

Nazwisko .....

Data .....

Nr na liście .....

Imię .....

Wydział .....

Dzień tyg. ....

Godzina .....

## Ćwiczenie 107

### Przemiany gazowe

---

**Tabela I: Część C07. Prawo Boyle'a**

Temperatura gazu przed sprężeniem  $t_p = \dots\dots\dots$  °C,  $T_p = \dots\dots\dots$  K

Początkowa objętość strzykawki ..... ml

V, [ml]	1/V, [ml <sup>-1</sup> ]	p, [kPa]	p·V, [kPa·ml]

Temperatura gazu po sprężeniu  $t_k = \dots\dots\dots$  °C,  $T_k = \dots\dots\dots$  K

**Tabela II: Część C09. Przemiana izochoryczna**

$t$	[°C]								
$p$	[kPa]								
$t$	[°C]								
$p$	[kPa]								

Wyznaczona temperatura zera bezwzględnego  $t_0 = \dots\dots\dots$  °C,  $T_0 = \dots\dots\dots$  K

Tablicowa temperatura zera bezwzględnego  $t_{tab} = \dots\dots\dots$  °C,  $T_{tab} = \dots\dots\dots$  K

## Ćwiczenie 107: PRZEMIANY GAZOWE

### CEL

Ćwiczenie 107 składa się z dwóch części C07 i C09.

Celem ćwiczenia w części C07 jest sprawdzenie *prawa Boyle'a* - zbadany zostanie związek pomiędzy ciśnieniem i objętością próbki powietrza w stałej temperaturze. Celem ćwiczenia w części C09 jest sprawdzenie zależności ciśnienia gazu od temperatury, przy stałej objętości gazu oraz wyznaczenie teoretycznej granicy niskiej temperatury. Teoretyczna wartość najniższej temperatury nazywana jest *zerem absolutnym*.

### TEORIA

Aby opisać przemiany, jakim podlegają gazy, wprowadzono pojęcie *gazu doskonałego*. Gazem doskonałym nazywa się taki gaz, którego cząsteczki nie oddziałują między sobą.

Energia wewnętrzna każdego ciała jest sumą energii kinetycznej i potencjalnej cząsteczek, z których jest ono zbudowane. Jeżeli odległości między cząsteczkami są duże, to oddziaływanie między cząsteczkami jest słabe. Gaz doskonały jest przybliżeniem gazu rzeczywistego, w którym zaniedbano oddziaływania na odległość pomiędzy cząsteczkami i związaną z nimi energię potencjalną. Cząsteczki gazu doskonałego traktujemy jako bardzo małe, doskonale sprężyste kulki, które doznają zderzeń pomiędzy sobą i ściankami naczynia. Energia wewnętrzna gazu doskonałego wynika jedynie z energii kinetycznej cząsteczek, która zależy tylko od temperatury. W warunkach pokojowych gazy rzeczywiste dobrze spełniają przybliżenie gazu doskonałego, a odstępstwa od tej idealizacji obserwuje się przy zwiększonym ciśnieniu lub w niskich temperaturach.

Stan gazu jako substancji możemy opisać podając 3 wielkości fizyczne, które mogą być doświadczalnie określone. Są nimi ciśnienie  $p$ , objętość  $V$  i temperatura  $T$  gazu.

#### *Równanie stanu gazu doskonałego.*

W ogólnym przypadku, gdy przy stałej masie gazu zmieniają się wszystkie trzy wielkości fizyczne charakteryzujące gaz, tzn.  $V$ ,  $p$  i  $T$ , związek pomiędzy nimi można zapisać następująco:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

lub ogólniej

$$\boxed{\frac{pV}{T} = \text{constans}}.$$

W tym wzorze temperatura musi być wyrażona w kelwinach.

