

## ПОТОК СОЗНАНИЯ В РУСЛЕ ЗАКОНА КВАДРАТА-КУБА

*В конце концов, это просто красиво...  
Из научной дискуссии.*

Мне снился страшный сон о том, как я в небесном ведомстве производил измерения на специальных облачных весах. Действительно ли, что «пар – это вода, которая легче воздуха». Но равновесие нарушилось, чаша накренилась, и облако соскользнуло вниз, прямо на меня. Последняя мысль-сожаление: «Не успел узнать результат». Затем темнота, «шлёп» и мокрое место. Я проснулся.

К чему бы это?..

«Ммм-да...»

*Дожди – вода...*

*А, как на море я хотела...*

*Круговорот воды... – оно само к нам прилетело...», – поведала знакомая.*

Специалисты «облачных наук» подсчитали, что кучевое, кудрявое облако, радующее нас в хорошую погоду, объёмом всего лишь в один кубический километр, содержит 500 000 000 грамм воды, т.е. имеет массу 500 тонн, что соответствует 100 индийским слонам, или 2500 ослам, или 11 танкам Т-90. Впечатляет!

Я представляю у себя над головой ворчливую грозовую тучу: «Сколько же в этой черноте капель воды и кристаллов льда... А ведь они существенно тяжелее воздуха...» Зажмуриваюсь от страха. Через какое-то время приоткрываю один глаз – туча висит на прежнем месте. Принимаю это как факт, смелею, открываю второй глаз и задумываюсь: «Почему такая тяжесть и не падает?» Товарищ, закончивший Метеорологический ВУЗ, заинтриговал: «Не падает, потому что облако – это процесс». Захотелось разобраться.

Для начала провожу среди знакомых школьников опрос и по его результатам составляю весёлый тест. (Присоединяйтесь!)

Вопрос: Почему облака не падают на землю?

Варианты ответов:

- a) потому что они лёгкие;
- b) на них не действует сила тяжести;
- c) их поддерживают восходящие потоки воздуха;
- d) они соединены друг с другом.

Как-то за школьной партой я решал задачу об Останкинской телебашне в Москве, высотой 540м и массой 55000т. Необходимо было определить массу её копии высотой в 54см. Тогда я «взял» кубик со стороной 1м и решил его увеличить в  $n$  раз. Для начала в два раза. Для этого потребовалось 8 кубиков. Мысленный эксперимент позволил открыть закономерность: первоначально кубик имел площадь поверхности  $6\text{м}^2$  и объём  $1\text{м}^3$ , а после увеличения –  $24\text{м}^2$  и  $8\text{м}^3$ . При этом площадь поверхности возросла в 4 (или  $2^2$ ) раза, а объём – в 8 (или  $2^3$ ) раз. Можно было бы воскликнуть «Эврика», но ещё в XVII веке это сделал Галилео Галилей<sup>1</sup>. С тех пор закон квадрата-куба гласит: «*Когда объект подвергается пропорциональному увеличению размеров (в  $n$  раз), его новый объём будет пропорционален кубу множителя ( $n^3$ ), а новая площадь его поверхности пропорциональна квадрату множителя ( $n^2$ )*». И это справедливо не только для кубиков, а для тел произвольной формы! В том числе и для останкинской башни...<sup>2</sup>

Мои воспоминания прерывают раскаты грома, а по макушке стучают вопросом первые капли: «Почему крупные дождевики падают быстрее, чем мелкие?»

В полёте на них действуют две силы: постоянная сила тяжести, ускоряющая движение капли вниз, и сила сопротивления воздуха, замедляющая движение. Сила сопро-

<sup>1</sup> В книге «Беседы и математические доказательства двух новых наук».

<sup>2</sup> Если размер копии в 1000 раз меньше оригинала, то её объём (и масса) меньше в  $1000^3$  раз.

тивления зависит от скорости и растёт до тех пор, пока не станет равной силе тяжести. Дальше изменение скорости прекращается, и капля падает равномерно с набранной до этого скоростью.

Я изображаю каплю, векторы сил и скорости.

Сила тяжести пропорциональна объёму, т. е. третьей степени радиуса<sup>3</sup>, а сила сопротивления – площади сечения капли, т. е. квадрату радиуса<sup>4</sup>.

Рядом с маленькой каплей я рисую большую, и приходит понимание: при увеличении радиуса капли сила тяжести увеличивается быстрее, чем сила сопротивления воздуха, а значит и та постоянная скорость, с которой капля падает на землю, растёт по мере увеличения размеров капли.

