

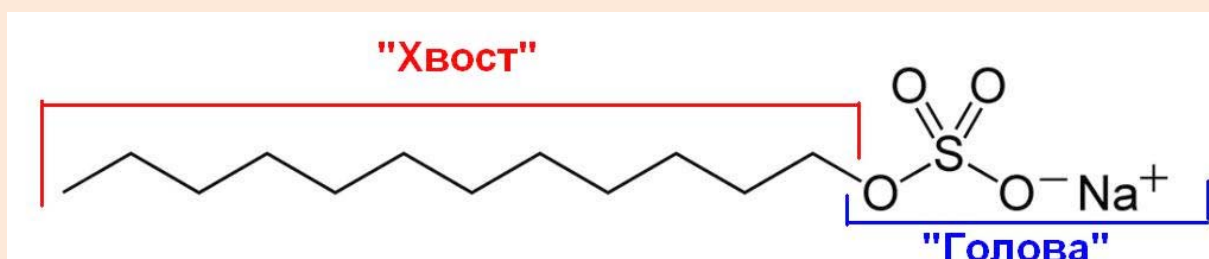
Большие мыльные пузыри

В.Н. Витер

Вступление

Многие в детстве увлекались мыльными пузырями, но не каждому приходил в голову вопрос: «Что такое мыльный пузырь?». Мы не будем особо углубляться в теорию, но перед тем, как приступить к экспериментам, ответить на этот вопрос необходимо – хотя бы в общих чертах.

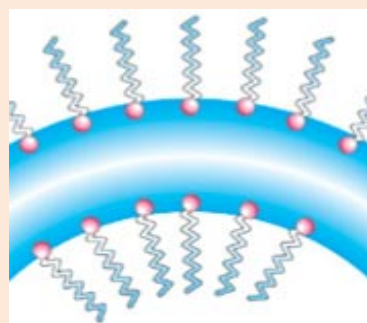
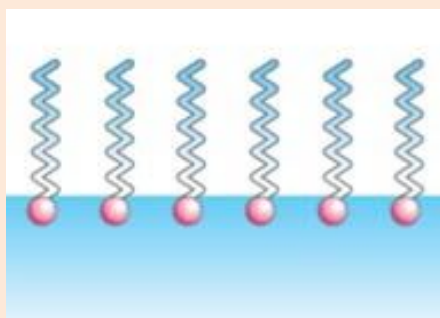
Каждый знает, что мыльный пузырь – заполненный газом шар, стенки которого образованы тонкой пленкой из воды. Вернее, не совсем из воды: чтобы образовывалась устойчивая пена или пузыри в воду необходимо добавить мыло (или другое поверхностно-активное вещество - ПАВ). Молекулы поверхностно-активных веществ состоят из двух частей: «голова» и «хвоста». «Голова» молекулы гидрофильная («любящая воду»), «хвост» – гидрофобный («ненавидящий воду»). Роль «голова» в молекуле ПАВ играют различные полярные группы (часто способные к электролитической диссоциации), например, $-\text{COONa}$, $-\text{SO}_3\text{Na}$, $(-\text{NR}_3)^+$ и другие. Такие группы хорошо притягивают молекулы воды. «Хвост» молекулы обычно состоит из длинных углеводородных радикалов. Углеводородные радикалы плохо взаимодействуют с молекулами воды.



Молекула лаурилсульфата натрия

Гидрофильный конец молекулы притягивается к воде, гидрофобный «хвост» – отталкивается и стремится покинуть слой воды. В результате часть молекул ПАВ выстраивается на поверхности воды, при этом «голова» молекулы находится в воде, а

«хвост» – в воздухе. Образуется пленка из молекул поверхностно-активного вещества. Если мы имеем дело не с раствором, налитым в стакан, а с мыльным пузырем, то таких пленок будет две: внутри пузыря и снаружи.



Слой молекул ПАВ (например, мыла) на поверхности воды
(слева – вода в сосуде, справа – мыльный пузырь)

В мыльном пузыре тонкий слой воды оказывается заключенным между двумя пленками из молекул поверхностно-активного вещества. Эти пленки стабилизируют мыльный пузырь.

Во-первых, пленки молекул ПАВ уменьшают испарение. Испарение воды – коварный враг мыльных пузырей. Во-вторых, ПАВ уменьшают поверхностное натяжение воды, но когда пленка из молекул ПАВ растягивается (во время выдувания мыльного пузыря), концентрация молекул ПАВ на поверхности уменьшается, и поверхностное натяжение снова растет. Таким образом, пузырь сам «залечивает раны» не давая слабым участкам растягиваться дальше.

Итак, чтобы получить устойчивые мыльные пузыри к воде необходимо добавить достаточное количество ПАВ. Чем больше поверхностно-активных веществ, тем лучше? Это не совсем так. Возьмем жидкое мыло. Нетрудно убедиться, что если добавлять к воде все больше мыла, то способность раствора к образованию пены сначала улучшается, потом достигает максимума, а затем ухудшается. Другими словами, концентрация ПАВ должна быть оптимальной: не слишком низкой и не слишком высокой.

В качестве ПАВ лучше использовать какое-то жидкое моющее средство. Для увеличения вязкости (и уменьшения испарения) в раствор полезно добавить глицерин. В экспериментах желательно использовать дистиллированную воду (вода должна быть мягкой, наличие солей жесткости мешает). Если вы хотите выдуть большой мыльный пузырь, рамка с мыльной пленкой также должна быть большой. Приступим.

Большие мыльные пузыри: первые опыты

В один прекрасный день мне удалось выдуть несколько мыльных пузырей размером около 40 см. Произошло это абсолютно случайно.

С утра занимался монтажом видео, написанием статьи и версткой веб-страниц. После обеда почувствовал, что работа дальше идет туго и решил попробовать какой-то эксперимент. Подумав, вспомнил о мыльных пузырях, заполненных водородом.

Но перед тем как приступить к получению водорода, необходимо попробовать выдуть несколько мыльных пузырей с воздухом: обидно будет, если реакция получения водорода пойдет, а выдуть стабильные мыльные пузыри не получится. В срезанной пластиковой бутылке у меня осталось немного жидкого моющего средства для посуды «Gala», которое почти полностью высохло. Добавил к нему немного воды, получилась густая жидкость. Взял стеклянную воронку диаметром 5.5 см, аккуратно погрузил ее в раствор. Внутри воронки образовалась мыльная пленка. Аккуратно подул в воронку.

Образовался мыльный пузырь диаметром примерно 25 см. Можно было бы и больше, но по неожиданности я слегка махнул рукой, пузырь оторвался и медленно опустился на пол. Со второй попытки выдул мыльный пузырь более 35 см. Держа воронку с пузырем в руках, пошел к фотоаппарату, но история повторилась: от неосторожного движения кистью пузырь отделился, коснулся стола и лопнул.

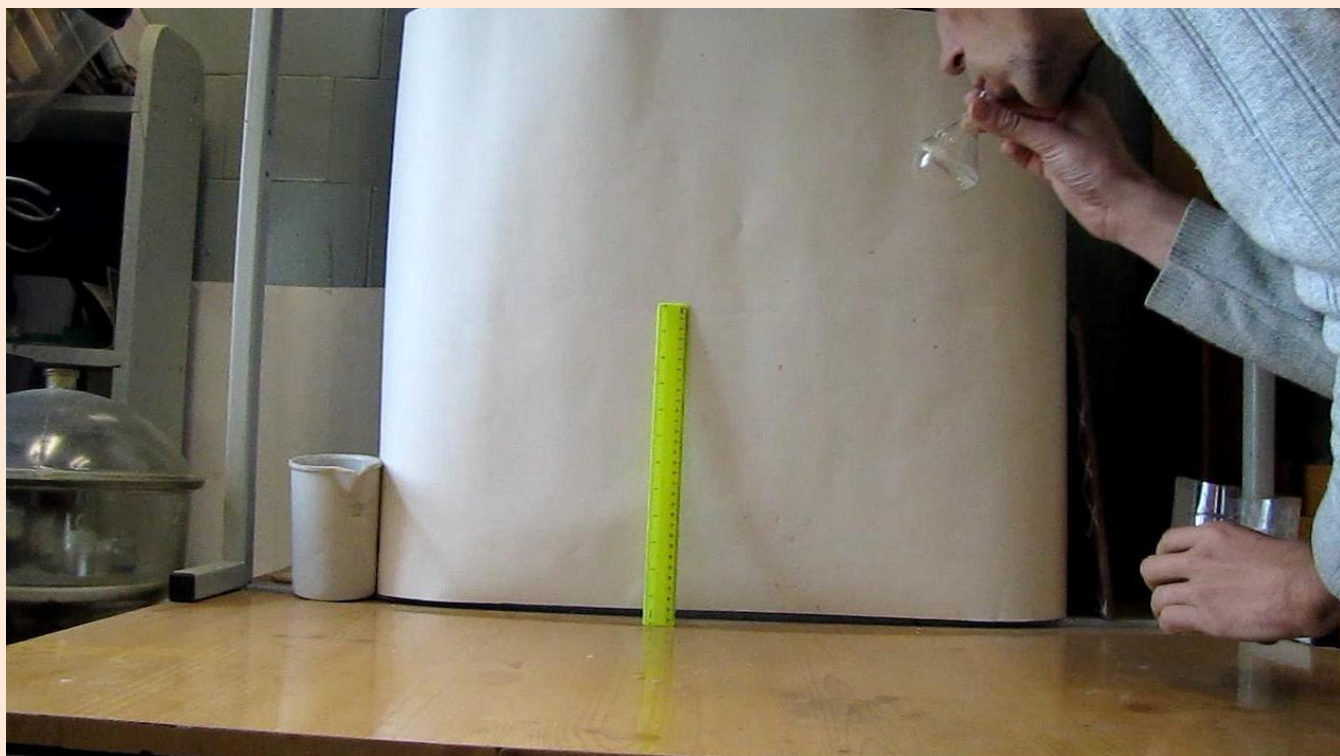
После этого взял воронку побольше (диаметром 7.5 см) и начал целенаправленные эксперименты. На внутреннюю поверхность воронки наливал немного раствора, потом опускал воронку в раствор, чтобы получилась мыльная пленка. В результате без особых усилий удавалось выдуть мыльные пузыри диаметром 35-40 см.

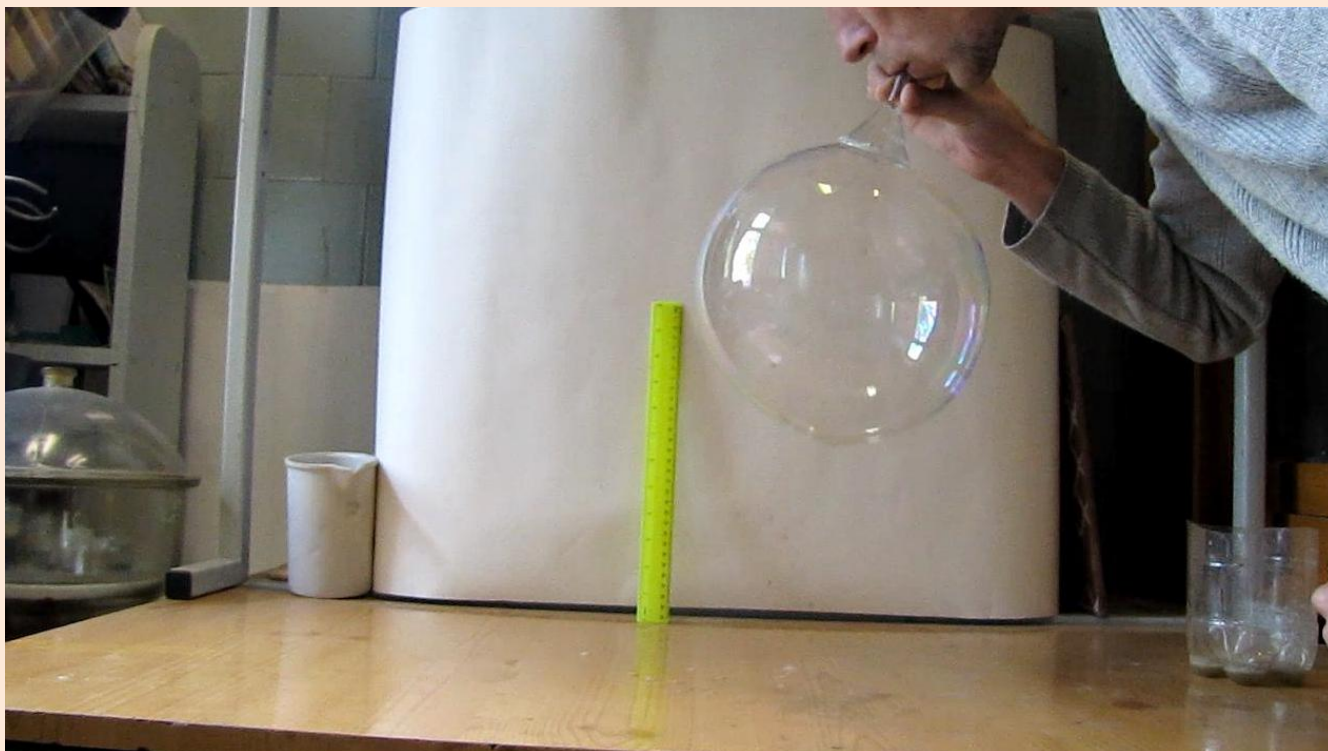
Несколько особенностей техники: надуть большой мыльный пузырь – дело не совсем легкое, тем более что желательно дуть равномерно. Я набирал воздух носом, чтобы не отрывать рот от носика воронки.

