

## ПЛАВАЕТ ИЛИ ТОНЕТ?

Здесь с моими учениками 5 класса я использовала проблему из понятийной области экспериментальных наук: почему айсберг весом 5000 тонн плавает, а маленький стальной шарик тонет? Ответ

не заставил себя ждать: «Сталь тяжелее льда». Но беспокойный преподаватель (напрасно) забивает гвоздь глубже: «10 г гораздо меньшая масса, чем 5000 тонн». — «Нет, дело не в шарике, а в стали. Ну, в этой — плотности». (Эти учителя ничего не понимают.)

Я думаю, что для учеников 5 класса (13 лет) это большое приобретение; они легко оперируют понятием вещества, отдельным от предмета, изготовленного из этого вещества. Таким образом, они стоят на пути физического понимания некоторых феноменов. Итак, с первого раза дети смогли применить эту характеристику плотности вещества. Но этого недостаточно для объяснения, почему же есть тела, которые плавают и которые тонут!

Ученики начинают перечислять тонущие и плавающие вещества. Говорится о материалах, которые ребята спонтанно использовали при строительстве плотов (уменьшенная модель) на конкурсе, в котором они участвовали: пробка, дерево, полистирол, пластиковые бутылки.

Ученик: «Можно посмотреть в таблицу плотности веществ?»

Конечно! Когда ученик знает, зачем он открывает книгу, поиск стоит затраченного труда. Мы еще не говорили о плотности жидкостей.

Ученик: «Так как плотность воды 1, то все, что больше 1, тонет, остальное плавает.»

Остальные проверяют его постулат на тех веществах, которые они знают: «Действует, правильно!» Не вставая со стульев, ни к чему не прикасаясь, ничем не манипулируя, они лишь глазами пробежали по таблице. Им хватило ума, чтобы сопоставить жизненные примеры, которые они уже получили.

Я думаю, что не один взрослый при изучении «экспериментальных наук» попросит у руководителя кусочки льда, стальной шарик и воду, чтобы убедиться!

Детям становится еще интереснее, когда они переходят к проблеме плотности льда, иначе говоря «замороженной воды», которая меньше, чем плотность воды. Достаточно просто сопоставить увеличение объема замерзшей воды и отношение масса—объем плотности. Когда делят массу (которая не меняется при замерзании) на больший объем, результат становится меньше.

Если случая с шариком и айсбергом недостаточно, чтобы пустить в ход поиск, который приведет к решению проблемы,

я могу в подходящий момент «вытащить из шляпы зайца». В качестве зайца показываю один сосуд с прозрачным спиртом, а другой — с водой, потом на глазах у учеников опускаю туда кусочки льда. Нет слов. Один тонет, другой — нет! Эффект обеспечен, а также — это очень важно — устранены препятствия разрешения проблемы. Итак, потонет предмет или нет, является проблемой соотношения плотности вещества и плотности жидкости, куда погружается предмет. Так преодолевается первый барьер в понимании проблемы «тонет или плавает?» Но существуют и другие параметры!

Я не даю детям времени на раздумье и подбрасываю им дискуссию о плавучести человеческого тела. Все констатируют, что нужно совсем немного, чтобы мы поплыли, например, растянуться на воде, то есть увеличить несущую поверхность, но даже и в вертикальном положении тело всплывает (если не верите, сходите завтра в бассейн). Ведь водолазы в автономных скафандрах не сумасшедшие, а они берут с собой свинец!

«Хватит споров, переходим к действию. Помните, плотность пластилина примерно  $1,5 \text{ г/см}^3$ ? Еще чуть-чуть, и он поплывет. Попробуйте добиться этого.»

Возня; формируются группы, все примеряются к работе. Техника различна, я хожу от группы к группе, наблюдая. Конечно же, повторяю вслух все замечания, которые слышу, «раскрываю» все опробованные способы. Это делается для того, чтобы предоставляя каждому возможность продвигаться вперед наугад, ускорить процесс изобретения, используя динамику всего класса.