Często ilość gazu wyrażana jest w *molach*. *Mol jest to ilość materii równa masie  $6,02 \cdot 10^{23}$  cząsteczek danego pierwiastka lub związku chemicznego.*

Podana liczba  $N_0 = 6,02 \cdot 10^{23}$  cząsteczek danego pierwiastka nosi nazwę *liczby Avogadra* i jest równa liczbie atomów zawartych w 12 g izotopu węgla  $^{12}\text{C}$ . *Masa 1 mola odpowiada masie atomowej lub cząsteczkowej substancji wyrażonej w gramach.*

Stałą w równaniu stanu gazu można łatwo obliczyć, ponieważ 1 mol gazu zajmuje objętość  $V_m = 22,4 \text{ dm}^3$ , pod ciśnieniem  $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$  i w temperaturze  $T_0 = 273,15 \text{ K}$  (są to tak zwane warunki normalne). Podstawiamy te dane do równania stanu  $n$  moli gazu:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot n V_m}{T_0} = n \frac{p_0 \cdot V_m}{T_0} = nR, \quad \text{gdzie } R = \frac{p_0 \cdot V_m}{T_0}.$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymamy  $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ .

$R$  jest ważną stałą fizyczną – nosi ona nazwę *stałej gazowej*. Równanie stanu gazu doskonałego dla  $n$  moli może, więc, być zapisane w postaci

$$pV = nRT.$$

Tak zapisane równanie stanu gazu nosi nazwę *równania Clapeyrona*. Jeżeli przez  $m$  oznaczymy masę gazu, przez  $\mu$  – masę cząsteczkową, to  $n = m/\mu$ .

Z ogólnego równania stanu gazu wynikają szczególne zależności pomiędzy dwiema z trzech wielkości, gdy jedna z nich jest stała. Zależności te znane są jako prawa przemian gazowych.

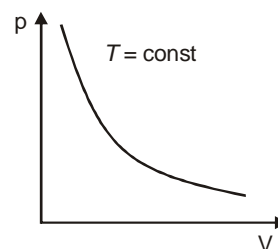
### Przemiana izotermiczna

W przemianie izotermicznej temperatura gazu jest stała. Wówczas iloczyn ciśnienia danej masy gazu i jego objętości jest wielkością stałą:

$$\text{dla } T = \text{const}, \quad pV = \text{const}$$

Związek ten nosi nazwę *prawa Boyle'a i Mariotte'a*. Wykres przemiany izotermicznej nazywa się *izotermą*.

Z prawa B–M wynika, że dla gazu doskonałego w stałej temperaturze, ciśnienie jest odwrotnie proporcjonalne do objętości.



### Przemiana izobaryczna

W przemianie izobarycznej wielkością stałą, oprócz masy gazu, jest ciśnienie. W tej przemianie iloraz objętości i temperatury gazu jest wielkością stałą:

$$\text{dla } p = \text{const}, \quad \frac{V}{T} = \text{const}.$$

Z równań na przemianę izobaryczną wynika liniowa zależność między objętością i temperaturą gazu. Zależność ta jest znana jako *prawo Gay-Lussaca*.

Spróbujmy wyrazić wzór dla przemiany izobarycznej, gdy temperatura jest w skali Celsjusza:

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} = \frac{V_0}{273,15} \Rightarrow V = V_0 \frac{T}{273,15} = V_0 \frac{t + 273,15}{273,15} = V_0 \left(1 + \frac{1}{273,15} t\right).$$

Jeśli oznaczymy,  $\beta = \frac{1}{273,15} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ , to otrzymamy znany wzór na rozszerzalność objętościową

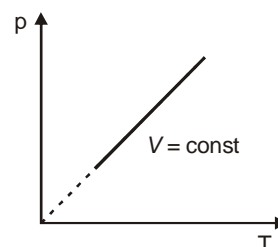
$$V = V_0(1 + \beta t).$$

We wzorze tym  $V_0$  oznacza objętość gazu w temperaturze  $0^\circ\text{C}$ , a  $\beta$  wartość współczynnika rozszerzalności objętościowej, który ma jednakową wartość dla każdego gazu.