Известно, что сами облака состоят из мельчайших капель, поэтому скорость их падения ничтожна<sup>5</sup>. Такие капли находятся почти во взвешенном состоянии. Облака падают, но очень медленно!

Я комкаю кусочек бумаги, представляю его каплей и дую на него снизу вверх. Бумажный шарик в восходящем потоке падает. Расправляю его (превращаю в парашют той же массы) – и он взлетает. Напрашивается вывод: результат зависит от... Но могут ли такие струи возникать сами собой, без постороннего вмешательства? Они существуют – это восходящие потоки воздуха, поднимающиеся от нагретой поверхности земли. Благодаря им орлы и другие парящие птицы держатся в воздухе, не махая крыльями.

*«Кавказ подо мною. Один в вышине*

*Стою над снегами у края стремнины:*

*Орел, с отдаленной поднявшись вершины,*

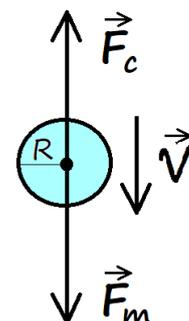
*Парит неподвижно со мной наравне»<sup>6</sup>.*

Выхожу на балкон своего дома, чтобы полюбоваться: «Облака парят, поскольку капельки воды, образующие их, удерживаются восходящими потоками воздуха! И это происходит благодаря определённому соотношению площади поверхности капель к их объёму».

Вижу, как в доме, напротив, с подоконника открытого окна на землю шлёпается соседская кошка. Мявкает и убегает домой... Думаете, что дело в её девяти жизнях или падении на лапы? Более крупный объект точно сломал бы себе ноги или погиб от перегрузки.

Я понимаю причины удачного падения и завидую муравью, способному безопасно десантироваться хоть с Останкинской башни.

От квадратно-кубических мыслей меня пытается отвлечь назойливая муха. Отмахиваюсь от неё и вспоминаю верное средство, вычитанное в одной из книг<sup>7</sup>. В стародавние времена булочники, которых досаждали мухи, брали пригоршню муки, бросали в воздух и поджигали. Облако муки вспыхивало. Пламя, хлопок – и докучливых насекомых как не бывало. Правда, иной раз от таких хлопков вылетали стёкла, а случа-



<sup>3</sup>  $F_t = mg = \rho Vg$ . Для сферической капли:  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ .  $\Rightarrow F_t \sim R^3$ .

<sup>4</sup>  $F_c \sim S$ .  $S = \pi R^2 \Rightarrow F_c \sim R^2$ .

<sup>5</sup> Так, скорость падения капель воды с малым радиусом (до 10 микрон) составляет всего лишь 1 см/с.

<sup>6</sup> Из стихотворения А.С. Пушкина «Кавказ».

<sup>7</sup> С. Фаер «Полцарства за идею!»

лось, что и пекарня разрушалась.

А ведь нечто подобное демонстрируется на некоторых научных шоу. Сначала ложку порошка (например, сухого молока) вносят в пламя и добиваются лишь его обугливания. Затем несколько ложек смеси засыпают в воронку и с силой выдувают её на небольшое пламя. При этом облако пыли эффектно вспыхивает. Встречается такое и в цирке – иллюзионист распыляет ртом керосин, который потом чудесным образом воспламеняется. И я, помнится, не удержался, опробовал, но вкус керосина не понравился.

Каким же образом облако пыли или капелек становится причиной огненной вспышки?

Обращаюсь к закону квадрата-куба. Очень важным показателем при горении любого топлива является количество кислорода (воздуха), приходящегося на единицу его массы. Поскольку отношение площади поверхности к объёму у распылённого вещества много больше, чем у того же вещества, сжатого в комок, искра или вспышка мгновенно нагревают отдельные частицы его до температуры воспламенения, а избыток воздуха способствует тому, что сгорание происходит быстро, подобно взрыву.

Для некоторых промышленных предприятий, где воздух сильно запылён, опасность взрыва пыли весьма серьёзна и требует принятия защитных мер.

30 июня 1908 года в районе реки Подкаменная Тунгуска случилось событие, известное как «Тунгусский феномен». Над территорией бассейна реки Енисей пронёсся большой огненный шар. Его полёт закончился мощным взрывом на высоте около 7 километров, который зафиксировали обсерватории всего мира. Ударная волна дважды обогнула земной шар. По современным оценкам, мощность взрыва достигала 50 мегатонн, что сравнимо со взрывом самой мощной водородной бомбы. Стёкла в домах вылетали в нескольких сотнях километров от эпицентра взрыва. Существуют десятки гипотез, объясняющих причину феномена, но есть одна – шуточная, от которой я просто в восторге. Один из участников экспедиции в район Подкаменной Тунгуски<sup>8</sup>, будучи искусанный гнусом предположил, что в тот знаменательный день на месте происшествия собралась туча комаров объёмом не менее пяти кубических километров, вследствие чего произошёл объёмный тепловой взрыв, повлёкший за собой вывал леса.