Маленькие и средние пузыри стремятся опуститься вниз: какой легкой не была бы пленка жидкости, но на нее тоже действует сила притяжения. Поэтому, я вначале наклонял воронку чуть вниз, благодаря чему из внутренней поверхности воронки мыльный раствор стекал внутрь пузыря, подпитывая его стенки. Но когда пузырь стал большим, он стремился подняться вверх. Если держать воронку наклоненной вниз, возникнут механические напряжения, от которых пузырь лопнет. Поэтому я постепенно поднимал воронку до горизонтального положения, а потом наклонял ее вверх (постепенно переводя воронку в вертикальное положение, чтобы пузырь был сверху). Таким образом удалось выдуть пузырь диаметром сантиметров пятьдесят, который

улетел вверх, словно шарик с водородом. К сожалению, это пузырь не смог полностью вместиться в кадр.

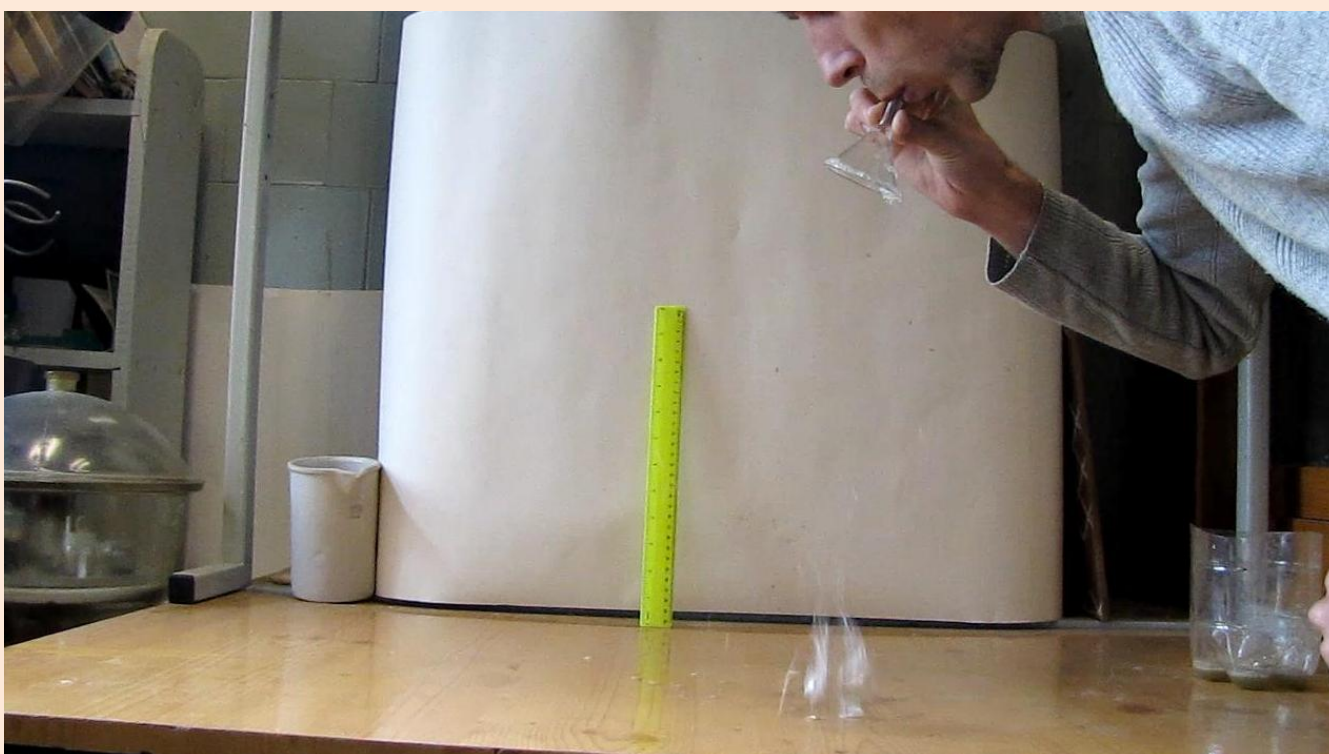
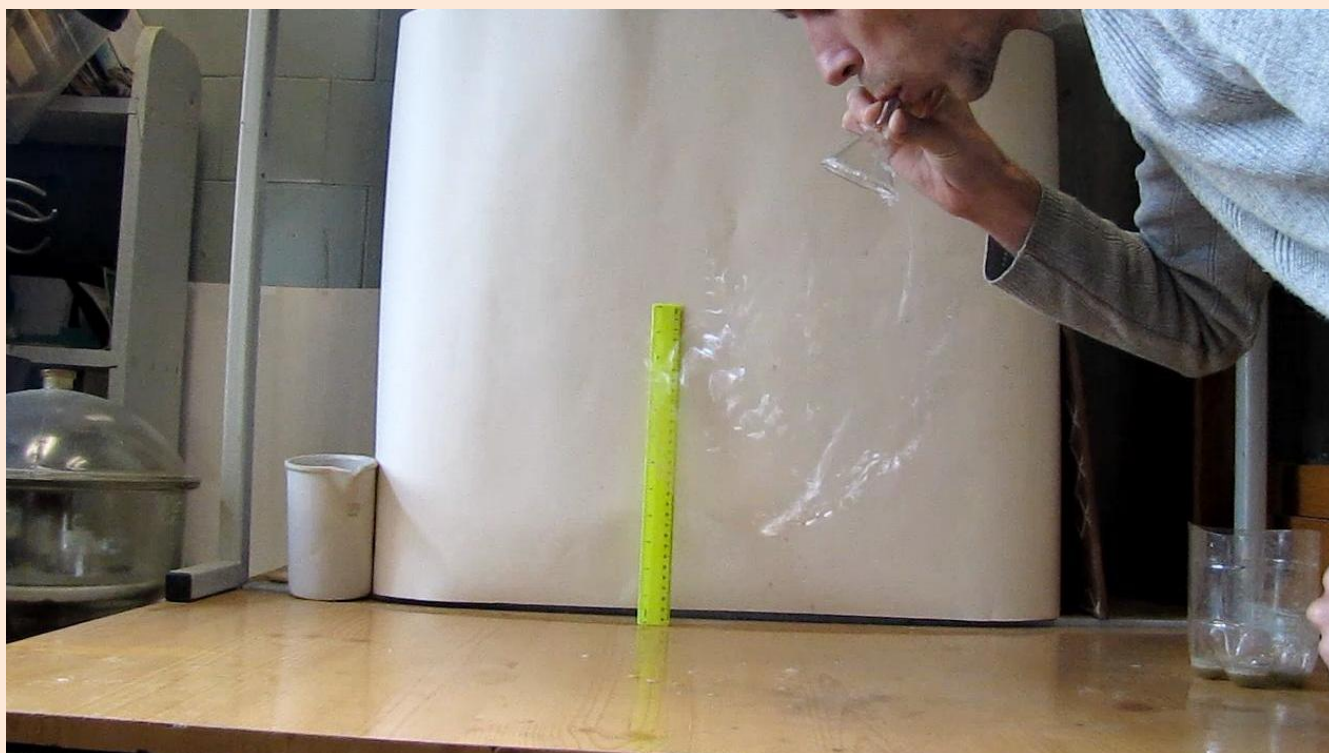
Почему большие пузыри поднимались вверх? Температура в лаборатории была примерно 12-14°C, поэтому выдыхаемый воздух был достаточно теплым, чтобы архимедова сила превысила вес мыльной пленки.