### Przemiana izochoryczna

Trzecią przemianą gazu doskonałego jest przemiana izochoryczna. Przy stałej masie gazu oraz stałej objętości, iloraz ciśnienia i temperatury jest wielkością stałą:

$$\text{dla } V = \text{const}, \quad \frac{p}{T} = \text{const}$$

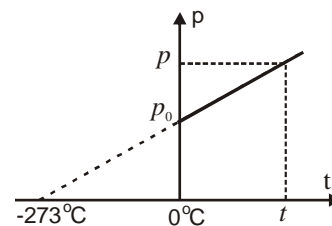


Zależność ta nosi nazwę *prawa Charlesa*. Gdy temperaturę wyrazimy w stopniach Celsjusza, otrzymamy:

$$p = p_0(1 + \gamma t).$$

Tutaj  $p_0$  oznacza ciśnienie gazu w temperaturze  $0^\circ\text{C}$ , a  $\gamma$  jest współczynnikiem prężności, który ma jednakową wartość dla każdego gazu, taką samą jak  $\beta$ .

Rysunek obok pokazuje, jak na podstawie prostego pomiaru zależności temperaturowej ciśnienia gazu można sprawdzić wartość temperatury zera absolutnego w stopniach Celsjusza — należy w tym celu przedłużyć wykres ciśnienia, aż przetnie on oś temperatury.



## WYKONANIE ĆWICZENIA

### Część C07. Sprawdzanie prawa Boyle'a

POTRZEBNE WYPOSAŻENIE	
• Interfejs „Science Workshop 300”	• Czujnik temperatury
• Czujnik ciśnienia	• Układ strzykawka-czujnik temperatury

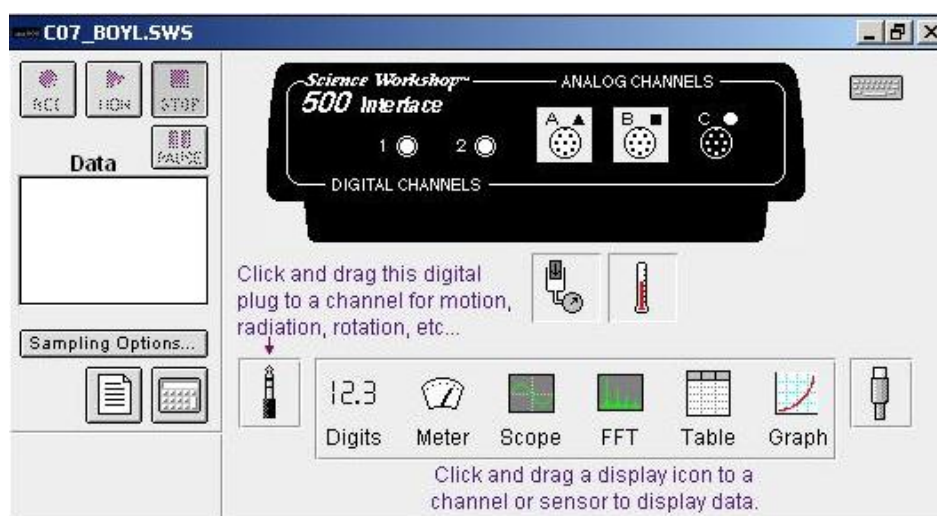
W tej części doświadczenia sprawdzimy czy, zgodnie z prawem Boyle'a, dla stałej masy gazu w stałej temperaturze ciśnienie jest odwrotnie proporcjonalne do objętości.

Przygotowanie komputera – nie zapisuj zmian w plikach (DON'T SAVE)