Военно-промышленный комплекс не мог не взять такую идею на вооружение. Была создана «вакуумная бомба» – самый мощный в мире неядерный авиационный боеприпас.

Вакуумная бомба представляет собой герметичный контейнер, в который под большим давлением закачивается жидкий вакуум. По достижении расчётной точки происходит разрушение контейнера, сжиженный вакуум выбрасывается в атмосферу и начинает интенсивно испаряться. При этом температура опускается на десятки градусов ниже нуля по Кельвину, давление меняет свой знак с плюса на минус, и вакуум начинает всасывать окружающую действительность. Никакой нормальный человек такого зрелища выдержать не может и, согласно высказыванию бравого солдата Швейка, «от удивления помирает раньше, чем ему это успевают разъяснить». Противогазы не спасают. Даже изолирующие!

На самом деле, никакая бомба не «вакуумная», а объёмно-детонирующая<sup>9</sup>. Взрывчатое вещество перед воспламенением распыляется в облако. Некорректный термин



<sup>8</sup> Томский биофизик Г. Плеханов в 1961 году.

<sup>9</sup> В начале 2000-ых годов американцы работали над программой, которая получила официальное обозначение Massive Ordnance Air Blast («Тяжелый боеприпас воздушного подрыва») или сокращенно MOAB. В связи

«вакуумная» возник из-за кратковременного (сотые доли секунды) «выгорания» кислорода. В действительности падение давления не превышает 0,5 атмосфер, что безопасно для человека. Образовавшаяся зона разрежения мгновенно заполняется продуктами горения. А поражающим фактором является никакое не «всасывание вакуумом», а ударная волна.

Как-то раз, занимаясь на кухне кулинарным творчеством, я допустил ошибку. Повезло, что она не закончилась трагедией. У меня на сковороде тогда загорелось кипящее растительное масло. Что делать? Единственно правильный способ – задуть пламя – накрыть посуду крышкой и прекратить доступ кислорода. Но физику я тогда ещё не изучал. Поддался естественному желанию и подставил полыхающую сковороду под струю воды из крана... Хорошо, что хорошо кончается.



Повзрослев, я повторил подобный эксперимент в познавательных целях, максимально себя обезопасив. Котелок с разогретым маслом стоял на костре. Масло горело только на поверхности, потому что только там оно контактировало с кислородом. Я потянул за верёвочку и ковшик воды, закреплённый над котелком, опрокинулся. Образовался огромный столб огня. На этот раз причина огненной феерии была мне понятна. Температура кипения масла больше температуры кипения воды, поэтому, когда вода попадает в кипящее масло, она моментально превращается в пар. Взрывообразно. Часть воды, проникшая под слой масла, «паровой пружинкой» выталкивается его вверх. При этом масло разбрызгивается в облако мелких капель, и площадь горения резко увеличивается...

В школе мне очень нравились уроки химии, на которых учитель показывал опыты. Однажды он опустил в колбу с кислородом раскалённую железную проволоку, и она сгорела там, рассыпавшись на искры. Запоминающийся фейерверк! Необходимое для горения соотношение кислорода к массе металла, достигалось увеличением в ёмкости концентрации газа-окислителя. А ведь можно поступить иначе – воспользоваться обычным воздухом<sup>10</sup>, но при этом, согласно закону квадрата-куба, увеличить площадь поверхности сгораемого вещества по отношению к его массе...



Сказано – сделано. Я покупаю на строительном рынке «железную вату», которая представляет собой «мочалку» из тончайших стальных нитей и используется в качестве наждачной бумаги для полировки различных поверхностей. Выбираю самую мелкую<sup>11</sup>. Подношу к ней магнит – притягивается, распушаю её и кладу в миску. Прикасаюсь к вате девятивольтовой батареей «Крона» и



*с ожидаемой высокой мощностью взрыва некие острологи стали расшифровывать аббревиатуру как Mother Of All Bombs («Мать всех бомб»). Такое имя прижилось и вскоре стало неофициальным прозвищем проекта. Боеприпас был принят на вооружение и впервые применён в 2017г во время войны в Афганистане. Но за десять лет до этого почётное звание самой мощной авиабомбы перешло к российскому изделию, которое тут же окрестили «Папой всех бомб».*

<sup>10</sup> Содержание кислорода в воздухе составляет около 20%.

