

Не корысти ради

Е. Е. МЕШКОВ

«Не корысти ради, а токмо волей пославшей мя жены!» – так утверждал отец Федор – герой бессмертного романа Ильфа и Петрова. Отец Федор лукавил, но я, в отличие от него, могу утверждать это с чистой совестью. Случилось так, что осенью 2003 г. однажды за ужином, жена сказала мне, что у нашего сына Дани, который учился в девятом классе, проблемы с учебой и надо сходить в школу, поговорить с учителями. Я не видел в этом особого смысла, но сопротивляться не стал, и покорно пошел в школу вслед за женой навстречу своей судьбе, даже не подозревая, какой подарок она мне приготовила.

В результате нашего похода я познакомился с Валентиной Федоровной Завадой – учителем физики физико-математического лицея № 15 г. Сарова. ВФ (так за глаза звали ее ученики) попросила меня помочь ей организовать участие учеников класса, в котором учился Данька, в очередных Школьных Харитоновских чтениях (ШХЧ), которые должны были состояться в конце февраля следующего года.

ШХЧ – конференция, посвященная памяти Юлия Борисовича Харитона – одного из руководителей РФЯЦ-ВНИИЭФ и одного из создателей российского ядерного и термоядерного оружия. Впервые эта конференция, приуроченная ко дню рождения Харитона (28 февраля 1904 г.), состоялась в конце февраля 2001 г. и с тех пор проводилась каждый год. К 2004 г., когда ШХЧ должны были состояться уже в четвертый раз, они приобрели известность и популярность. Для участия в конференции съезжаются школьники из многих городов и сел России и даже из-за границы. Конференция стала местом для состязаний школьников во многих отраслях знаний: математике, литературе, биологии, информатике, истории, химии и, конечно же, физике. И победа в этих конкурсах очень престижна. В отличие от олимпиад (например, по физике), на которых им приходилось решать задачи, здесь они должны были представить результаты самостоятельной разработки какой-либо скромной научной или технической задачи с физическим уклоном. И вместе с тем ШХЧ – это всегда яркий, большой и шумный праздник для участников конференции.

За несколько лет до описываемых событий на базе Саровского физико-технического института (СарФТИ) – филиала Национального исследовательского ядерного университета МИФИ была образована гидродинамическая лаборатория, в которой проводятся исследования нестационарных газодинамических течений с участием студентов, и я мог использовать базу лаборатории для работы со школьниками.

Одно из направлений исследований, проводимых в лаборатории – это исследования гидродинамических неустойчивостей и, в частности, неустойчивости Рэля – Тейлора. «А что это такое – неустойчивость Рэля – Тейлора?» – может спросить неискушенный читатель.

Поверхность чая в чашке, стоящей утром перед вами на столе, устойчива; любое возмущение этой поверхности быстро затухает после нескольких колебаний. Но представьте себе, что произошло бы с этой поверхностью, если бы сила тяжести мгновенно изменила бы свое направление на обратное. Поверхность тут же стала бы неустойчивой, – и сколь угодно малые возмущения поверхности стали бы стремительно и неограниченно нарастать. Неустойчивость Рэля – Тейлора (или гравитационная неустойчивость) возникает на границе сред разной плотности (контактной границе), движущейся с ускорением, направленным от менее плотной



Даня Мешков (слева) и Витя Сиволгин начинают эксперименты с пузырями (2003 г.)

к более плотной среде, или находящаяся в поле тяготения, когда сила тяжести направлена от более плотной к менее плотной среде. В нашем случае речь идет о неустойчивости границы чая и воздуха над ним.

В конечном итоге неустойчивость Рэлея – Тейлора приводит к образованию и развитию зоны турбулентного перемешивания сред на контактной границе (в нашем случае чая и воздуха над чаем). В зоне перемешивания чай проваливается в воздух в виде струй, концы этих струй рассыпаются на капли в виде дождя. Со времен Ньютона не только отличникам, но даже и троечникам известно, что все что падает – падает по закону gt^2 . В зоне перемешивания чай проваливается по такому же закону, и масса проваливающегося чая нарастает пропорционально квадрату времени.

А в это же время воздух проникает в чай в виде «толпы» пузырей, прижатых друг к другу. Пузыри всплывают в чае и при этом быстро растут в поперечном размере. Причем это происходит также, как в обществе – крупные пузыри становятся еще крупнее за счет того, что «съедают» мелкие. Между прочим, и фронт пузырей проникает в чай тоже по закону gt^2 . И ширина зоны перемешивания растет по такому же закону.

