

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НГУ)

Физический факультет

Кафедра общей физики

Лабораторная работа №3.3
Исследование ударных волн в газах

Руководитель:
Ассистент
Художитков В. Э.
Старший преподаватель
Кравцова А. Ю.
Работу выполнил:
Высоцкий М. Ю.
гр. 24301

Новосибирск, 2025

1 Теоретическое введение

Цель работы: знакомство с методами получения и регистрации ударных волн и ударноволновой методикой тарировки пьезодатчиков.

Оборудование: лабораторная ударная труба, пьезодатчики, усилители, цифровой осциллограф.

Ниже приведена схема установки.

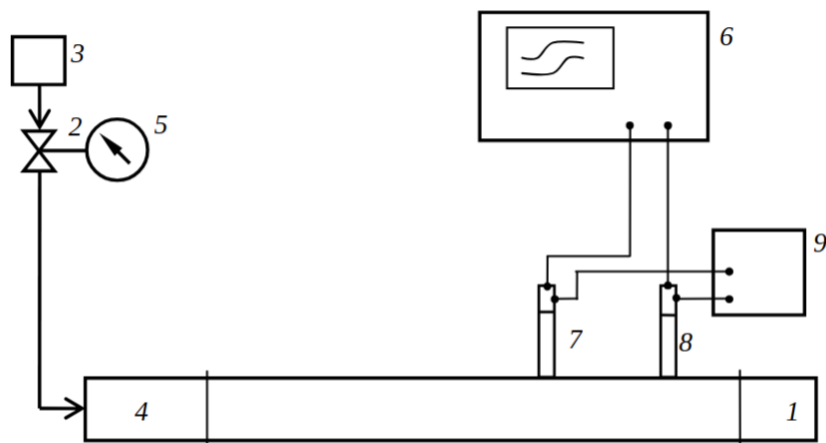


Рис. 1: Схема установки. 1 - секция низкого давления, 2 - редуктор давления, 3 - компрессор, 4 - секция высокого давления, 5 - манометр, 6 - осциллограф, 7, 8 - датчики давления, 9 - источник питания датчиков.

Скорость звука в идеальном газе:

$$c = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}$$

Связь давления в фронте p_2 и начального давления p_1 перед фронтом:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{2\gamma M^2 - (\gamma - 1)}{(\gamma + 1)} \quad (1)$$

Число Маха:

$$M = \frac{D}{c} \quad (2)$$

Связь давления во фронте ударной волны p_2 и давлением в камере высокого давления:

$$\frac{p_2}{p_4} = \left[1 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \left(\frac{M^2 - 1}{M} \right) \frac{c_1}{c_4} \right]^{\frac{2\gamma}{\gamma - 1}} \quad (3)$$

Зависимость p_4/p_1 :

$$\frac{p_4}{p_1} = \frac{\left(\frac{2\gamma M^2}{\gamma + 1} \right) - \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right)}{\left[1 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \left(\frac{M^2 - 1}{M} \right) \frac{c_1}{c_4} \right]^{\frac{2\gamma}{\gamma - 1}}} \quad (4)$$

1.1 Ход работы

Далее приведены данные эксперимента. p_4 - давление, подаваемое в камеру высокого давления, p_1 - давление в камере низкого давления (1 атм.), p_2 - давление фронта ударной волны, p_T - давление вблизи торца ударной трубы после отражения от него падающей ударной волны. В данной работе мы принимаем газ за идеальный а также пренебрегаем изменением температуры (она равна во всех участках волны). В общем случае, процесс политропный, а в нашем случае - адиабатический. Для воздуха показатель адиабаты $\gamma = 1,4$.

p , кгс	Δt , мкс	v , м/с	M
18	628	398,09	1,17
35	580	431,03	1,27
51	552	452,90	1,33
66	524	477,10	1,40
83	508	492,13	1,45

Таблица 1: Определение числа Маха для 1-5 атмосфер p_4

p_4/p_1	p_2/p_1	p_2/p_4	Δp_2 , атм	Δp_t , атм
2,09	1,43	1,37	0,43	1,02
3,06	1,71	1,68	0,71	1,81
3,88	1,90	1,96	0,90	2,43
5,01	2,13	2,12	1,13	3,20
5,85	2,28	2,34	1,28	3,74

Таблица 2: Расчет давлений p_2 , p_4 , p_t

При первом проведении опыта не были сняты показания напряжений с пьезодатчиков. При повторном проведении опыта были сняты следующие показания:

A1, мВ	A2, мВ
220	200
600	500
700	620
980	760
1120	880

Имея эти данные, получаем чувствительность первого и второго датчика:

$$A1 = \frac{1120 - 220}{2,28 - 1,43} \approx 1065 \frac{\text{мВ}}{\text{атм}}$$

$$A2 = \frac{880 - 200}{2,28 - 1,43} \approx 805 \frac{\text{мВ}}{\text{атм}}$$

Далее приведены зависимости $p_4/p_1(M)$, $p_2/p_1(M)$.