Атмосфера оживленная. Посмеиваются то над одной, то над другой попыткой. Но попытки делает каждый, думая, наверное, что будет удачливее, чем остальные, сможет ловко положить на воду «тонкую лепешку» и она поплывет. Такова первая попытка воплощения идеи «большого несущего пространства». Но ничего не выходит! (Тем не менее, этого можно достичь, если смазать поверхность жиром и увеличить поверхностное натяжение.)

Пробуются маленькие кусочки. Однако хорошо известно, что дело не в объеме, а в плотности; ну ничего, мы пытаемся, может, чудеса существуют. Нет, чудеса так не происходят.

Ищется другое решение. Кто-то начинает приподнимать края лепешек. Еще не плавает, но в это уже верится. Ищется «порог»,

начиная с которого объект поплывет. В конце концов, я подхожу к ученику, который только что получил удовлетворительный результат с предметом, похожим на скорлупу ореха; спрашиваю у него, что он сделал. «Это корзина, мадам».

Пришла очередь удивляться мне. Ученики всегда будут меня удивлять. Вытаращив глаза, я отвечаю: «Да, или же это перевернутая каска». Очень быстро все ученики включаются в игру и принимаются перечислять все предметы, которые имеют такую форму: салатница, кожица половинки апельсина... все, почти все! Но все-таки есть один сжалившийся над «учителькой» ученик, очень рационально он говорит: «Ну, хватит, это корабль».

Иступленный восторг прошел. Без шуток, я думаю, что благодаря этому разнообразию они построили для себя понятие судна гораздо быстрее. В другом классе я спросила у учеников, построивших такой же предмет: «Ну-ка, почему он плавает?» Удивленно глядя на меня, ученик отвечает: «Потому что это корабль». — «Да, но почему же корабль плавает?» Ну и вопрос! Да потому что корабль для этого и сделан. Вот вам учительские вопросы!

Не смейтесь, взрослые тоже горазды считать, что достаточно дать предмету наименование и он воспримет характеристики предмета. Кстати о велосипеде. В группе взрослых стажеров задаю вопрос: «Почему система с педалями и шестеренками помогает ехать быстрее?» — «Так ведь это же велосипед!» Ну, да. Не только у учеников сохранились остатки магического сознания.

Итак, мы вернулись к предшествующей проблеме. Заставить пластилин плавать — это еще не все. Почему он плавает, хотя плотность предрасполагает его тонуть в воде? Теоретический вклад был сделан уединенной группой, не приготавливающей ни маленьких кусочков, ни лепешек, ни кораблей. Короче говоря, с виду они ничего не делали. Это были два мальчика, обычно не самые «активные», они смотрели на таз с водой и на пластилин. Но не прикасались к нему. Я проходила мимо них, не беспокоясь, т.к. знаю, что эксперименты могут делаться в уме: «Ну и какие у вас идеи?» Один из них спокойно мне отвечает: «Мы пытаемся добиться уменьшения плотности пластилина». Тогда я спросила у них, что они хотят сделать. «Мы ищем... ведь если приподнять края, то плотность не изменится, значит, это бесполезно». Я знаю,

все происходит у них в головах, они ни до чего не дотронутся, пока не решат проблему концептуально. Отхожу от их стола, но, удаляясь, говорю им просто: «Если вы не можете приподнять, вам нужно только добавить». Они тотчас все понимают, идут в лабораторию, приносят кусок пробки, кладут пластилин сверху. Задание выполнено. Теперь все работают над формулировкой их опыта. Конечно, первыми справляются эти два мальчика. У них в головах большой порядок.

«Чтобы пластилин плавал, к нему надо нечто добавить, что уменьшит плотность всей системы». И это те самые мальчики, которых классный совет квалифицировал как «непонятливых», которых следует ориентировать на ручную работу, потому что они ничего не понимают! Именно в такие моменты борьба, которую мы ведем постоянно, разгорается со всей силой. Да, они ничего не понимают, потому что «объяснять — значит мешать понимать». Моё поведение отнюдь не замысловатое. Все могут действовать так же, в любом возрасте. Просто нужно сорвать старую кожу, нужно иметь смелость думать и высказываться, даже когда ты один. Если вы по-прежнему остаетесь в одиночестве, необычное становится общепотребительным в классах Нового Обучения! Для нас чрезвычайно характерно восхищаться всякий раз; я была очень взволнована способностью этих двух всегда молчащих мальчиков к созданию концептов. Нужно быть абсолютно уверенным в своих убеждениях и методах, чтобы не поддаться назойливому лейтмотиву некоторых преподавателей-пораженцев.