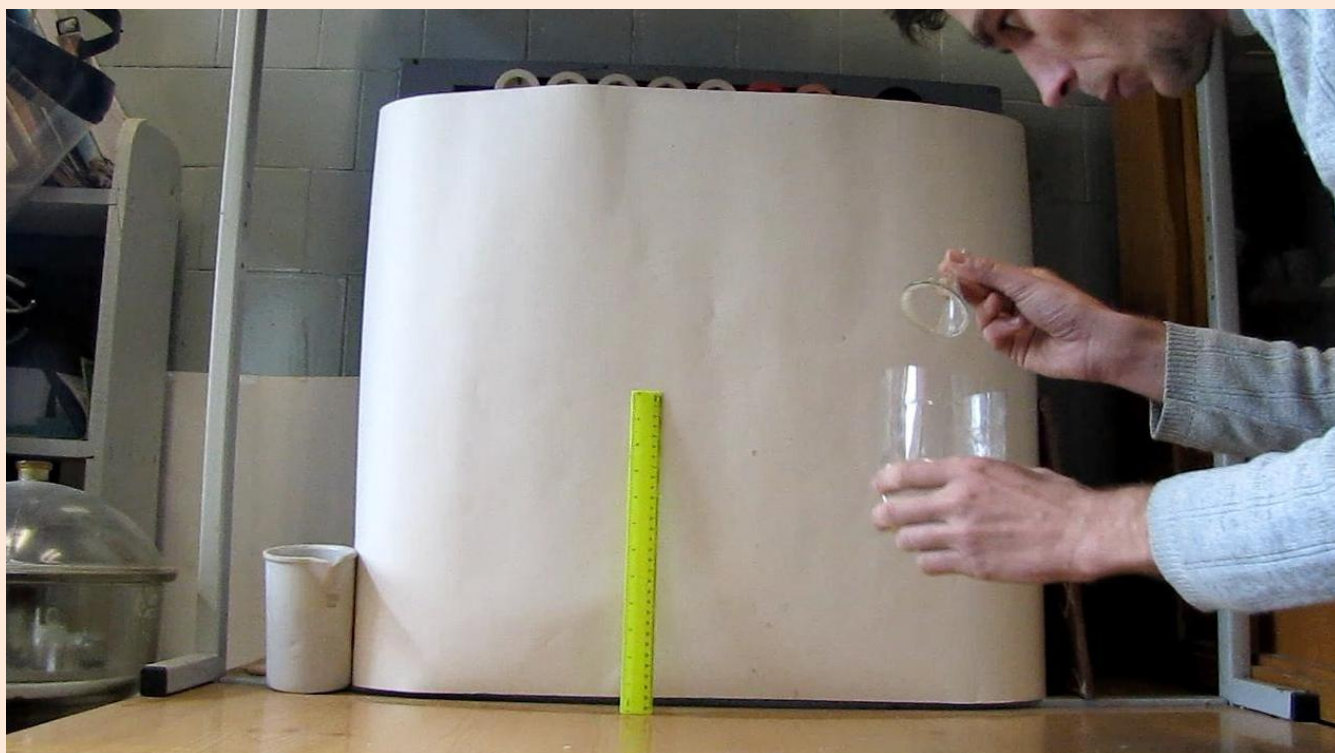




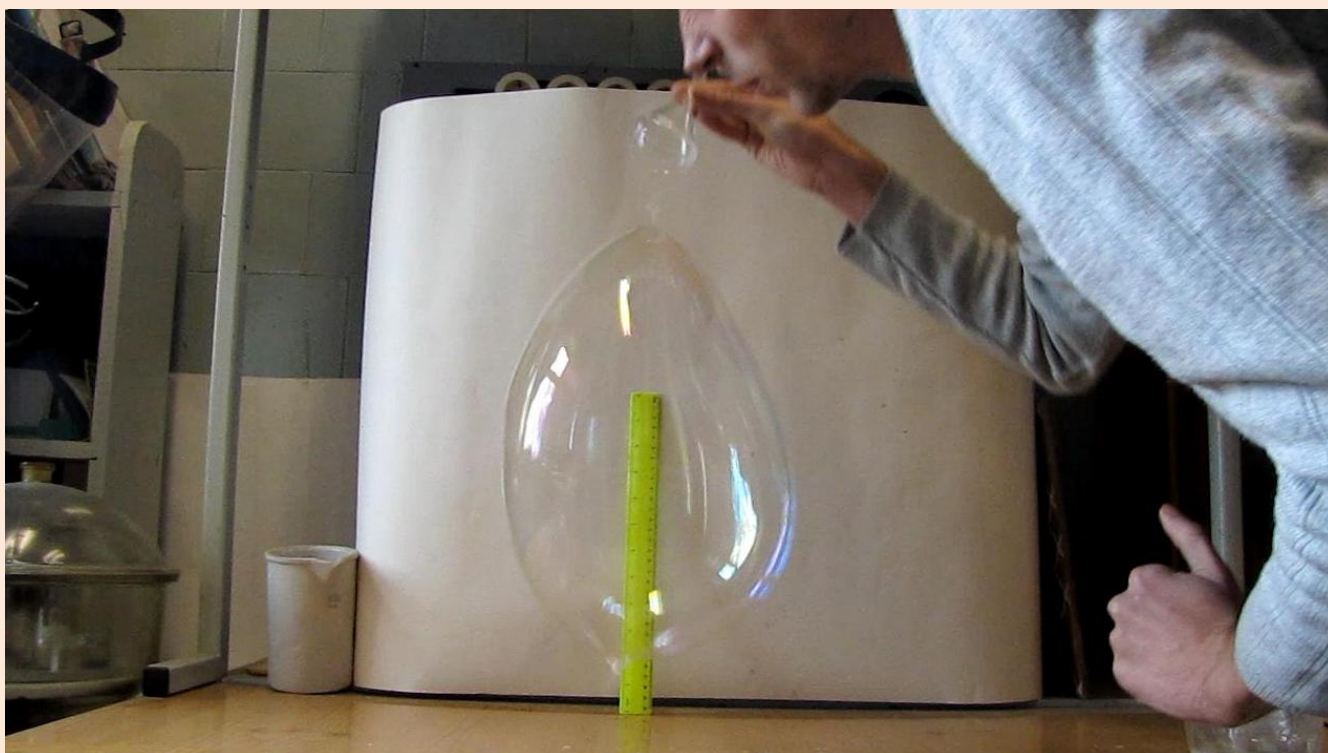
Мыльные пузыри (длина линейки на заднем плане 30 см) фото В.Н. Витер