Зависимость $p_4/p_1(M)$

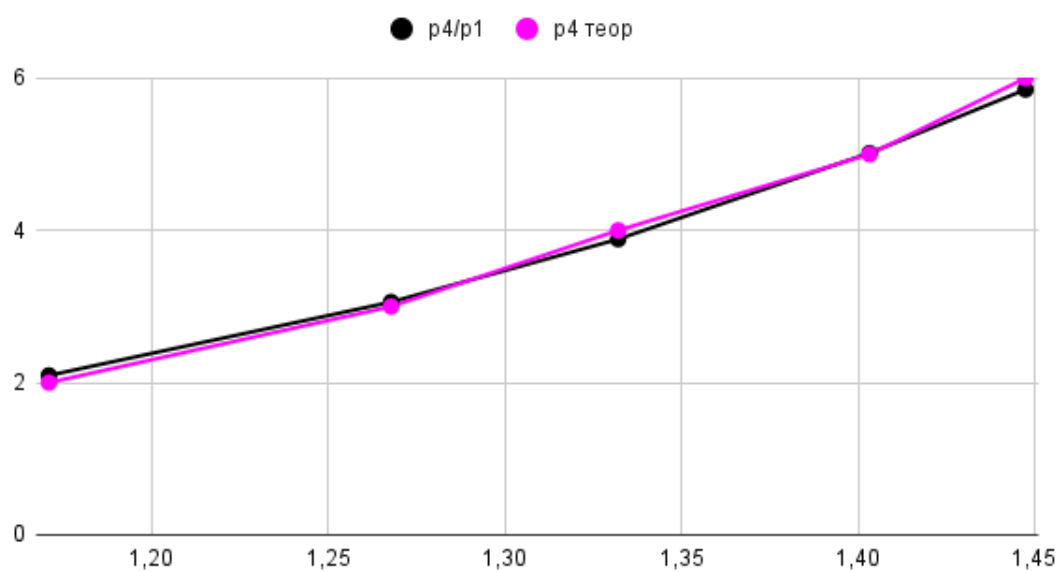


Рис. 2: Зависимость $p_4/p_1(M)$

Зависимость $p_2/p_1(M)$ теор и $p_2/p_4(M)$ эксп

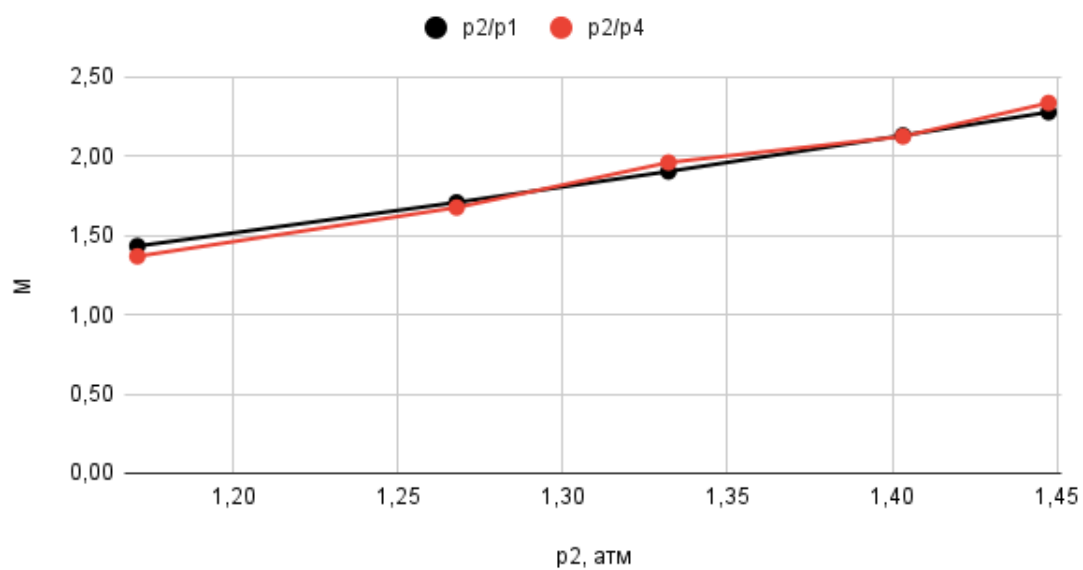


Рис. 3: Зависимость $p_2/p_1(M)$

Также ниже представлены тарифовочные кривые для $p_2 - p_1$ и $p_T - p_2$.

