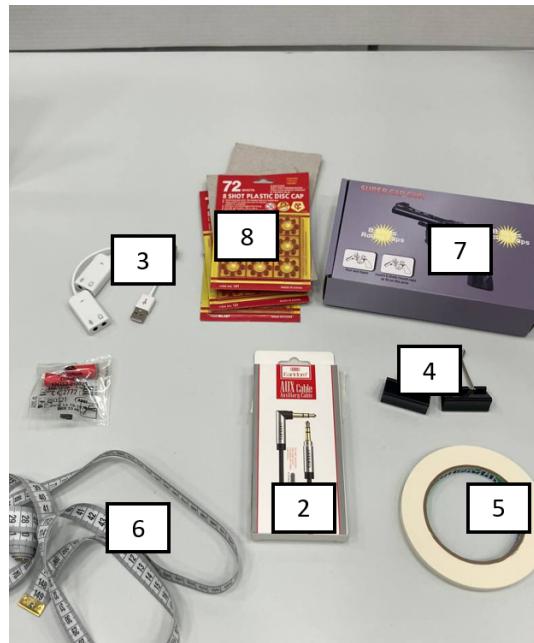




## S2 - Взрывы и ударные волны

### Оборудование:

1. Ноутбук
2. Два микрофона
3. Две звуковых карты
4. Две клипсы
5. Малярный скотч
6. Мерная лента
7. Пистолет
8. Набор пистонов



### Часть А. Выстрел

Чтобы зарядить пистолет, потяните за стержень на барабане.

Подключите микрофоны через звуковые карты к компьютеру. Запустите программу "GetMic.bat".

В этой программы вы можете с помощью кнопки «Record» сделать запись звука с обоих микрофонов, т.е. зависимость добавочного давления  $\Delta p$  в месте, где находится микрофон, от времени  $t$ . С помощью кнопки «Acquire» вы можете уже сделанную запись сладить. Значение  $\Delta p = 0$ , когда давление равно атмосферному  $p_0 = 101$  кПа. Показания микрофонов выдаются в единицах пропорциональных давлению: 1 а.и. = 2 мПа. Если при обоих подключенных микрофонах горит надпись *DEVICE NOT OK* то переподключите звуковые карты и микрофоны в них. Если это не решило проблему, то позовите жюри. Для того, чтобы скопировать координаты, точки на графике, где вы находитесь курсором, нажмите правую кнопку мыши. Между временем срабатывания микрофонов существует задержка в несколько миллисекунд, которая меняется по ходу записи сигнала. Чтобы исключить влияние этого фактора, будем выполнять все измерения по следующей схеме:

1. Производим выстрел посередине между микрофонами
2. Как можно быстрее производим выстрел в изучаемой конфигурации



**Указания по обработке данных.** У всех графиков должны быть подписаны оси. Все столбцы во всех ваших таблицах должны быть подписаны и в файле и в листах ответов. Обработка и хранение данных будут производиться с помощью MS Excel. Все измеряемые величины вы можете сразу записывать в электронные таблицы. Для того чтобы жюри могло корректно проверить вашу работу, называйте файлы строго так, как указано в условии. На рабочем столе вашего компьютера находится папка «S2». В ней находится файл «explosion.mp4» и папка с названием «First Name Last Name». Вам необходимо переименовать папку, чтобы она содержала ваше фамилию и имя, иначе работа не будет проверена!!! После того как вы переименовали папку, откройте её. В ней содержатся подпапки с номерами пунктов, к которым они относятся, а также файл «Report.docx». Не меняйте имена подпапок и файла «Report.docx»! В подпапке пункта необходимо сохранять все измерения и файлы решения. Все измеренные данные должны быть



оформлены по этому шаблону, названы *«MesX.xlsx»*, где *X*-номер пункта, и сохранены в папку этого пункта. (Например, для пункта **A1** файл с исходными измерениями должен называться *«MesA1.xlsx»*) **Графики с неподписанными осями НЕ БУДУТ ОЦЕНИВАТЬСЯ!** Во **всех** файлах с таблицами должны содержаться комментарии к тому, что происходит и вычисляется в каждом столбце. Эти же комментарии должны быть записаны в листы ответов к соответствующему пункту. Файлы решения должны быть названы *«SolX.xlsx»*, где *X*-номер пункта, и сохранены в папку этого пункта. (Например, для пункта **A2** файл решения должен называться *«SolA2.xlsx»*)

- A1** Пусть микрофоны находятся на расстоянии  $L$  друг от друга. Для разных  $L$  измерьте зависимость задержки  $\Delta t$  между моментами прихода фронта звуковой волны (первого большого импульса) к микрофонам. Ближний микрофон должен находиться на расстоянии  $L_0 = 3$  см от взрыва. Сделайте 15 измерений для разных  $L$  Результаты прямых измерений сохраните в файле *«MesA1.xlsx»*. 2.5

При достаточно больших  $L$  к дальнему микрофону ударная волна от взрыва уже значительно рассеивает свою энергию, и превращается в обычную звуковую, которая распространяется со скоростью  $c$ .