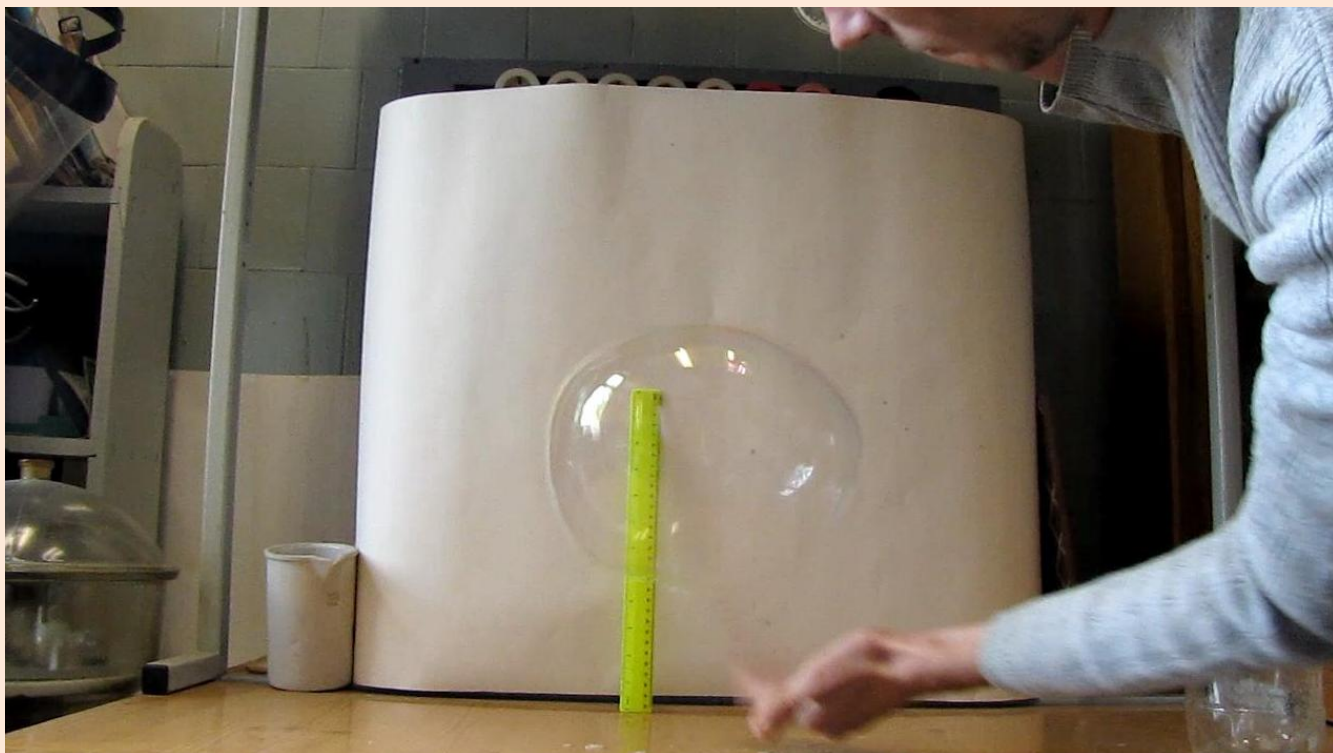


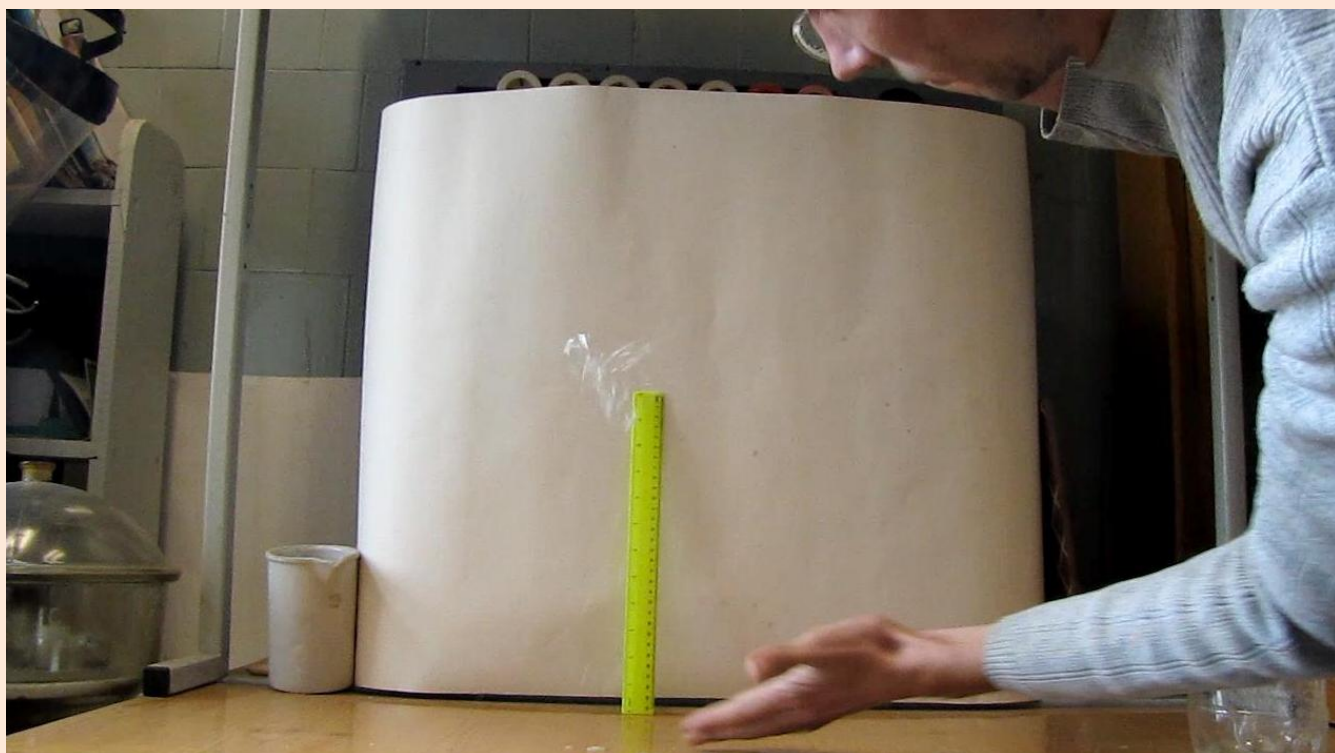




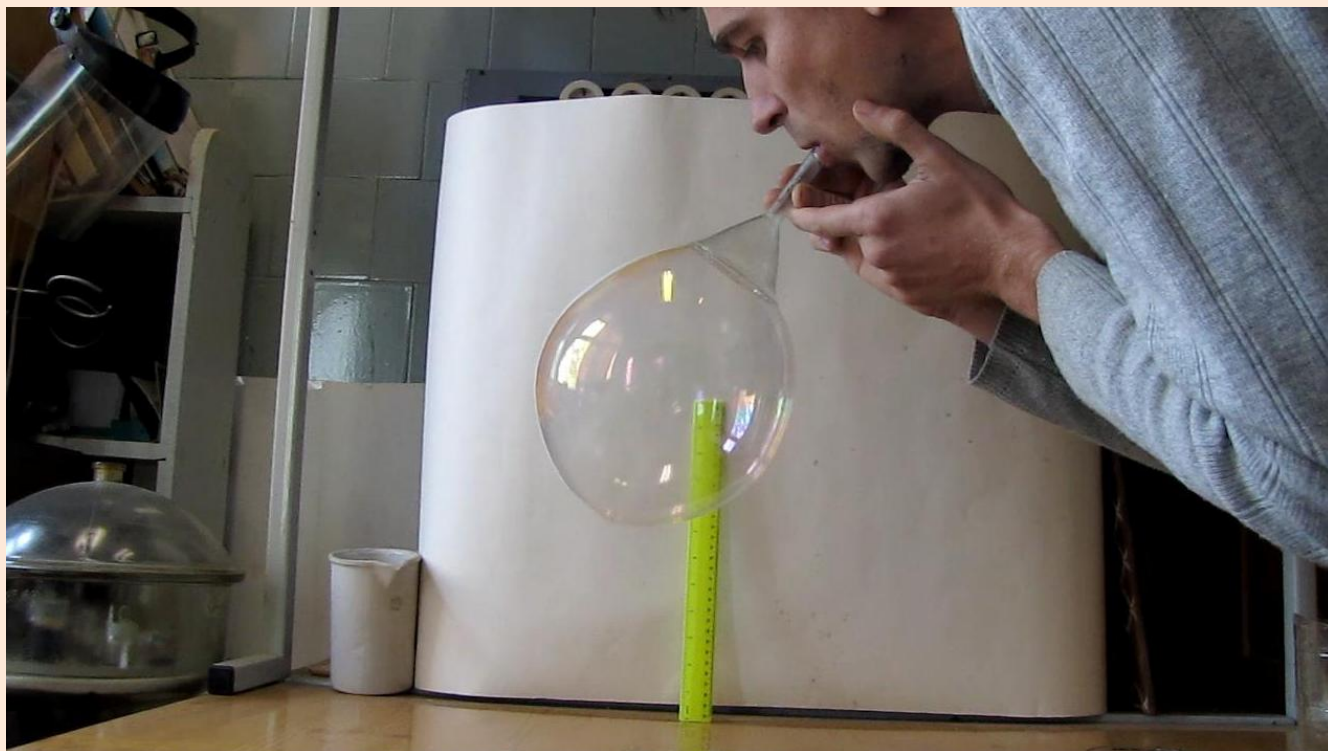










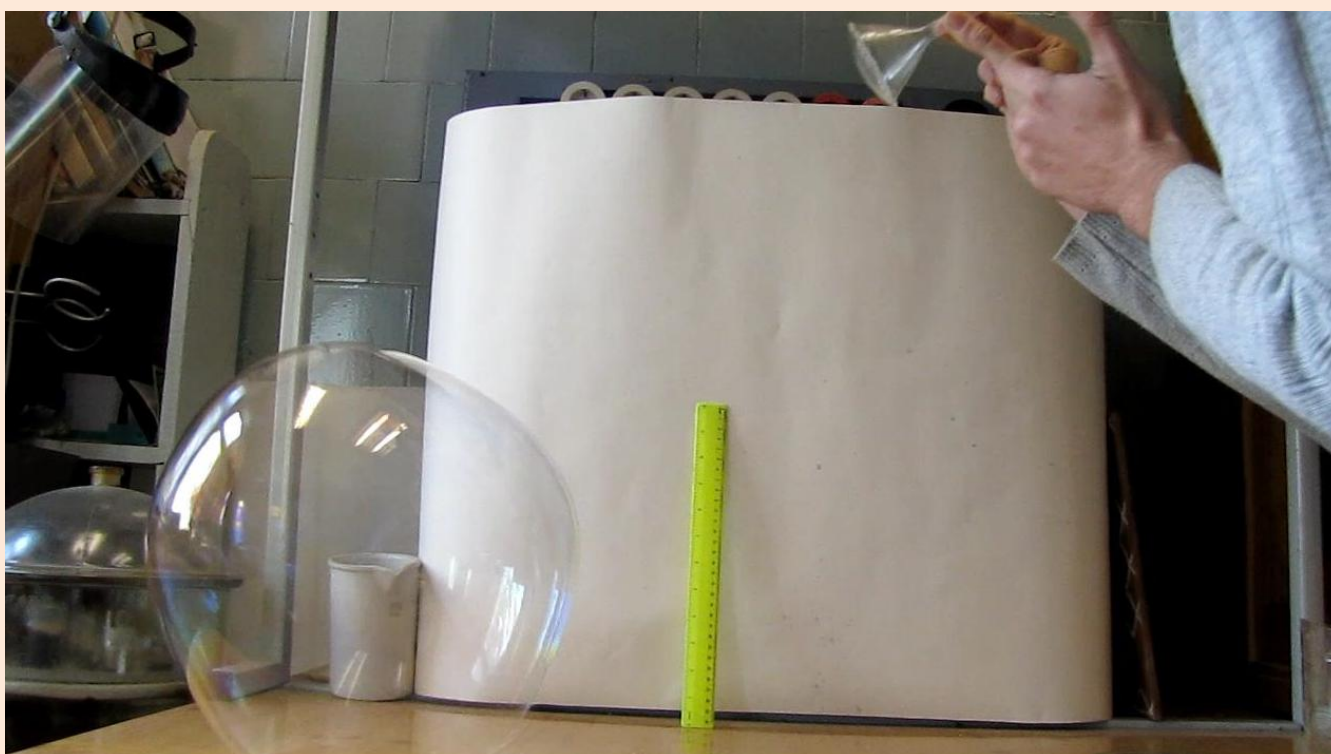
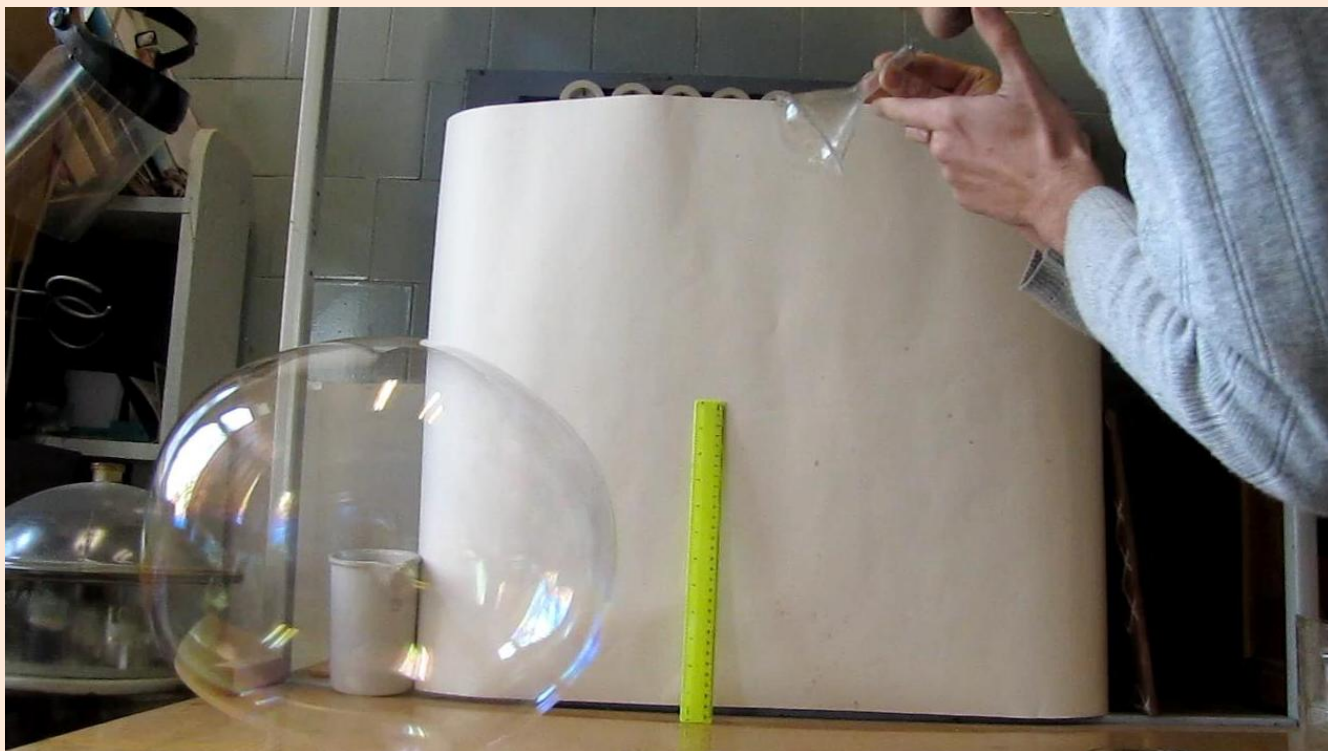


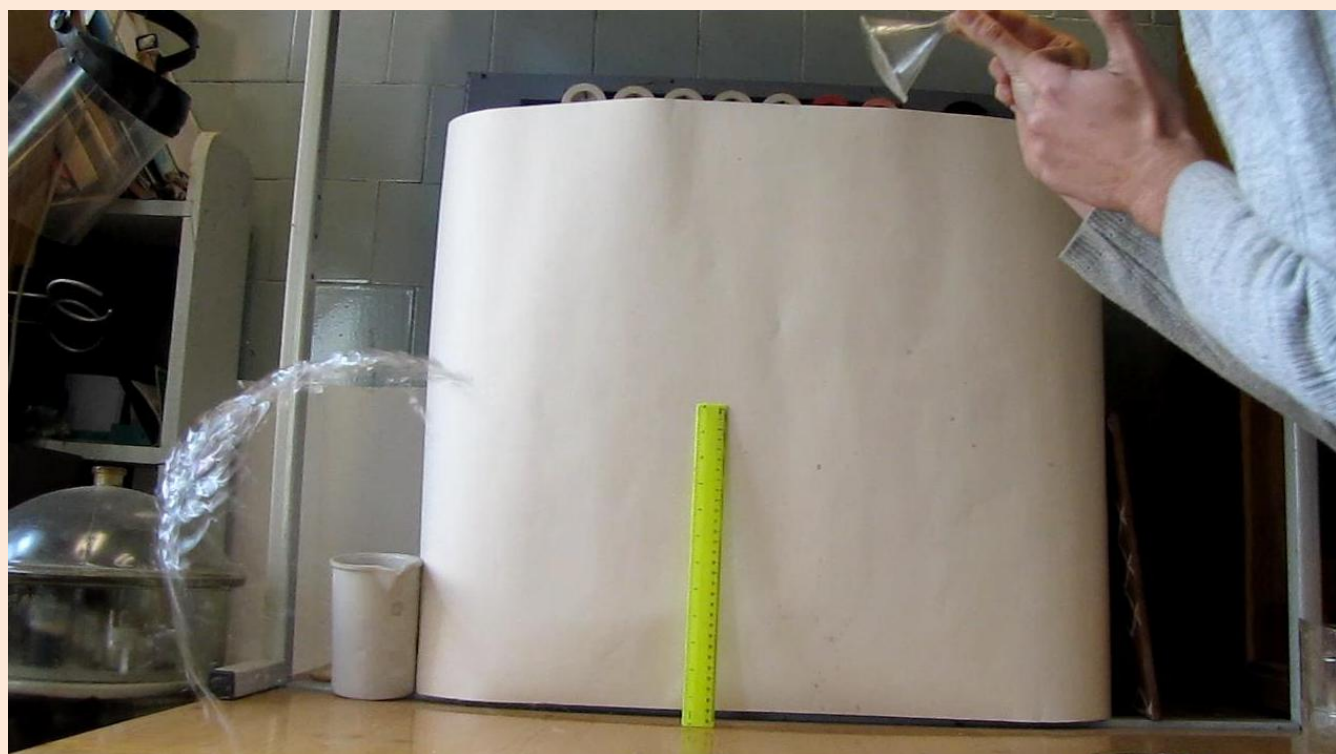
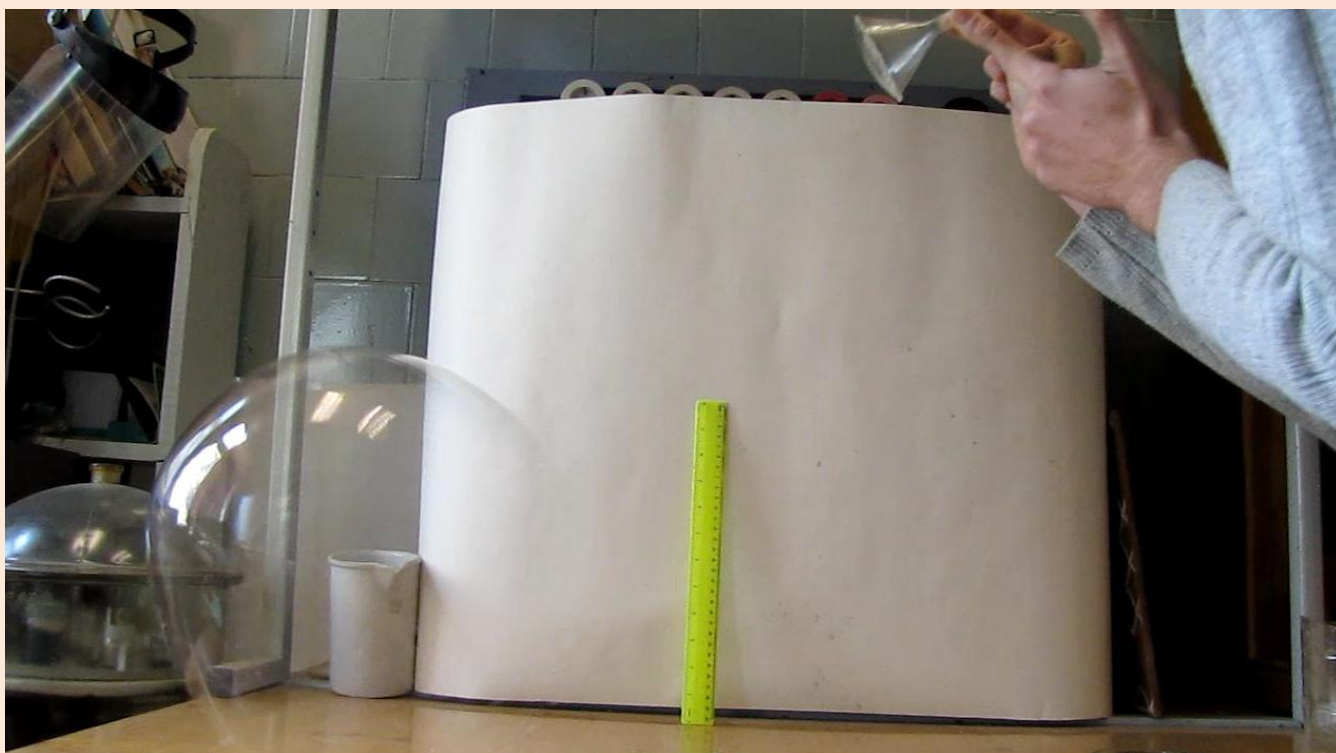