р2-р1 и рт-р2 (А1)

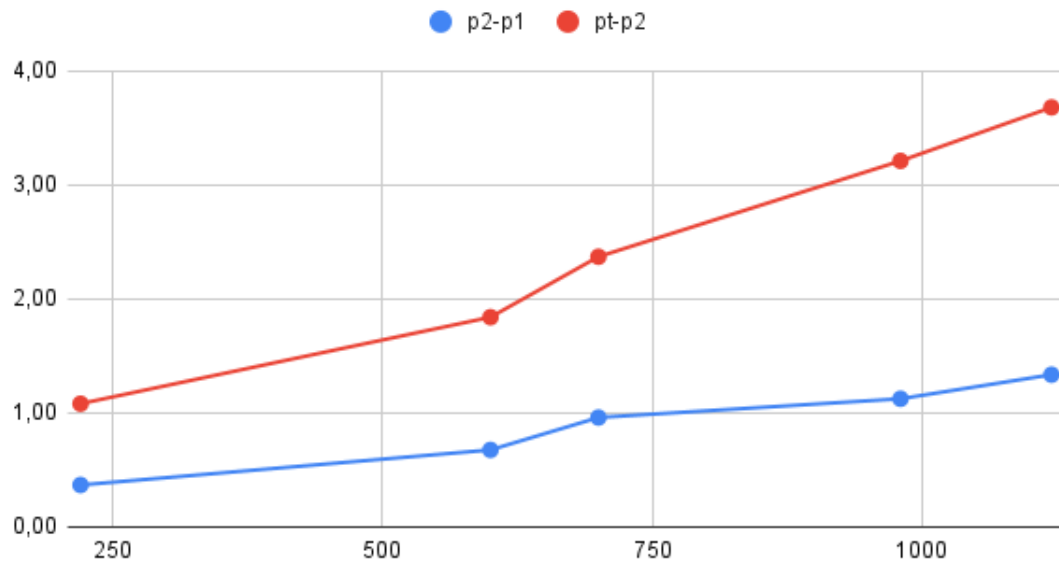


Рис. 4: Тарифовочная кривая для А1

р2-р1 и рт-р2 (А2)

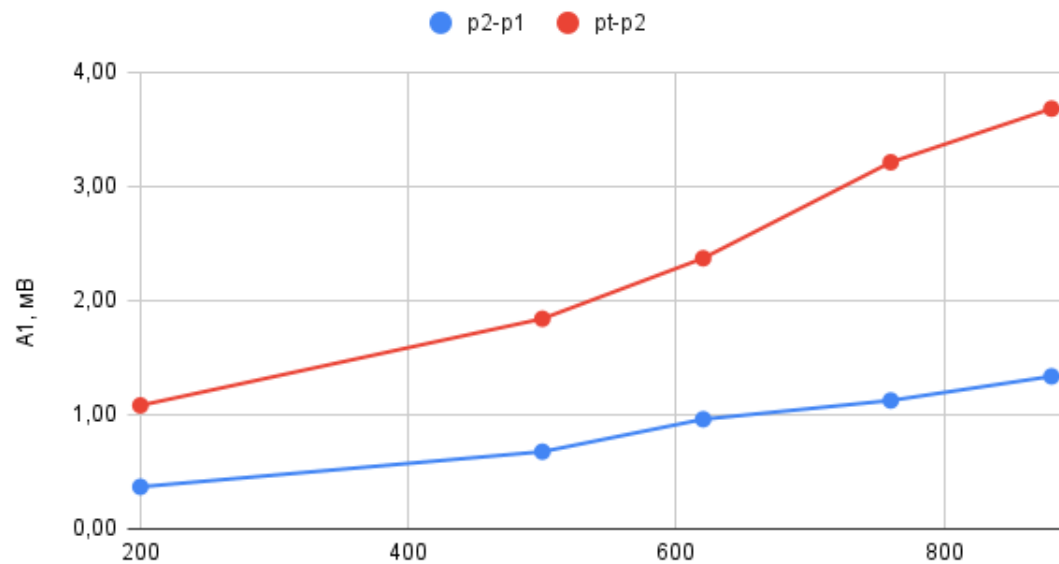


Рис. 5: Тарифовочная кривая для А2

2 Вывод

Главным выводом в данной работе является то, что зависимость давления p_4 от числа Маха растет экспоненциально, что показано на графике (2).