Научимся давать время нашим ученикам. Сколько времени требуется нам самим, чтобы осуществить принятое решение или просто поверить, что мы способны сделать нечто! Так же обстоит дело и с детьми, которые подвергаются обучению нормативному, делающему детей послушными, инфантильными. В конце концов, такое обучение блокирует нейронную сеть, осуществляющую свободное размышление. Ибо силу выталкивания Архимеда понимаешь, не производя манипуляции с пластилином, а проводя умственные абстрактные операции над тем, что только что было проделано. Это не имеет ничего общего с даром! Речь здесь идет об обучении и образовании. Вот из-за этого я плохо сплю по ночам, когда дети не «поняли», не разрешили проблемной ситуации. Именно я, преподаватель-исследователь, должна первой найти и

понять адекватное действие, чтобы снять блокировку. В каком-то смысле я недостаточно стимулировала «хорошие» нервные сети, чтобы дети построили свои размышления.

Вернемся к кораблям и к формулировке (концепту) наших групп. Другие группы соотнесли воздух в корабле с его плавучестью, но формулировка двух мальчиков вела к общему пониманию феномена. В их фразе есть две фундаментальные вещи: если что-то не плавает, добавьте вещества (вот этот проклятый разрыв), все равно какого вещества. Нужно поработать над соотношением масса—объем всей системы; в корабле был прибавлен воздух: малая масса с большим объемом. Отсюда начинается поиск наименьшей высоты бортов. Так перед глазами детей раскрывается секрет огромных плавающих лайнеров. Для формулировки понятия силы выталкивания Архимеда все расставлено по местам. Теперь надо отойти в сторону от всех плавающих поделок и сформулировать, что же происходит с любым телом, погруженным в жидкость. Следует вывести общий закон вне частных случаев. Но они позволяют хорошо поработать с соотношением масса—объем, а на концептуальном уровне детям быстрее удастся разделить понятия «масса» и «плавучесть». (Хотя в дальнейшем некоторые ученики вновь увяжут массу с выталкивающей силой Архимеда.)

Последняя часть работы: надо понять, как жидкость, в которую производят погружение, воздействует на предмет. Сначала я ставлю перед учениками большой сосуд с прозрачной водой и раскладываю поблизости множество предметов. Ничего не будет происходить случайно, я подготовила материал заранее.

Произвожу погружение различных по форме, массе, материалу, объему предметов. Все тонут. Следовательно, на этот раз вода их не «несет»? Но присмотритесь... Один из предметов я подвешиваю к пружине, к которой приделана линейка, чтобы можно было измерить ее растяжение (если нет пружины, можно взять крепкую резинку или более совершенный инструмент, называемый динамометром, который используют как простую пружину). В воздухе растяжение сильнее, чем когда тело погружено в воду. «Значит, вода действует на тела?» Первое удивление проходит, и каждый начинает вспоминать свои собственные опыты, относящиеся к тому же феномену. Действительно, Пьеру удалось поднять Кристиана в бассейне, а на воздухе он этого сделать не может, и т.д.

Я прошу учеников объяснить этот феномен, благодаря которому в воде предметы становятся легче. Если дети хорошо выстроили понятие пропорциональных величин и плотности, то можно им сказать, что растяжение пружины пропорционально массам, которые подвешиваются к пружине. Дети говорят о «силе воды», что «она поддерживает предметы», «она мешает им падать»; но «все же предметы тонут, у нее не хватает силы, чтобы помешать им упасть».