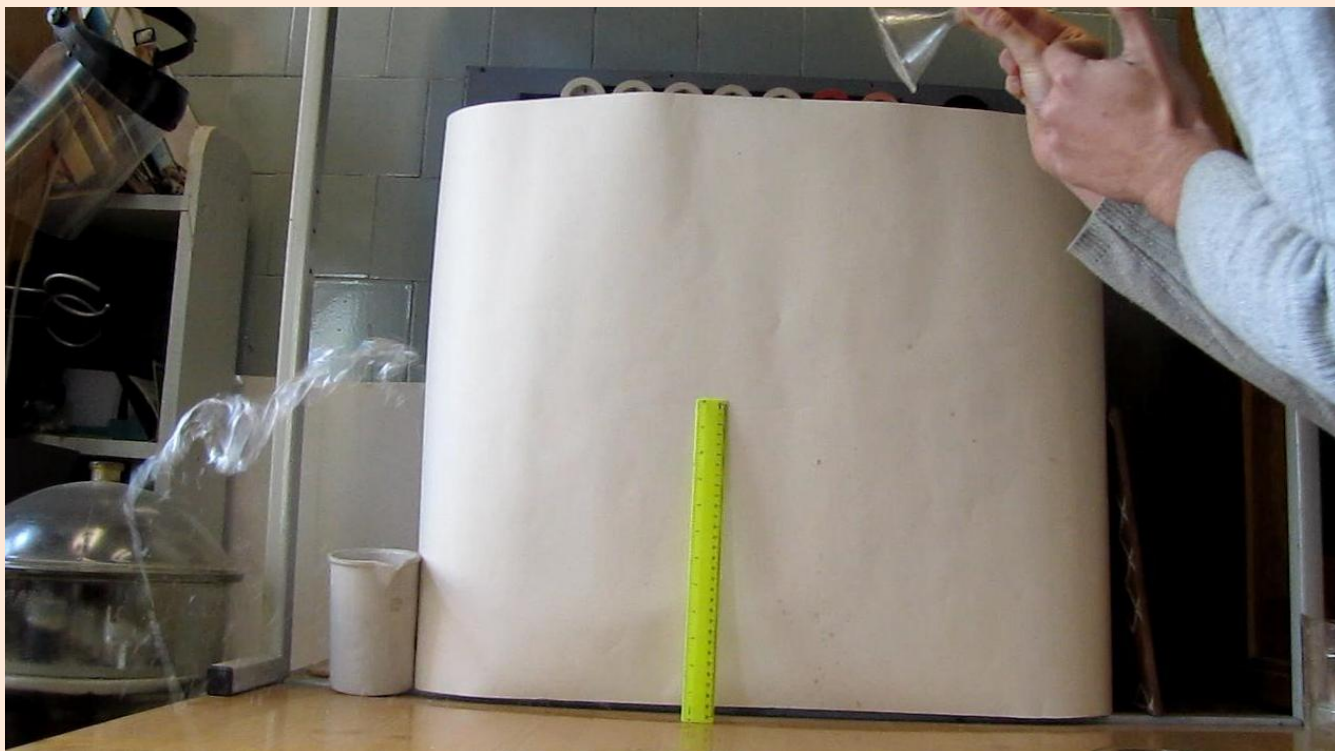












Большие мыльные пузыри: систематические эксперименты

После первых пробных опытов я подошел к работе более систематически. Вместо стеклянных воронок для выдувания пузырей стал использовать пластиковые бутылки из-под воды со срезанным дном: сначала двухлитровую, потом пятилитровую. На срезанном конце бутылки сделал ножницами небольшие продольные надрезы (длина около 5 мм, шаг 3-5 мм). Это немного увеличило площадь мыльной пленки и количество мыльного раствора, который удерживается на стенках. Для мыльных пузырей является благоприятным прохладный и влажный воздух. На момент экспериментов температура в лаборатории составляла 12-14°C. В холодном и влажном воздухе пузыри получаются лучше, чем в теплом и сухом. Испарение утончает мыльную пленку, и она быстрее лопается.

При выдувании мыльных пузырей хорошие результаты показал состав:

жидкое моющее средство для посуды «Gala» 3 части : вода 2 части : глицерин 1 часть (по объему).

Оптимизацией данного соотношения не занимался, но в этом и не было особого смысла: состав моющих средств (даже одной марки, одного и того же производителя) может существенно изменяться от партии к партии. Можно не сомневаться, что аналогичные результаты дадут и другие жидкие моющие средства (разных производителей), но соотношение моющее средство : вода : глицерин каждый раз придется подбирать опытным путем. (Напомним, что желательно использовать дистиллированную (мягкую) воду. При отсутствии дистиллята можно взять кипяченую воду.)

При выдувании пузырей придерживался следующей техники. Опускал срезанный конец бутылки в раствор и слегка втягивал в бутылку воздух, потом аккуратно вынимал бутылку. В результате образовывалась большая мыльная пленка. По краям пленки была мыльная пена, которая попала в бутылку во время всасывания воздуха. Держим бутылку отверстием вниз и начинаем аккуратно выдувать пузырь. В результате пена «распрямляется» и присоединяется к основной мыльной пленке. Раствор, который стекает со стенок, также «подпитывает» мыльный пузырь. Когда пузырь достигнет достаточного размера, станет заметно, что он стремится подняться вверх. В этот момент бутылку начинаем постепенно поднимать: сначала до горизонтального положения, потом – до вертикального (чтобы пузырь был над головой). При этом раствор, который стекает со стенок, перестает подпитывать мыльный пузырь. Однако если не изменить наклон, пузырь деформируется и лопнет.

Нелегкая это работа – выдувать мыльные пузыри: нужно иметь хорошие легкие. Объем сферы диаметром 50 см равен 65 л! Для сравнения: максимальный объем выдыхаемого воздуха (жизненная емкость легких, ЖЕЛ) для большинства людей составляет примерно 3-6 л. После нескольких попыток удалось выдуть пузырь диаметром более 50 см, он оторвался от бутылки и медленно полетел вверх. Пузырь лопнул, когда столкнулся с лампой. Разумеется, камера оказалась выключенной. Однако позже удалось несколько раз заснять подобный пузырь. Точный размер больших пузырей оценить трудно: они редко приобретают сферическую форму, по поверхности пузырей в разных направлениях пробегают волны.

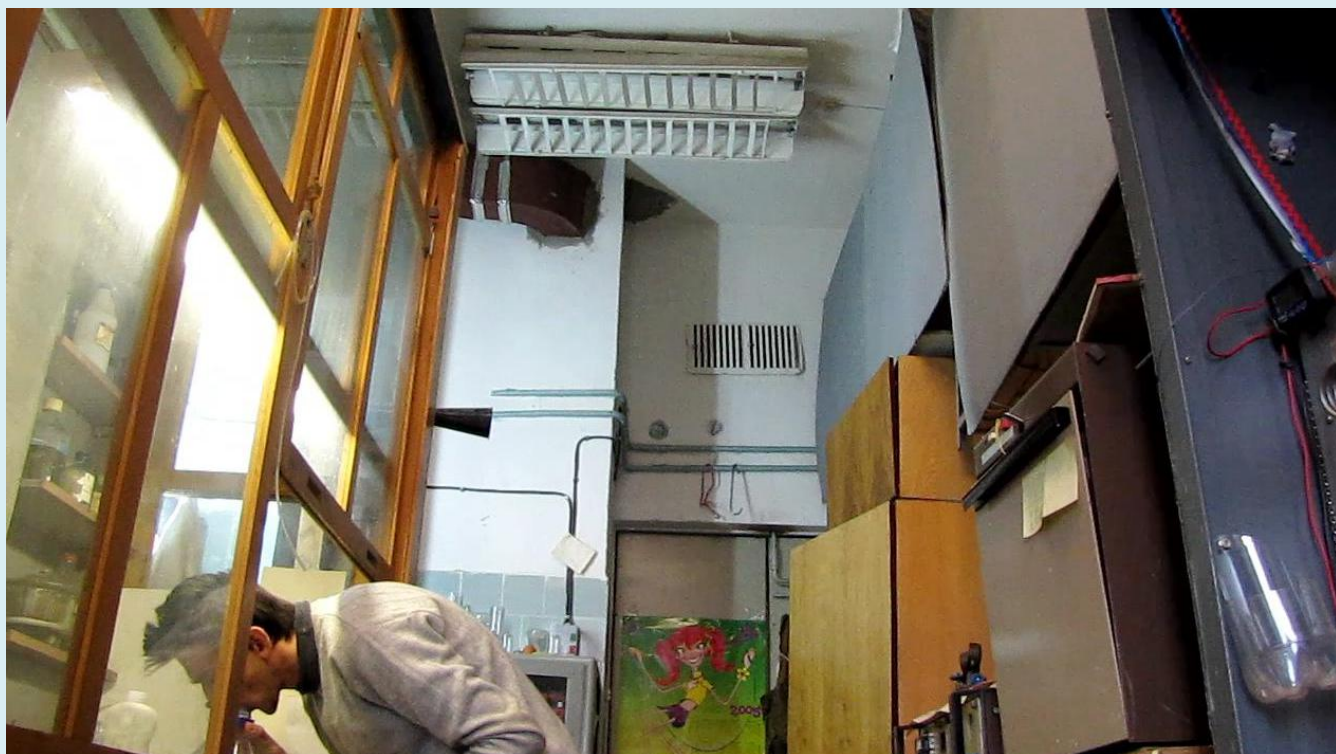
В первых опытах во время выдувания пузырей переживал, чтобы они не лопнули. Позже когда надувал большие пузыри, страха, что пузырь лопнет, совсем не было. Осталась только одна мысль: «Господи, сколько можно его надувать!» Кроме того, было легкое ощущение нереальности происходящего: у тебя над головой шар,

диаметром более полуметра, который переливается, колеблется и активно вытягивается при каждом выдохе.