- A2** Определите скорость звука в воздухе  $c$ . Скопируйте данные из *«MesA1.xlsx»* в файл *«SolA2.xlsx»* и сделайте необходимую обработку в файле *«SolA2.xlsx»*. Если для обработки использовался график, скопируйте его в файл *«Report.docx»* 0.5

- A3** Аналогично пункту A1, сделайте 8 измерений для  $L < 50$  см Результаты прямых измерений сохраните в файле *«MesA3.xlsx»*. 2.5

- A4** Постройте график зависимости радиуса  $R$  фронта волны взрыва от времени. Необходимую обработку выполните в файле *«SolA4.xlsx»*. Итоговый график скопируйте в файл *«Report.docx»*. 0.5

Теперь определим энергию выстрела

- A5** Сделайте запись выстрела, произведенного на расстоянии  $L_0 = 40$  см от точки взрыва. Нажмите кнопку *«Acquire»* и получите на экране сглаженную зависимость  $p(t)$  для взрыва. Перенесите 15 точек с этой кривой в файл *«MesA5.xlsx»*. 2.0

Волны в воздухе являются быстрым процессом и процессы, происходящие с воздухом, являются адиабатическими, т.е.  $pV^\gamma = \text{const}$ . Показатель адиабаты  $\gamma = 1.4$  для воздуха.

Энергия сжатия волны в воздухе:

$$E = \int \frac{\Delta p^2}{2\rho_0 c} dV,$$

где  $\rho_0$  - плотность воздуха при атмосферном давлении. Температура в помещении  $T_0 = 300$  К, газовая постоянная  $R = 8.314$  Дж/(моль · К)

- A6** В виде формулы выразите энергию взрыва  $E$  через зависимость  $p(t)$  снятую в точке на расстоянии  $L_0$  от взрыва, показатель адиабаты  $\gamma$  и скорость звука  $c$ . 3.0

- A7** Определите энергию взрыва пистона  $E$  в TNT эквиваленте. Одна тонна TNT эквивалента 4.184 ГДж Необходимую обработку выполните в файле *«SolA7.xlsx»*. Итоговый график скопируйте в файл *«Report.docx»*. 3.0

## Часть В. Взрыв

Если аппроксимировать взрыв с энергией  $E$  сферической ударной волной, то её радиус из размерных соображений будет зависеть от времени как

$$R(t) = S\rho^\alpha E^\beta t^\gamma,$$

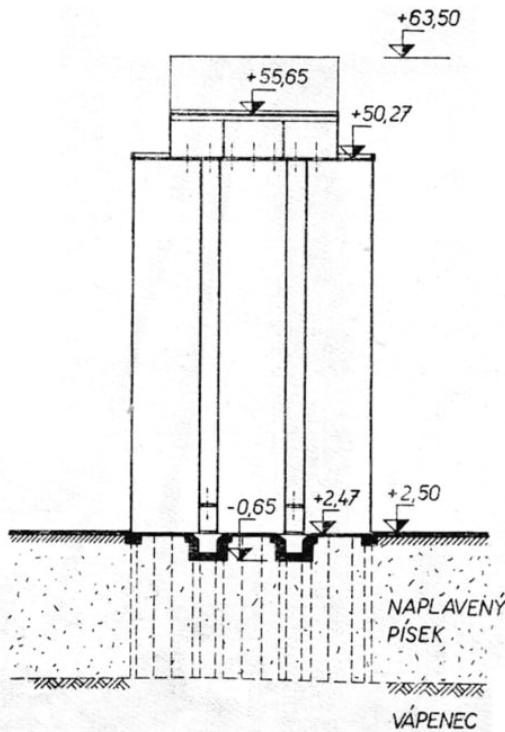
где  $E$  - энергия взрыва,  $\rho_0$  - плотность воздуха при атмосферном давлении. Величину безразмерного коэффициента  $S$  обычно берут равной единице.



**B1** Определите значения коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ .

**1.0**

Посмотрите нарезку видео «*Explosion.mp4*» взрыва в Бейруте 4 августа 2020 года.



Используйте большое белое здание, находящееся непосредственно рядом со взрывом, в качестве линейки. Его параметры приведены на фотографии, данные приведены в метрах.

**B2** Для каждого видеофрагмента снимите зависимость радиуса фаербола  $R$  от времени  $t$ . Учтите, что белое сферическое облако, образующееся при взрыве, не является взрывной волной, которую мы изучаем. Видео замедлено в 50 раз. Для измерений расстояний на экране в пикселях можете использовать кнопку сочетание клавиш «Win» + «Shift» + «S» и Paint. Результаты прямых измерений сохраните в файле «*MesB2.xlsx*».

**B3** Найдите мощность взрыва в Бейруте  $E$  в TNT эквиваленте. Одна тонна TNT эквивалента 4.184 ГДж Необходимую обработку выполните в файле «*SolB3.xlsx*». Если при обработке использовались графики, то их нужно добавить в «*Report.docx*»