Вы сомневаетесь в этом, но диалог проходит в возбуждении, которое трудно передать словами. Дети много жестикулируют, я тоже. Например, беру карандаш и роняю его. Он падает. «Кто виноват?» Классный хор: «Вы сами его уронили». — «А почему же он не держится в воздухе сам?» — «Так ведь это земное притяжение». Они начинают корчить рожицы, изображая тяжелый портфель, возвращаются к пружине, она растягивается, потому что предметы притягиваются землей: это вес тела. Может быть, не всем вам известно беспокойство учителей-естественников, которые должны употребить для учеников слово «масса», а не «вес»! (Масса — это количество материи, содержащейся в теле; вес — эта сила, сила земного притяжения). «Черт возьми, — говорит себе ученик, — когда мой портфель слишком тяжел, это потому, что я туда положил слишком много материи или потому, что притяжение слишком велико?» Короче, вот вам источники бессоницы.

С помощью жестов дети объясняют, что происходит борьба (объяснения всегда помечены антропоморфизмом даже у детей 12—13 лет) между весом предмета и силой воды. Я даю название этой силы — сила выталкивания Архимеда — и рассказываю кое-что из истории науки по поводу открытия Архимеда.

Не все узелки еще развязаны. На первый взгляд, эта сила имеет отношение к плавающим предметам. Но тогда от чего она зависит, если действует постоянно, но плавают не все тела? Каждому ученику индивидуально предлагается ответить на вопрос: «Как по-вашему, архимедова сила, действующая на предмет, постоянна? Если нет, то от чего она зависит?»

Какое-то мнение есть у всех. Это интересный объект для анализа. Неудачи не терпит никто, речь идет не о том — никогда, — чтобы дать верный ответ, а о том, чтобы объяснить, что ты думаешь. Любые точки зрения имеют право на существование в первое время. Потом можно поразмышлять, если не все согласны,

как убедить друг друга. Это важное обстоятельство в том классе, где проблема не ставится в противостоянии учитель—ученик. Если все ученики пришли к согласию по какому-то пункту, им не хочется его обосновывать и утверждать. Тогда преподаватель должен поменять стратегию и побудить детей начать переубеждать себя, якобы придерживающегося ложной идеи.

В этот день представляются различные теории, они могут быть разделены на 4 группы, затем можно разработать экспериментальные исследования:

- есть 2 силы: одна для плавающих тел, другая для тонущих;
- сила зависит от плотности предмета;
- сила зависит от массы;
- сила зависит от жидкости (некоторые знают, что в море плавается легче, чем в бассейне).

Первая группа состоит только из 2 учеников, которые очень быстро тестируют множество предметов и обнаруживают, что растяжение пружины не одинаково в воздухе и в воде. Времени у них достаточно, они берут плавающие предметы и констатируют, что растяжение пружины в воде равно нулю. (Конечно, они могли бы над этим подумать!) «Значит, вес тела полностью компенсируется архимедовой силой. Ну да, поэтому они и плавают». Вот вам и открытие, дети готовят свой плакат\*.

Группы 2 и 3 разделяются, так как они слишком многочисленны. У них есть перспективная работа. Они организуются.

Группа 4 хочет испытать две различные жидкости и один и тот же предмет. Я могу предложить им только воду и спирт. Предлагаю им сделать как можно более точные измерения. Знаю, что дифференциация будет очень трудной, но ведь у них такая хорошая идея! Не всегда эксперимент приносит истину, это зависит от оборудования. Галилею приписываются опыты, которые он абсолютно не мог осуществить. Например, все эти опыты по определению скорости падения или даже измерение регулярности колебания маятника... кварцевые часы не существовали, в качестве инструмента измерения времени Галилей имел только свой собственный

---

\* Все отчеты делаются в виде плакатов.



пульс!\* В самом деле, различие плотности воды и спирта невелико (соответственно  $1\text{ г/см}^3$  и  $0,89\text{ г/см}^3$ ), чтобы добиться разницы, имея небольшие предметы. (Если вы сами не знаете, от чего зависит архимедова сила, не торопитесь, вы найдете объяснение того, что может дать эксперимент на других предметах, чуть ниже.)