<sup>11</sup> №0000.

создаю короткое замыкание. Электроны устремляются по стальной нити, замыкающей контакты источника тока, нагревая проволоку приблизительно до 700 градусов. Кислорода на единицу массы в достатке и начинается горение! Эффект принимает размах лавинного, захватывая всё новые и новые площади мочалки, пока не заканчивается чистое железо для окисления. Это напоминает масштабные взрывы, только в миниатюре.

После огненных феерий ощущаю прохладу и кутаюсь в плед. В тепле приходят иные образы: «На морозе стоят взрослый человек и ребёнок, оба одеты одинаково. Кому из них холоднее?» Иду на кухню и наполняю кипятком одинаковых форм и материала чашки: большую и малую. Интересно, какая быстрее остынет? Поверхность теплообмена возрастает пропорционально квадрату размера, а объём, содержащий или генерирующий теплоту – пропорционально кубу. Следовательно, теплопотери в расчёте на единицу объёма объекта уменьшаются при увеличении его размеров и, наоборот, увеличиваются при уменьшении размеров. Не по этой ли причине пальцы рук или нос зябнут сильнее и отмораживаются чаще, чем другие части тела, поверхность которых не столь велика по сравнению с их объёмом? Мне остаётся только подождать подтверждения теории кухонным опытом и многозначительно заметить: «нет холодной погоды, есть лишь недостаточно одетые люди!»

Когда-то в детстве, меня мучил вопрос: «Зачем слону такие большие уши?» Оказалось, помимо основной функции – ради терморегуляции. Не уши, а идеальные радиаторы малой массы и большой площади (до шести квадратных метров). В жару он ими усиленно хлопает и кровь, протекающая по огромному числу капилляров, расположенных в слоновьих ушах, охлаждается.

Газеты как-то сообщили<sup>12</sup>, что на берегу океана рыбаки обнаружили варёного мёртвого кита. Вся мускулатура его и все внутренности были сварены! Как это объяснить? С другими животными таких случаев никогда не наблюдалось. Оказывается, всё дело в огромной массе кита и малом отношении поверхности его тела к объёму. После гибели кита, бактерии внутри его тела начинают свою работу. Разложение внутренних тканей сопровождается выделением тепла. Это тепло не успевает отводиться из тела кита, как это происходит при разложении мелких животных, которые при таких процессах быстро высыхают, а кит «варится».

Задумавшись, я шёл по улице и неожиданно столкнулся с большим зубом. Белым, коренным и весьма общительным. Я вежливо извинился, а ростовая кукла в ответ прорекламировала мне, открывшуюся неподалёку, клинику стоматологии. Я тогда прикинул, какого же роста должен быть человек, от которого ушёл такой зуб. И возможны ли в принципе люди-великаны и другие гигантские существа, созданные (не важно, как именно) путём лишь масштабирования<sup>13</sup> по образу и подобию мелких прототипов?..

Чем больше размеры живого организма, тем меньше его относительная сила<sup>14</sup>, ведь сила зависит от поперечника мышц и увеличивается пропорционально квадрату коэффициента масштабирования, в то время как его масса увеличивается пропорционально кубу того же коэффициента. Иными словами – сила растёт в квадрате, масса – в кубе.

По этой причине насекомые могут поднимать вес, значительно превышающий свой собственный. Гигантские насекомые, пауки и другие животные, показываемые в фильмах ужа-



<sup>12</sup> С. Фаер «Полцарства за идею!»

<sup>13</sup> С сохранением плотности материала.

<sup>14</sup> Относительная сила – величина силы, приходящаяся на 1кг массы спортсмена. Этот показатель применяется в основном для того, чтобы объективно сравнить силовую подготовленность различных спортсменов.

сов, нереальны, поскольку их мышцы не смогли бы поддерживать такие крупные тела, что привело бы к их удушью<sup>15</sup> и разрушению<sup>16</sup>. Исключением являются гигантские водные животные (киты), которых поддерживает вода. Но стоит им попасть на сушу, как они гибнут, раздавленные собственной тушей.

Теперь в спортзале я не буду расстраиваться из-за того, что атлет легчайшего веса поднял штангу относительно большего веса по сравнению со мной-тяжеловесом. Мускулистый гигант ростом под два метра никогда не подтянется на перекладине больше раз, чем полуметровый крепыш, а гимнасты – победители никогда не будут высокого роста. Буду относиться к этому с пониманием, ведь это – биомеханика!