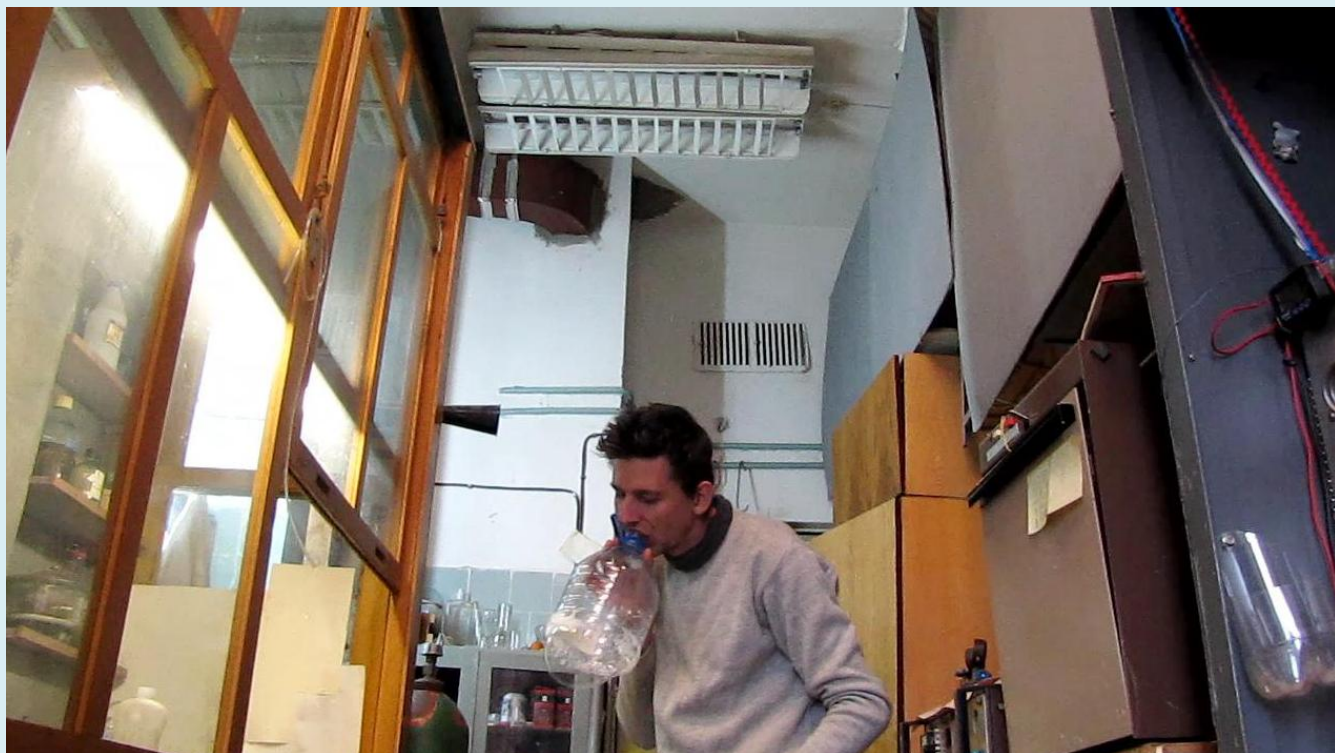
В одной статье прочитал, что при выдувании пузырей наличие пены в мыльном растворе вредно, но ничего подобного не заметил. Наоборот, когда я выдувал самые большие пузыри, то опускал бутылку в раствор и засасывал в нее пену: потом она подпитывала мыльную пленку большого пузыря.

Пробовал использовать для выдувания пузырей компрессор, но эксперименты получались плохо. Видимо, важно, что воздух, выдыхаемый ртом, влажный, кроме того, компрессор дает вибрации и толчки.

Интересное наблюдение: пока пленка пузыря радужная, она достаточно прочная. Такой мыльный пузырь может лопнуть разве что от резкого дуновения. Но когда пленка слишком тонкая, она становится почти белой и визуально неоднородной. Такой пузырь скоро лопнет. Радужные цвета вызваны интерференцией световых лучей в тонкой пленке жидкости, но мы пока не будем останавливаться на данном явлении.

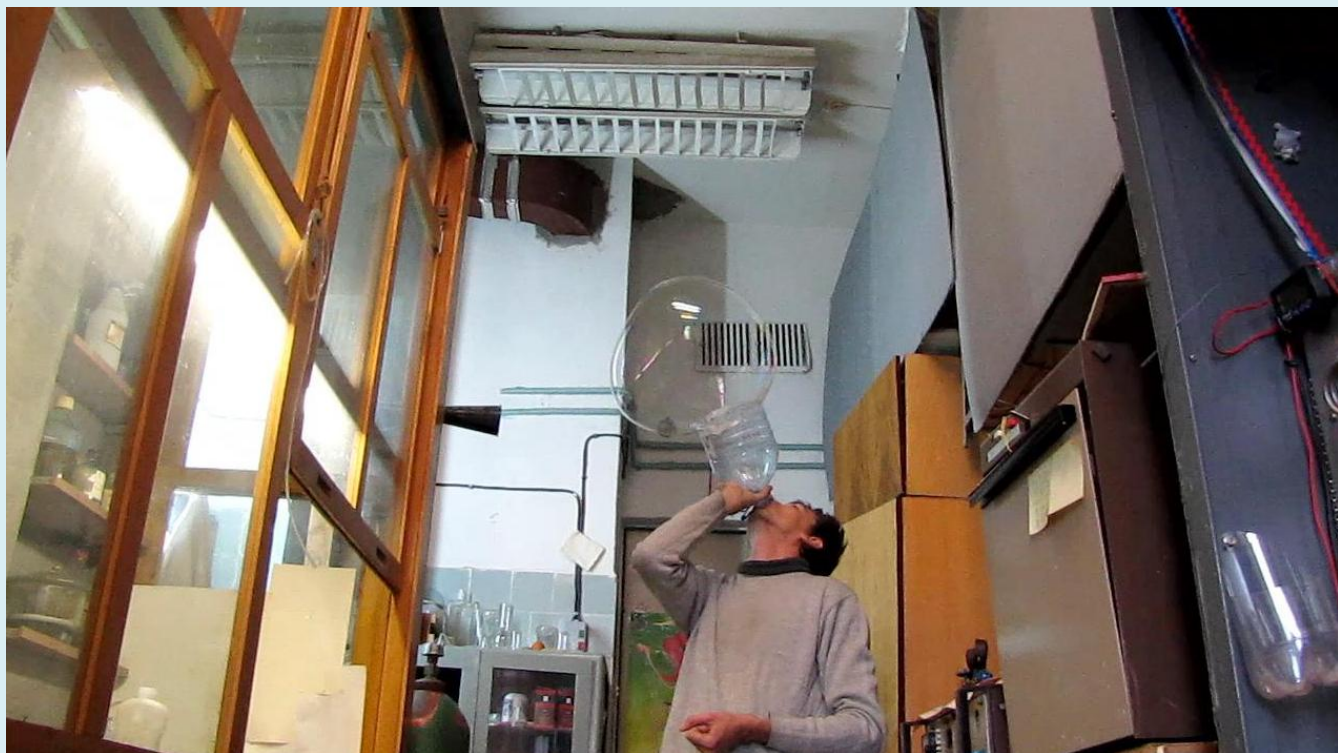


Мыльные пузыри

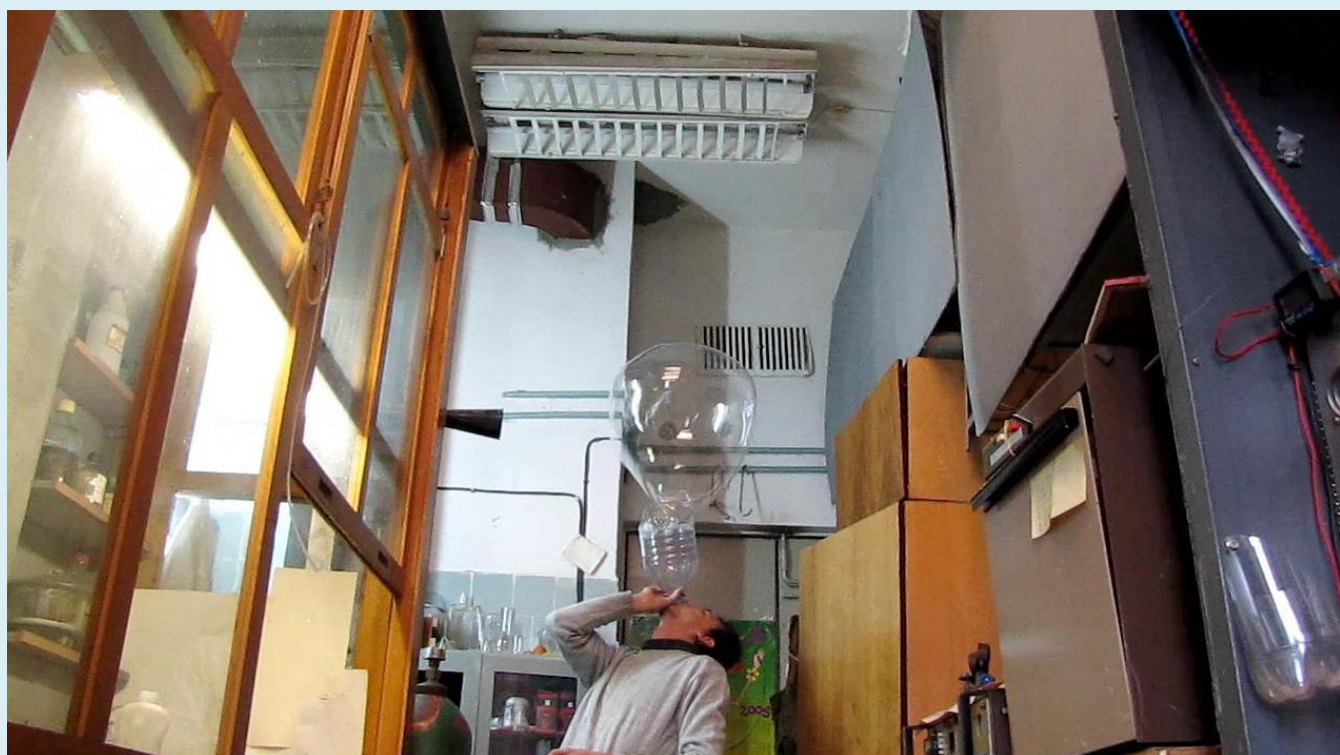
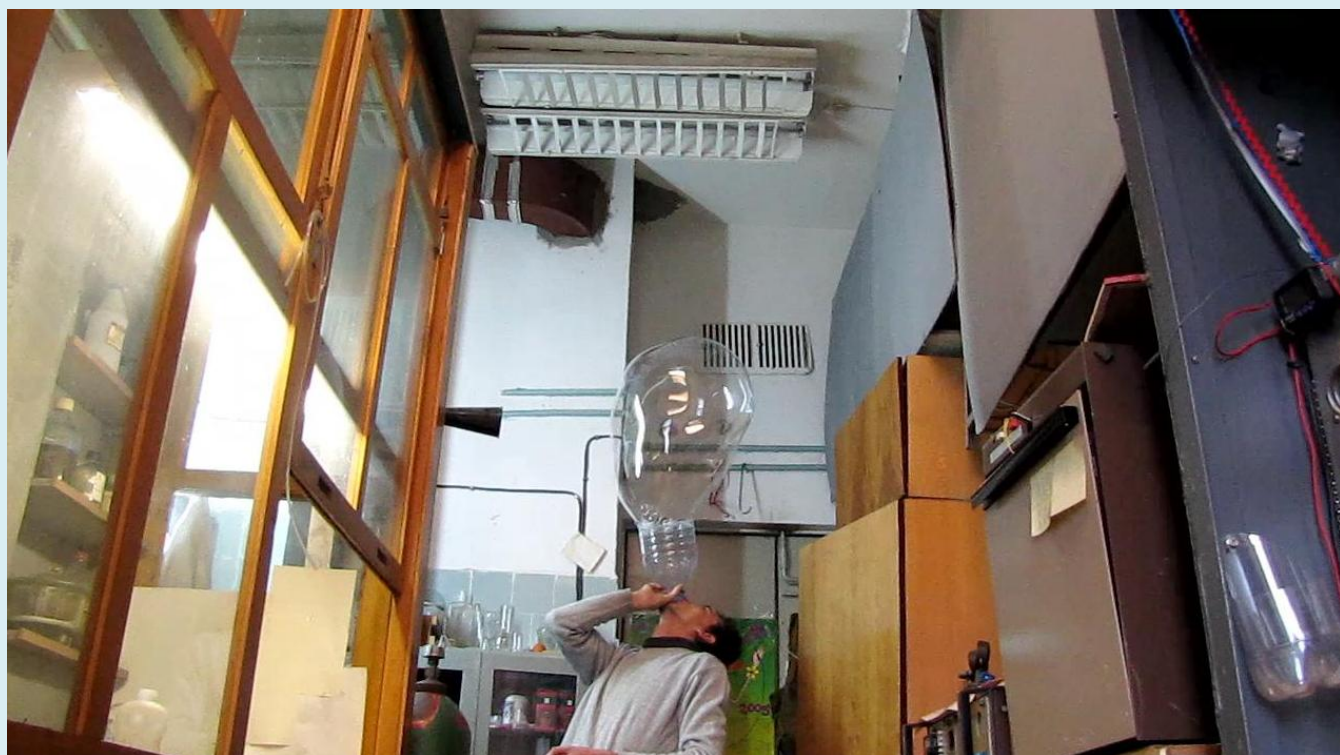