Меня уже давно занимал вопрос: как это так получается, что купола этих пузырей в зоне перемешивания остаются все время устойчивыми? Почему они все время такие гладкие? Почему на них не растут возмущения?

Раньше у меня «не доходили руки» заняться этой задачей. А после разговора с ВФ я подумал: а почему бы школьникам не заняться этим вопросом? И вот уже наш Дания и его приятель



Дания Мешков и Витя Сиволгин проводят эксперимент со всплывающим пузырем (2005 г.)



Дания Мешков и Виктор Сиволгин (студенты МИФИ и МГУ) со Снежаной Абаржи – председателем оргкомитета конференции в Триесте (2009 г.)

Витя Сиволгин начали разрабатывать методику получения пузырей, всплывающих в воде, сначала мелких (объемом 1–2 мл), а потом все более крупных (до 1 л). Кроме этого им надо было освоить методику видеосъемки, обработку на компьютере результатов съемки и многое другое.

Вначале, в 2003 г., это было для них скорее забавой, но потом это дело увлекло их; а в 2006 г. они выполнили эксперименты со всплывающими пузырями, результаты которых были представлены ими на Международной конференции по турбулентному перемешиванию в Италии в 2009 г. и опубликованы в журнале *Physica Scripta* в 2010 г. И это только одна из многих удивительных (для меня) историй, случившихся за последние более чем десять лет в гидродинамической лаборатории.

Тема пузырей оказалась плодотворной и неисчерпаемой. Еще трое учеников из этого же класса: Алеша Долотов, Володя Игнатъев и Антон Сладков в 2005 г. начали разрабатывать методику визуализации течения за пузырями и получили фотографии присоединенной массы за всплывающим пузырем объемом в несколько миллилитров и образования вихревого кольца при подъеме крупного (1 л) пузыря.

Конечно, они делали эти эксперименты не одни. В постановке этих экспериментов, разработке методики, обсуждении результатов, подготовке публикаций принимали участие сотрудники лаборатории: Г. Б. Красовский, А. Левушов; сотрудники ВНИИЭФ: О. В. Ольхов, С. Ю. Седов, Ю. Б. Базаров. В соседних помещениях находилась лаборатория, в которой студенты СарФТИ обучались искусству работы на токарных и фрезерных станках, а их наставники Ю. В. Алекса-



Проведение эксперимента со всплывающим пузырем (2006 г.)

нов и С. А. Ломтев никогда не отказывались помогать нашим школьникам, если требовалось изготовить какую-либо незамысловатую деталь для их экспериментов. И родители приходили к ним на помощь. Но именно ребята были движущей силой этих работ.

В 2007–2008 гг. Саша Кабак и Сережа Рязанцев продолжили исследование механизма устойчивости куполов всплывающего пузыря и влияния на него поверхностного натяжения воды, в которой поднимается пузырь. Очередной шаг в истории с пузырями сделал Алеша Каторов (2009–2010 гг.): он делал эксперименты с пузырями, всплывающими в вертикально расположенных трубах с коаксиальными вставками.

В 2008 г. были начаты эксперименты по исследованию вихревых воронок, возникающих при сливе воды через отверстие в дне сосуда. Эти исследования были начаты по инициативе М. Б. Голубева; в них приняли участие Ю. Б. Базаров с сыновьями Борей и Мишей (учениками гимназии № 2) и Андрей Сироткин (ученик лицея № 3); некоторые результаты этих исследований были опубликованы в 2013 г. в двух статьях в журналах *Physica Scripta* и *Procedia IUTAM*. Можно только удивляться, что в этой проблеме, обсуждаемой, наверное, еще со времен Леонардо, можно было обнаружить нечто новое, что могло стать предметом двух статей в зарубежных научных журналах.

Жаркое лето 2010 г. и лесные пожары послужили толчком к поиску способов борьбы с ними. В этих работах принимали участие Г. М. Янбаев и В. О. Орешков. В результате этих иссле-

дований с участием Яши Федоренко, Ромы Каныгина (лицей № 15) и Маши Пекаловой, Тани Биюшкиной (гимназия № 2) была разработана методика исследования трансформации цилиндрических, водяных снарядов в процессе падения.

В 2010–2014 гг. была разработана гидравлическая модель имплозии в цилиндрической геометрии (Леон Огородников, лицей № 3). Эта модель была использована в 2012 г. при проведении в Сарове экспресс-проекта «Кумуляция в гидродинамике. Модельный и численный эксперимент» в рамках Всероссийского фестиваля «Люди будущего». Позднее была разработана гидравлическая модель плоской ударной волны (Аня Точилина, гимназия № 2).