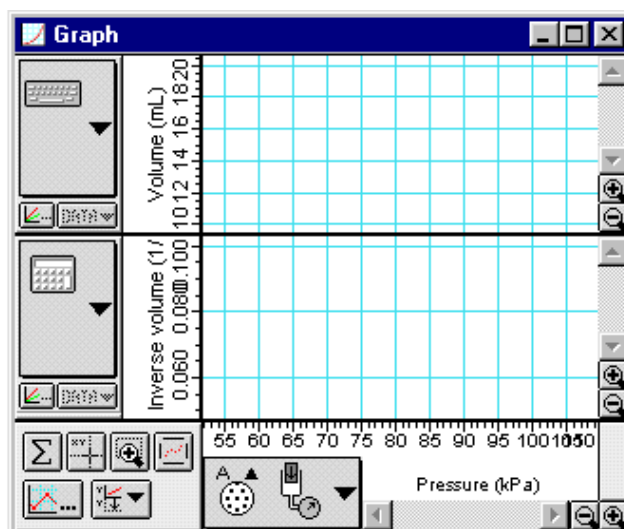
1. Włącz zasilanie stołu (patrz deska rozdzielcza stołu – przy Twojej lewej nodze gdy siedzisz na wprost komputera) – przekręć czerwoną „gałkę” w kierunku strzałek (powinna wyskoczyć), przekręć kluczyk jak w samochodzie i puść. Automatycznie włączy się interfejs i komputer.
2. Automatycznie uruchomi się system operacyjny *Windows* i program „*Science Workshop*”. Otwórz (File, Open) w katalogu *Library\Chemistry*, dokument **C07\_BOYL.SWS**. Na ekranie zobaczymy okno podstawowe **C07** (w postaci zwiniętej), okna **Graph** i **Table** — przedstawiające zależność objętości (Volume) i odwrotności objętości (Inverse volume) od ciśnienia (Pressure), okienko **Pressure** — wyświetlające wartość ciśnienia oraz okienko **Temperature** – wyświetlające temperaturę powietrza w układzie strzykawki.

### Okna ćwiczenia C07

Okno podstawowe „C07\_BOYL” — zawiera przyciski sterowania.



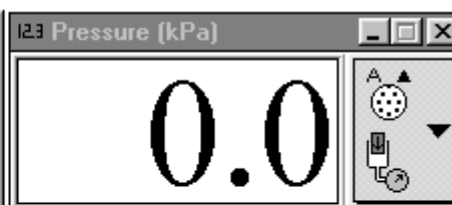
Okno „Graph” — przedstawia zależność objętości i odwrotności objętości od ciśnienia.



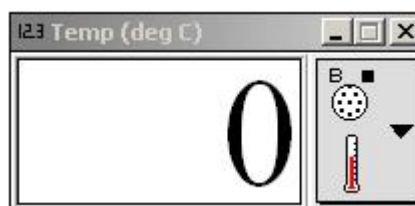
Okno „Table”

Index	Pressure (kPa)	Volume (mL)	Invol (1/mL)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Okno „Pressure”



Okno „Temperature”



### Przygotowanie układu pomiarowego

1. Podłącz wtyczkę zatraskową na końcu **zielonego** przewodu plastikowego, wychodzącego z układu strzykawki, do gniazda PRESSURE PORT na przedniej ścianie miernika ciśnienia „PRESSURE SENSOR”. Wtyczkę należy wcisnąć do gniazdka i przekręcić pierścień zatraskowy o ok. 30 stopni.

Przed podłączeniem tłok powinien być w pobliżu objętości 50 ml lub 60 ml strzykawki. Zapytaj prowadzącego o początkową wartość objętości gazu w strzykawce. Patrz zdjęcie po prawej.



2. Podłącz czujnik temperatury – **srebrny** przewód mini stereo jack do czujnika temperatury „THERMISTOR SENSOR”.


**UWAGA! Sprawdź czy srebrny mini stereo jack jest wciśnięty do końca. Nieprawidłowe podłączenie powoduje błędne wskazania temperatury.**

3. Czujniki „PRESSURE SENSOR” i „THERMISTOR SENSOR” powinny być podłączone na stałe do interfejsu. „PRESSURE SENSOR” do kanału **A**, a „THERMISTOR SENSOR” do kanału **B** – nie zamieniaj połączeń!