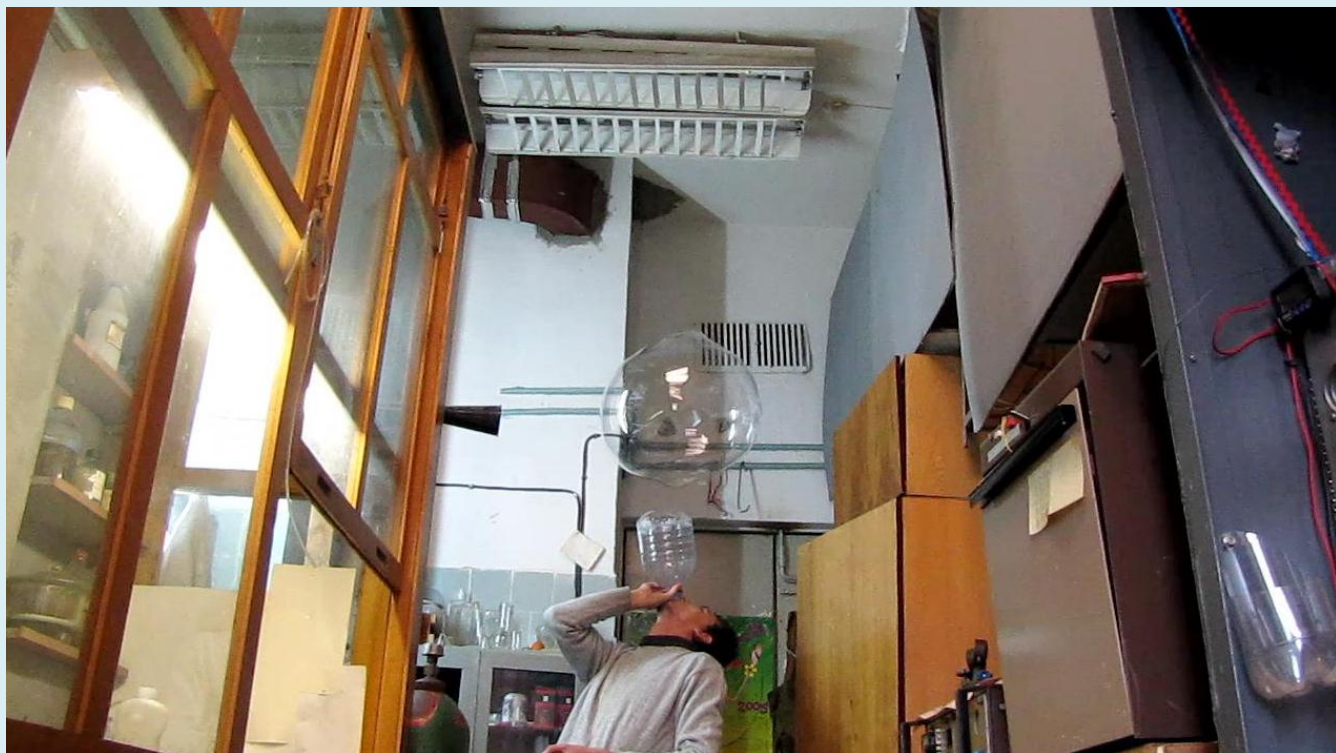


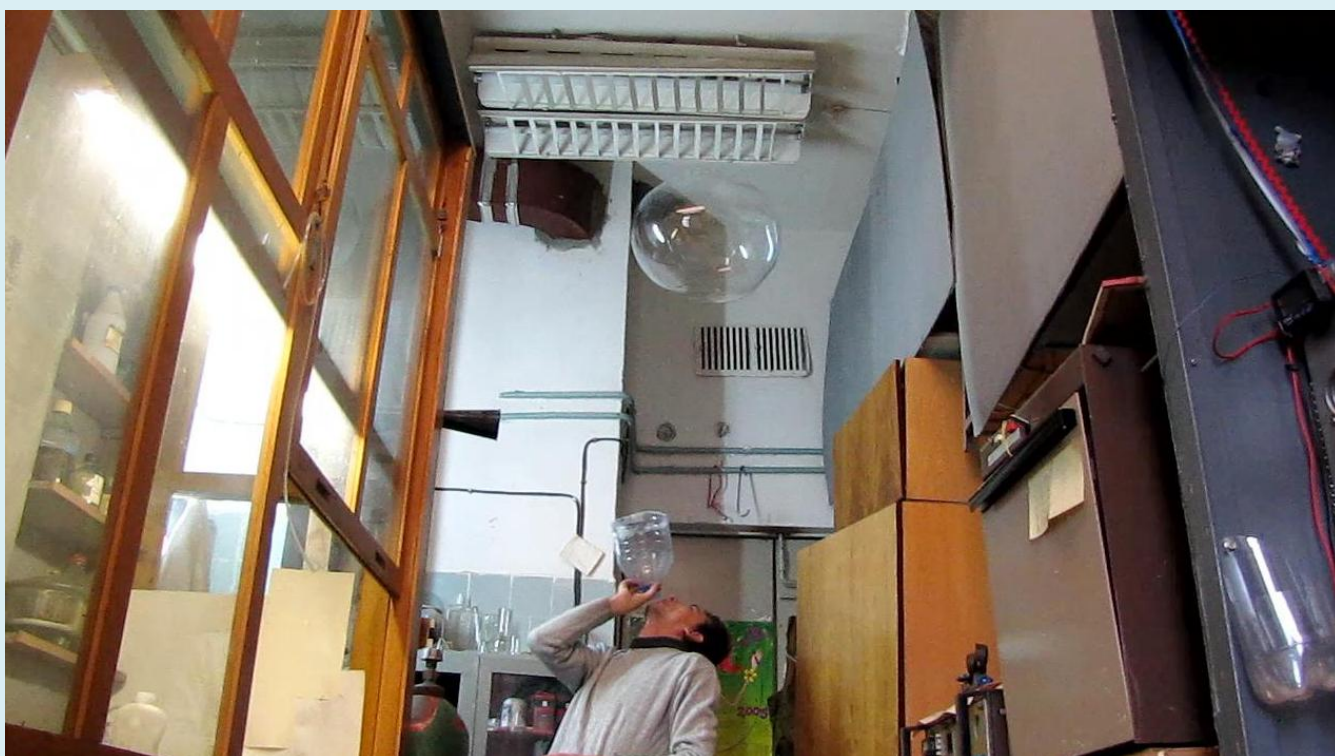


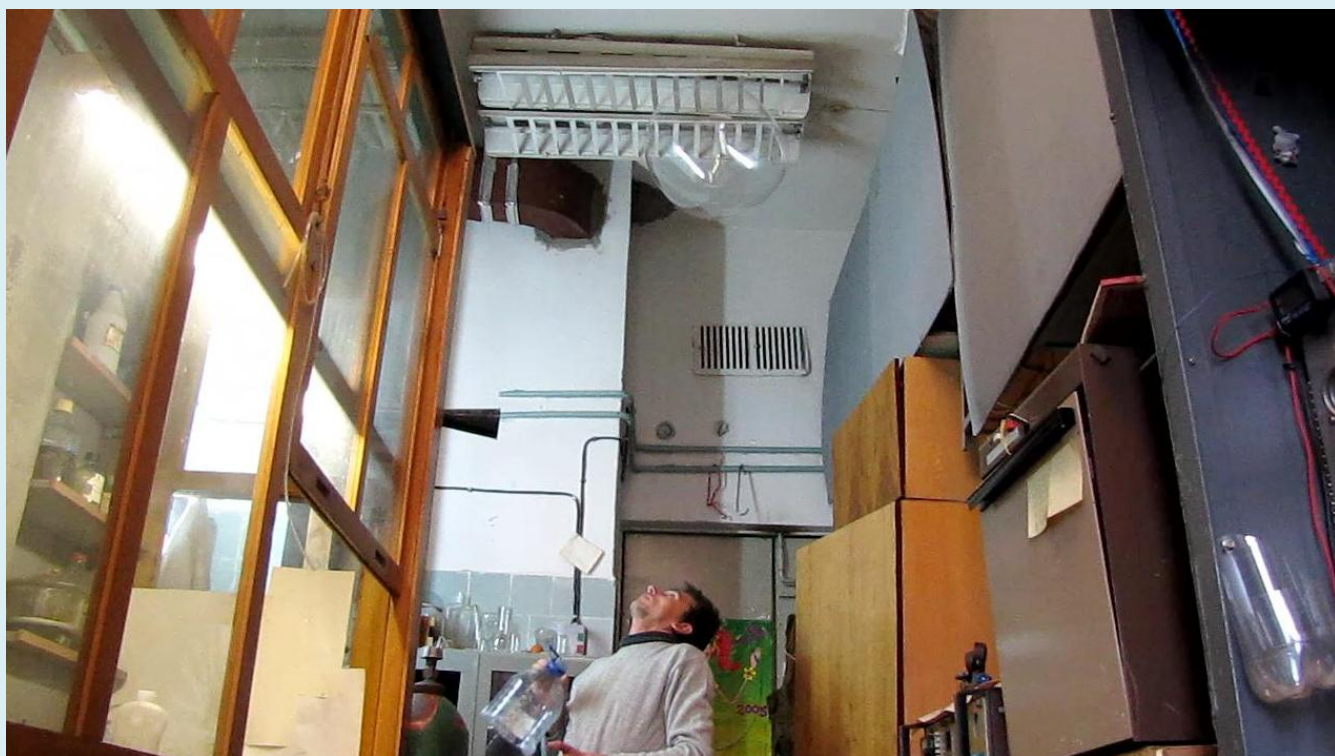
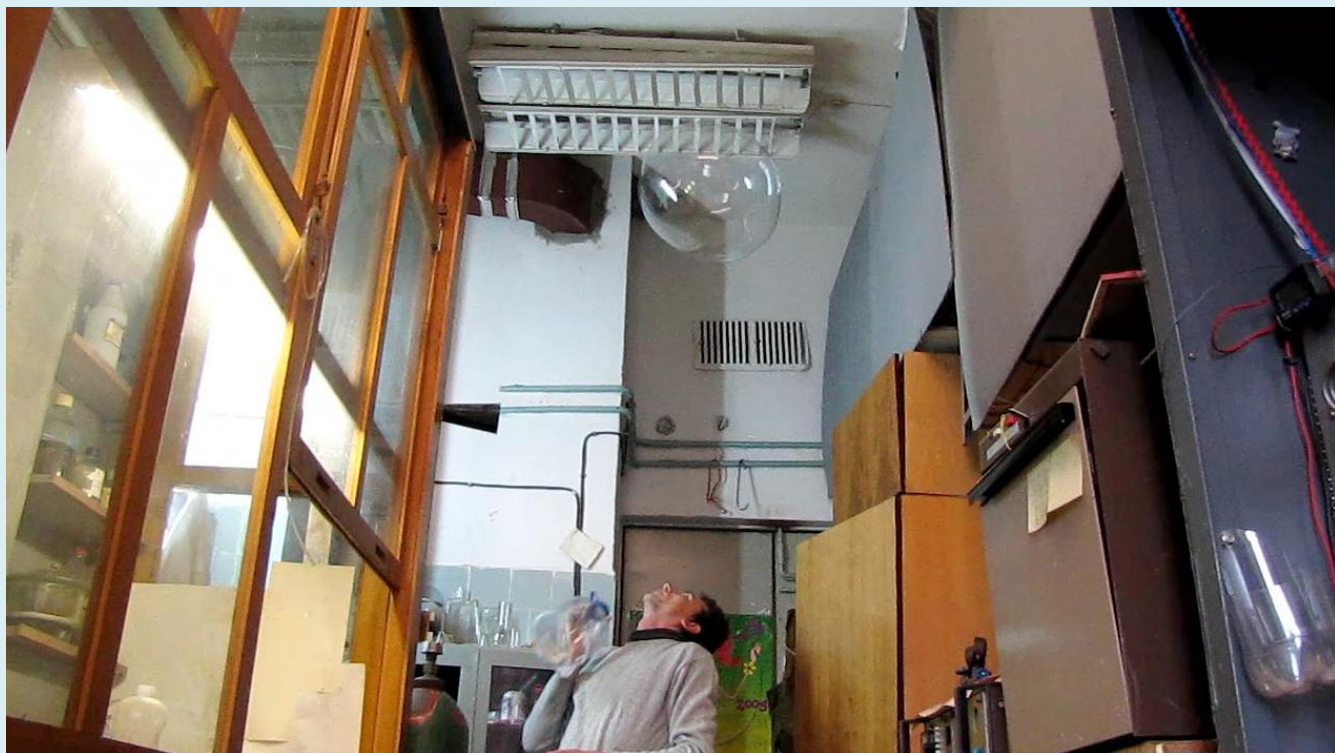