Конечно, далеко не все работы имели пионерский характер, многие сводились к решению отдельных методических задач. Таких, например, как получение устойчивых долгоживущих мыльных пузырей (Л. Шубина, 2004 г.) или разработка методики использования студня из агар-агара в практике экспериментов в лаборатории (Е. Сафронова, 2005 г.).

Наверное, у многих читателей может возникнуть вопрос: «На чем основаны эти успехи?». Определенные обстоятельства сложились вместе и послужили причиной этих успехов. Во-первых, это, конечно, наличие экспериментальной базы – лаборатории в СарФТИ. Случилось так, что лаборатория располагается практически на равных расстояниях от трех самых продвинутых школ г. Сарова – это физико-математический лицей № 15 имени академика Харитона, гимназия № 2 и физико-математический лицей № 3 и все они находятся на расстоянии 5–10 минут ходьбы от лаборатории. Лаборатория располагается на первом этаже двухэтажного лабораторного корпуса, подвальных помещений там нет и, если случалось во время экспериментов пролить воду на пол, то ничего страшного в этом не было; вода уходила через стыки каменных плит в песок, на котором эти плиты лежали, и не причиняла особых неудобств.

В лаборатории можно было работать не только днем, но и вечером, и в субботу, и даже в праздничные дни. И вот именно в каникулы (особенно, зимние), когда все сидели дома, в лаборатории кипела работа.

Еще одно обстоятельство сыграло важную роль: 2000-е гг. – это время бурного развития



Школьники, принимавшие участие в экспериментах с пузырями, а также в других работах (стоят), Е. Е. Мешков и В. Ф. Завада (в центре), сотрудники СарФТИ – Г. Б. Красовский и А. Левушов, сотрудники ВНИИЭФ – О. В. Ольхов, С. Ю. Седов, Ю. Б. Базаров (сидят)

цифровой фото- и видеотехники и обработки результатов фото- и видеосъемки на компьютерах. Это развитие совершалось у нас на глазах, и многое сразу же внедрялось в практику работы лаборатории. Невозможно себе представить, как можно было бы выполнить то количество экспериментов, которые были выполнены школьниками за последнее десятилетие, теми средствами, которыми мы владели в 1990-е гг. и раньше. Но даже и на этом фоне произошла маленькая революция, резко расширившая наши возможности с появлением фотоаппарата Casio Exilim EX-F1, который позволяет осуществлять видеосъемку со скоростью до 1200 кадров в секунду. Фотоаппарат простой и надежный, с его помощью школьники выполнили сотни экспериментов.

Первые несколько лет в лабораторию приходили ребята, которых присылала ВФ. И это были ученики лицея № 15. Но, начиная с 2008 г., в лаборатории начали появляться ученики гимназии № 2 и лицея № 3.

Всех, кто ко мне приходил, я «с порога» предупреждал о том, что моя цель – дать возможность школьнику получить опыт исследовательской работы, а вовсе не получение приза за работу на ШХЧ. Никакой гарантии на этот счет. Как уж получится. Мне хотелось, чтобы школьник в процессе работы прошел через все этапы исследовательской деятельности: зарождение идеи, разработка методики эксперимента,

проведение эксперимента, обработка полученных результатов, описание их. Конечно, в итоге все сводится к подготовке выступления: доклада и презентации для ШХЧ, но это закономерный итог работы в лаборатории. Подготовка доклада и презентации, выступление с докладом – все это неотъемлемые части процесса исследования, и школьники должны приобрести опыт не только в подготовке и проведении эксперимента, но и опыт публикации его результатов.

К слову сказать, большинство работ, выполненных школьниками, были вполне оригинальными исследованиями, исход которых порой был неясен и мне самому.

Что объединило всех этих людей, таких разных и по возрасту, и по положению, и по знаниям? Я думаю, это то же, что их всех объединяет с Ньютоном, который говорил о себе: «Не знаю, как меня воспринимает мир, но сам себе я кажусь только мальчиком, играющим на морском берегу, который развлекается тем, что время от времени отыскивает камешек более пестрый, чем другие, или красивую ракушку, в то время, как великий океан истины расстилается передо мной неисследованным».

МЕШКОВ Евгений Евграфович – зав. учебно-исследовательской гидродинамической лабораторией СарФТИ, кандидат физ.-мат. наук