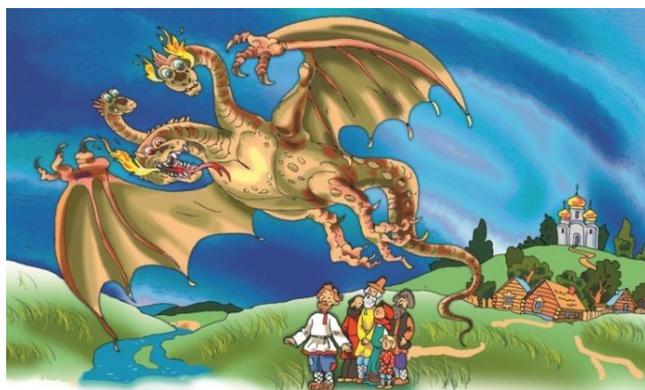
Натыкаюсь на закон повсюду, даже на страницах детских сказок.

Змей Горыныч, извини! С малых лет знаком с тобою, но сейчас не могу не заметить: не способен ты в реальных условиях порхать подобно летучей мыши<sup>17</sup>.

*«Змей Горыныч полетел –  
Самолёт догнать хотел...  
Только сил не рассчитал –  
Звуковой барьер не взял»<sup>18</sup>.*

Любому конструктору известно правило: чтобы создать самолёт в известное число раз большей грузоподъёмности, бессмысленно во столько же раз увеличивать его размеры... Укрупнение летающего объекта приводит к возрастанию нагрузки на его крылья<sup>19</sup> и, чтобы обеспечить должную подъёмную силу, необходимо быстрее ими махать. А сделать подобное, Горынычу не дано, ведь при имеющихся габаритах его относительная сила становится весьма незначительной. Согласно законам аэродинамики, бедолага даже не смог бы оторваться от земли. Но, к счастью, сказочный персонаж об этом не знает и продолжает летать по книжным страницам.

А что творится в реальном мире? Самая тяжёлая летающая птица нашего времени – восточноафриканская дрофа (18кг) и полёт даётся ей с большим трудом. Археологи выяснили, что давным-давно на Земле жили крылатые рептилии – птерозавры, их размеры были сопоставимы с иным самолётом, а вес – как у среднего человека (но, несомненно, меньше, чем у Змея Горыныча). Примерно 65 миллионов лет тому назад летающие рептилии вымерли, а загадка «Как они умудрялись летать?!» осталась. Вот и спорят современ-



<sup>15</sup> Работа дыхательной системы насекомых зависит от величины поверхности тела. При увеличении объёма тела площадь его поверхности не сможет обеспечивать дыхание.

<sup>16</sup> Увеличение размеров тела приводит к пропорциональному росту его давления на опору и механического напряжения во всех частях организма.

<sup>17</sup> Самое крупное рукокрылое – летучая мышь, обитающая в Индонезии, достигает размеров 40см при размахе крыльев в 2м. Её масса не превышает 900г.

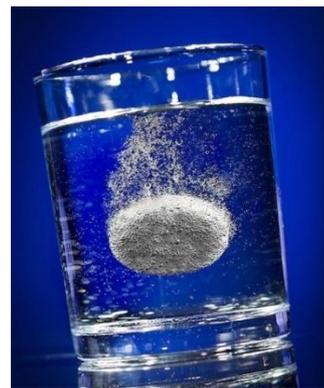
<sup>18</sup> Автор частушки С. Слесарев.

<sup>19</sup> Вследствие изменения отношения «площадь-масса».

ные учёные: может быть, «были они теплокровными?<sup>20</sup>», «не взлетали, махая крыльями, а парили<sup>21</sup>, прыгая со скал и холмов?», «имели малую удельную массу» или «содержание кислорода (топлива для организма) в воздухе было в то время другим?»...

От экскурса в историю меня прямо-таки начинает лихорадить. Беру быстрорастворимую таблетку аспирина «Упса» и бросаю в стакан с водой. На её поверхности активно образуются пузырьки газа. И хоть они тянут таблетку вверх, та продолжительное время, словно в раздумье лежит на дне и величественно всплывает лишь под конец этой истории.

Обилие проявлений описанного закона поражает, а понимание красоты завораживает!



01.11.18

---

<sup>20</sup> Полёт требует больших затрат энергии, которую могут обеспечить только теплокровные организмы. Именно поэтому среди холоднокровных летают только насекомые, среди которых в настоящее время самым крупным является жук голиаф (115г).

<sup>21</sup> Как это делают дельтапланы.