Вернемся к тем, кто проверяет, влияет ли плотность на архимедову силу. Помните, я приготовила материал? То есть в тот момент, когда группы попросят то, что им нужно, я достаю из своей «шляпы» предметы, которые поставят перед ними проблемы. «Нам нужны предметы из различных материалов». Я даю им различные предметы с отличающейся плотностью. Среди них есть предметы с одинаковым объемом, есть с разным объемом. Ни один из учеников не поставил проблему объема. А я, учитель, я знаю... Но, конечно, совершенно бесполезно говорить им, что они забыли об одном параметре, об объеме.

Значит, я должна найти способ задать им наводящие вопросы. Они же в настоящий момент заняты тем, что измеряют для каждого материала растяжение пружины в воздухе и в воде. Результаты ставят перед ними проблемы; они подзывают меня и приобщают к своему удивлению: «Вот для этих получается, а для этих — нет». Не сказав им ничего, я раздала 3 предмета различной плотности, массы и объема; выталкивающая сила, которую они измеряют, получается разной. У двух предметов с одинаковым объемом выталкивающая сила одинаковая.

Сначала я вменяюсь по поводу двух последних: «Смотрите-ка, что у них общего? Что может объяснить, почему на них действует одинаковая выталкивающая сила? И так, что же мы скажем в заключение о 3 первых предметах, которые вас устраивают, и о тех двух, которые доставляют вам неприятности? Может быть, эти 3 предмета испытывают разную выталкивающую силу, так как их плотность различна, масса у них не одинаковая, размер тоже разный».

Действительно, идея о том, «что в опыте следует одновременно изменять только один параметр, чтобы иметь возможность сделать

---

\* См.: A. Koyr . Etudes d'histoire de la pensee scientifique. — Gallimard, Paris, 1973.

заклучение», это совсем не то, о чем думают ученики в первую очередь. Вы думаете, что им об этом надо сказать заранее? Нет, вы, как и я, уже сказали им об этом незаметно, между прочим. Ну и ?..

Даю им время на размышление, а сама иду к другой команде. Она рассматривает проблему массы и сталкивается с такой же задачей, ибо я приготовила предметы одинаковой массы и различного объема и наоборот.

Группа № 2 (плотность) для очистки совести решает взять 2 разных предмета из одного материала. Их идея: выталкивающая сила должна быть одинаковой. Пропашее дело. Архимедова сила не зависит от плотности. Да, тогда от чего же? Ведь группа 3 сказала, что от массы она тоже не зависит: масса одинаковая, а архимедова сила разная!

Не беспокойтесь, всегда найдется ученик, который увидит, что каждый раз, когда на 2 предмета действует одинаковая выталкивающая сила, у них примерно одинаковый «размер». Уточняем: объем, потом проверяем. Затем можно показать на нескольких измерениях, что выталкивающая архимедова сила в данной жидкости пропорциональна погруженному объему. Вот почему в воде и в спирте, если бы у нас было много жидкости и достаточно большие объемы предметов, разница была бы более значительной.

Готово, узлы развязаны. Можно вернуться к плавающим телам под другим углом зрения. Например, можно рассмотреть судно, которое плавает, потому что к основному материалу прибавили некоторое количество воздуха. Но каждому известно, что судно не тонет, если его нагрузить: трюмы заполнены, и количество воздуха уменьшилось. Но чем больше корабль нагружен, тем больше он погружается в воду; вытесненный объем увеличивается, архимедова сила увеличивается и компенсирует перегрузку. Существует порог, который нельзя превосходить, иначе архимедова сила не сможет компенсировать вес груза. Этот порог можно рассчитать, так как известно, что архимедова сила равно весу воды, вытесненной погруженной частью корабля. Вытесняемый объем фиксирован, значит, все зависит от веса тела.

Вам кажется, что вы об этом уже читали? Да, мы представляем настоящий исследовательский коллектив, в котором идеи циркулируют от одного к другому, и мы уже не знаем, в чьей голове родилась та или иная мысль...