллистические характеристики*, типа (4.1, 4.2, 4.3). Но мы имеем дело уже с кривыми и поверхностями и вынуждены из “базовых знаний” учащихся использовать элементы дифференциального и интегрального исчисления (11-й класс).

Базовые представления об интегрировании и дифференцировании школьники имеют. Как поступать в ситуации, когда задача требует навыков решения интегральных и дифференциальных уравнений, а ученик этими навыками будет владеть только через несколько лет? В этой ситуации мы используем один из возможных подходов.

Рассматривая геометрическое представление производной, допустимые по точности упрощения функций, мы приходим к производным и определённым интегралам только от степенных функций. С другой стороны, существуют инженерные пакеты программ, позволяющие решать эти задачи как численно, так и аналитически. Мы используем стандартные программы численного интегрирования (система MAPLE).

## 5. Спортивные игры в космосе

Идея начать более “школьную” тематику появилась в 2005-м году, а в конце года (журнал Интернет) появляется материал “Спорт в космосе начинается с футбола”. Никакого футбола там естественно нет, это рекламная статья одной из фирм, которая фрахтует самолёт (Боинг-737) и возит туристов “на невесомость”. Это недешёвое мероприятие с подготовленным салоном и специальным динамическим манёвром самолёта используется в цикле подготовки космонавтов. Но в данном случае, что бы богатым туристам не надоело просто кувыркаться в салоне, там “плавают” разноцветные шарики, которые по заданным спортивным правилам нужно собирать.

В отличие от темы “Солнечный парус..” в данной теме используются практически только стандартные “базовые” знания по математике и физике.

В работах рассматриваются особенности версии игры в баскетбол и настольный теннис в условиях отличных от земной гравитации, в частности в условиях лунной гравитации. Анализируются динамические характеристики игры в условиях лунной гравитации, такие как потребные скорости движения мяча и шарика, время движения мяча и шарика для начальных траекторий (динамика игры). В итоге, показывается, что при сохранении стола и высоты сетки, настольный теннис в условиях лунной гравитации менее динамичный. В данном случае мы можем говорить о версии игры в «медленный лунный» настольный теннис.



Показываются также возможности изменения динамики игры при изменении, например, высоты сетки. Аналогичные результаты получаются для баскетбола: Рассматривая численные результаты по начальным скоростям движения и по времени движения, можно заметить, что они относятся в пропорции  $k=2,45$ . С другой стороны можно заметить, что эта величина есть корень квадратный из отношения ускорения свободного падения на Земле к ускорению свободного падения на Луне, т.е.  $\sqrt{6} \approx 2.45$ . Эта величина при неизменных размерах стола и высоты сетки (размеры игрового поля и высота баскетбольного кольца) определяет отличие в динамике (скорость, время) игры в условиях земной и лунной гравитации.

Естественно возникает вопрос – возможно ли при таком сильном изменении (уменьшении) вертикальной составляющей скорости (в 6 раз!) сохранить допустимые ошибки, которые всегда будут, по силе удара. Это вопрос двигательной (спортивной) физиологии, ответ на который нам не известен.

Конечно, можно было бы продолжать и далее изучать футбол, волейбол и другие игры, а также на Марсе, Фобосе, Меркурии. Возможности тут безграничны... Но мы далее поставили вопрос о вариантах спортивных игр в невесомости и адаптации известных игр к условиям невесомости. Хотя нам приходилось слышать реплики о том, что космонавты на МКС работают, а не играют, интерес к этой теме у большинства специалистов неподдельный. С одной стороны это и проблемы поддержания физической формы, психологической поддержки. С другой стороны, обсуждаются проекты пилотируемого полета на Марс—и чем-то люди должны заниматься в таком длительном полете!

Первое, что лежит на поверхности: найти заменитель земной гравитации—т.е. силу осуществляющую воздействие через поле. На протяжении 2 лет ребята отрабатывали вариант электростатического поля: искали версии стола и шарика, имеющих электрические заряды. Это было нам как руководителям более знакомо. Но на каком-то этапе стало очевидно, что электростатика несет минусов больше, чем плюсов: заряды утекают, перераспределяются, для нужного взаимодействия потребны слишком большие заряды. В конце концов, это просто не безопасно.

А вот магнитное поле дало нам широкое поле для экспериментальной и теоретической работы. Необходимо, прежде всего определиться с характером зависимости силы магнитного взаимодействия от расстояния. Следует отметить, что это оказалось совершенно нетривиальной задачей, так как в большой степени характер взаимодействия определяется размерами и формой взаимодействующих тел. Наши эксперименты показывают, что зависимость здесь обратная кубическая, и, отрадно, что дальнейшие консультации со специалистами подтвердили многие наши экспериментальные открытия. В конечном счете, нам удалось найти научных сотрудников предприятия «Валтар», много лет занимающихся магнитопластикой. Их помощь и в изготовлении мощных магнитов и в консультировании для нас оказалось неоценимо ценной.

Расчет движения «магнитного» теннисного шарика в плоскопараллельном магнитном поле уже нетривиальная задача. Но, видимо, мы в своем рассказе уже подошли к той границе, которая отделяет уже сделанное от запланированного. Поэтому—подведем итоги.

## **6. Заключение**

Повторимся еще раз, что основная сложность для руководителя школьной научно-исследовательской работы—в адаптации вузовской математики и физики под базовый уровень. В небольшом объеме статьи мы не вместили подробного рассказа о всех встреченных и

преодоленных препятствиях на этом пути. Каждый раз приходится искать новый подход: и потому что проблема другая, но прежде всего, потому что ребенок другой.

Работа над конкурсными проектами - это развитие навыков использовать базовые знания по математике, физике, информатике при решении нестандартных (“нешкольных”) задач. Примером является задача, когда для построения требуемой траектории движения (уравнение 2-й степени, парабола), нужно решить нелинейную (2-я степень) систему 2-х уравнений. Но для одного ученика эта проблема будет решаться через вывод аналитических выражений в системе MAPLE, а другой предпочтет ее численное решение и займется потом компьютерным моделированием движения. Иногда задача, на первый взгляд, теоретическая трансформируется в экспериментальную, только потому, что именно в эксперименте ребенок видит для себя содержательное исследование. В качестве примера: проблема солнечного паруса с гибкими связями предлагалась в качестве чисто теоретической работы в первый раз 5 лет назад, но очень быстро ее содержание наполнилось экспериментом по электростатике и анализом этого эксперимента. Лишь со второй попытки нам удалось найти ученика, готового провести аналитический расчет управляемости такого паруса. Задача о магнитном теннисе отложена на будущее, потому что проблема замены гравитационного поля в невесомости нашла другие приложения и, такое произошло по инициативе ученика. Это замечательно, согласитесь!

Конкурсные работы учащихся лицея, доклады на конференциях и летних школах, на собраниях школьной Малой Академии Наук являются одной из форм дополнительного обучения и повышения качества обучения. Все ученики, имеющие опыт собственного научного исследования, успешны теперь уже как студенты.