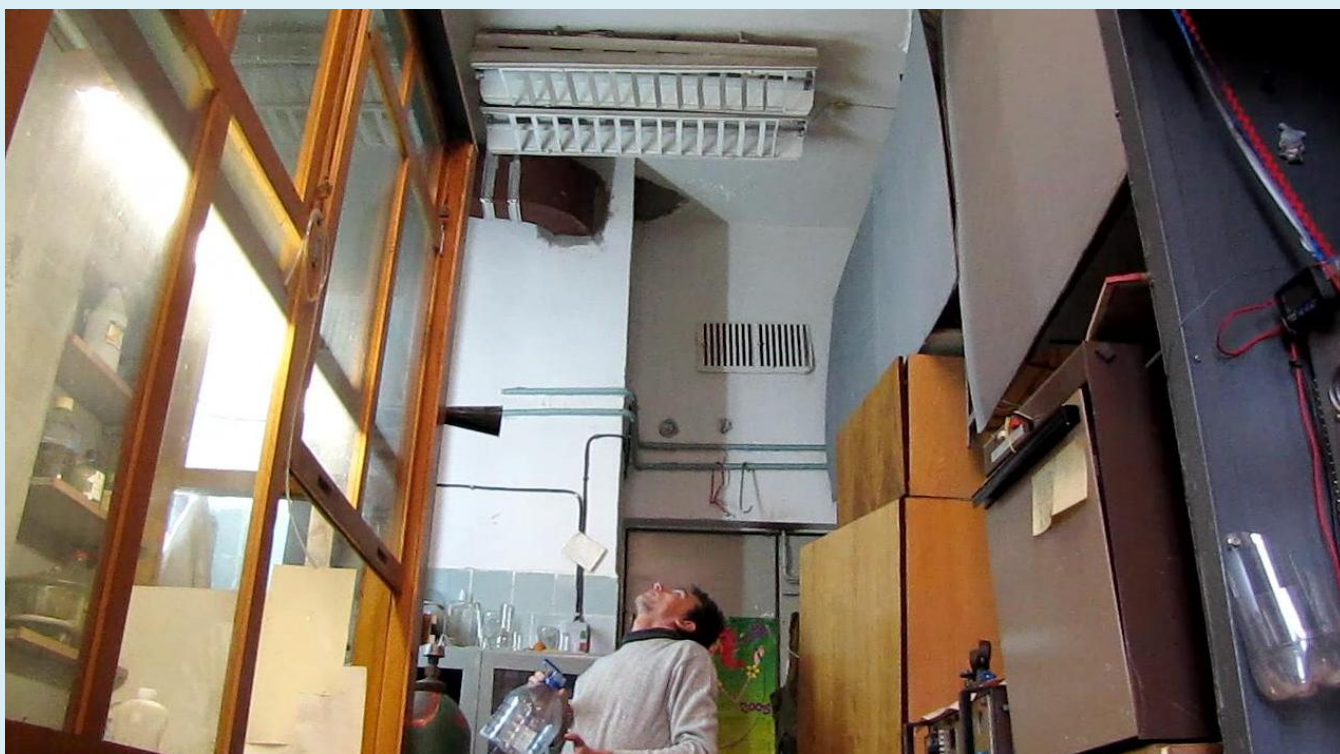
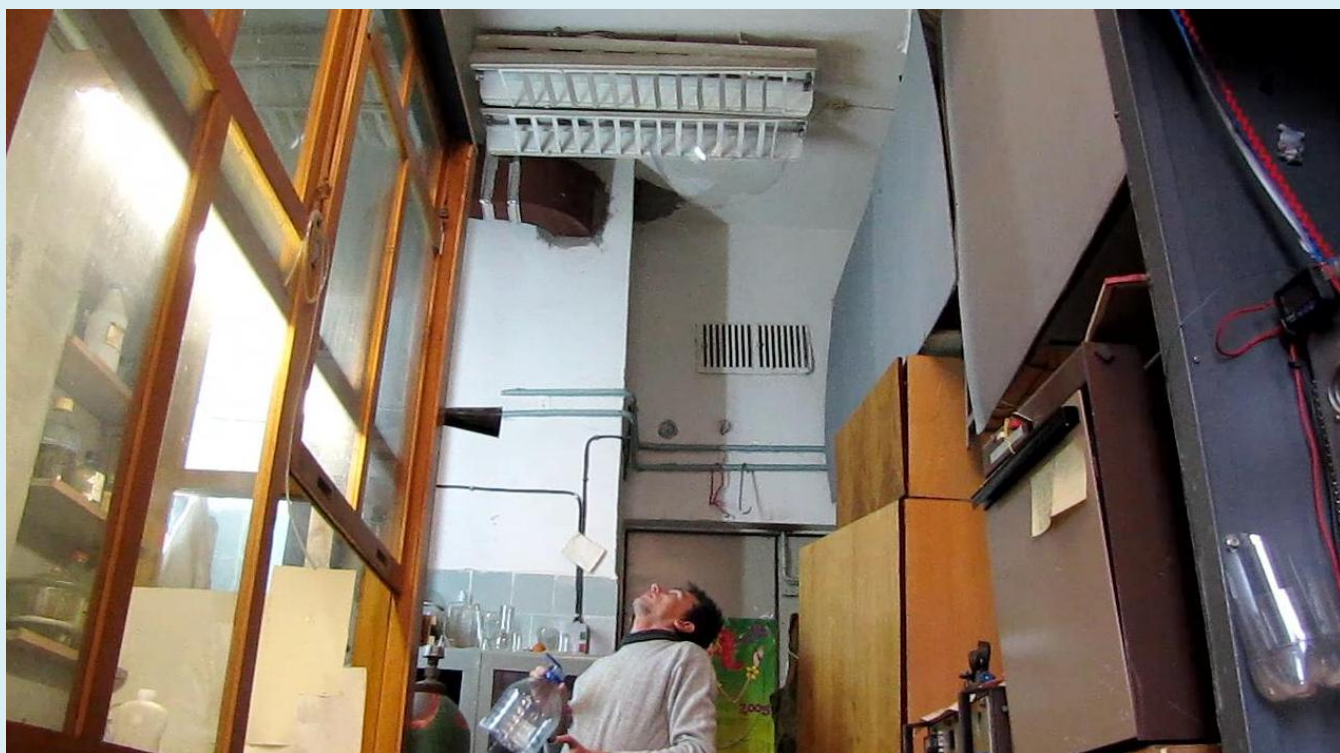


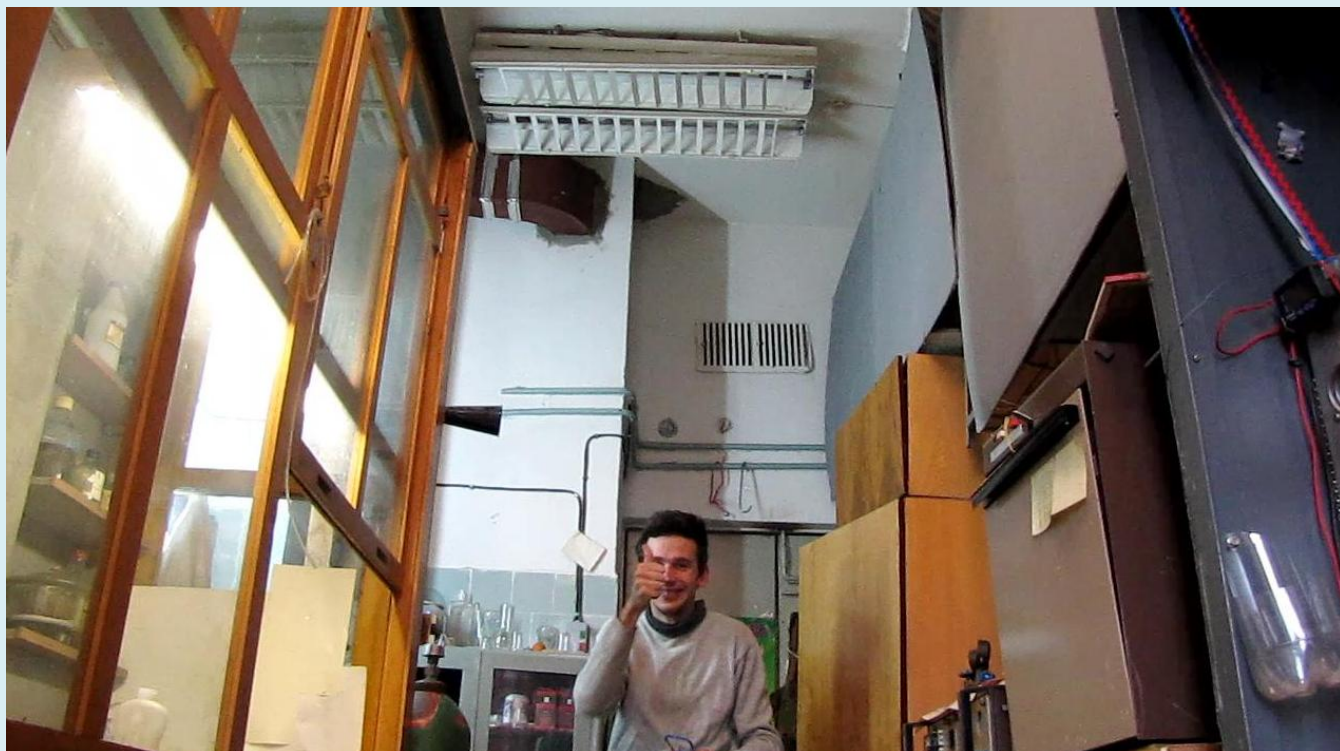


























Моющее средство, использованное для выдувания мыльных пузырей