### Przebieg i rejestracja pomiarów

1. Naciśnij przycisk **MON** i z okna **Temperatury** odczytaj wartość temperatury przed sprężaniem gazu. Wpisz ją do tabeli jako temperatura gazu przed sprężeniem  $t_p$ .
2. Naciśnij **Stop Sampling**
3. Naciśnij w oknie **C07\_BOYL.SWS** przycisk **REC**. Otworzy się wówczas okno dialogowe Keyboard Sampling.
4. Ustaw objętość powietrza w strzykawce na 50 ml lub 60 ml. Prowadzący ustala początkową objętość. Wpisz ją do tabeli.
5. Kiedy odczyt ciśnienia ustabilizuje się, wpisz w rubryce oznaczonej Entry # 1 wartość początkową objętości 50 lub 60 i naciśnij **Enter**. Ciśnienie zostanie automatycznie zarejestrowane.
6. Zmniejsz objętość o 5 ml. Wpisz odpowiednio 45 lub 55 jako Entry # 2 i naciśnij **Enter**.
7. Kontynuuj zmniejszanie objętości o 5 ml. Zapisuj w oknie dialogowym aktualne objętości, aż dojdiesz do objętości 25 lub 35 ml (odpowiednio).
8. Kiedy wprowadzisz objętość 25 lub 35 ml naciśnij **Stop Sampling** w celu zakończenia pomiarów.
9. Odczytaj temperaturę gazu po sprężeniu powietrza. Wartość z okna **Temperatury**. Zapisz do tabeli.
10. Odłącz wtyczkę zatraskową do gniazda czujnika ciśnienia i przewód mini stereo jack od czujnika temperatury.
11. Układ oddaj prowadzącemu.

### Analiza danych

1. Uaktywnij okno Graph. Przyciskiem automatycznego skalowania  można przeskalować wykres. Wówczas skala osi x i y zostanie dopasowana do uzyskanych danych liczbowych.
2. Poproś prowadzącego o zapis i wydruk wykresu.
3. Wypełnij tabelę odpowiednimi danymi z tabeli otrzymanej podczas doświadczenia.
4. Wykonaj obliczenia iloczynu ciśnienia i objętości dla każdej wartości objętości. Opisz wnioski z uzyskanych danych liczbowych i z wykresów.

### Część C09. Przemiana izochoryczna gazu

POTRZEBNE WYPOSAŻENIE	
• Interfejs „Science Workshop 300”	• Czujnik temperatury
• Czujnik ciśnienia	• Metalowa sfera z układem podgrzewającym

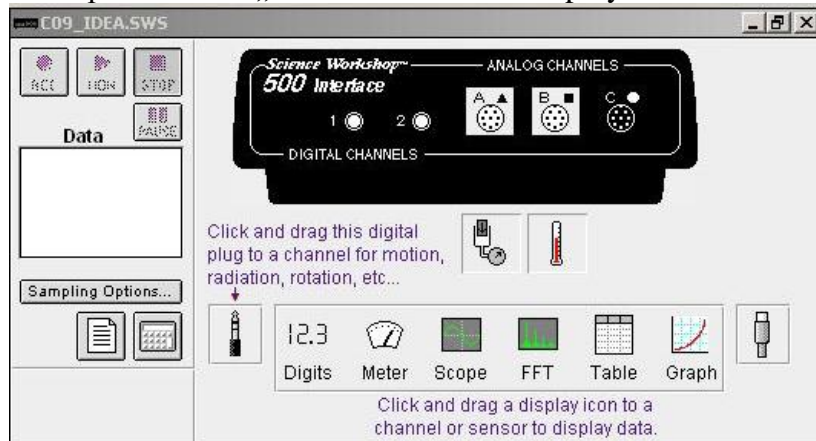
W tej części doświadczenia zbadana zostanie przemiana izochoryczna — gaz zamknięty w sztywnym pojemniku (metalowa sfera) o stałej objętości będzie podgrzewany od temperatury pokojowej do temperatury około 70°C. Uzyskany wykres przemiany powinien być linią prostą, co umożliwia sprawdzenie teoretycznej granicy niskich temperatur.

## Przygotowanie komputera – nie zapisuj zmian w plikach (DON'T SAVE)

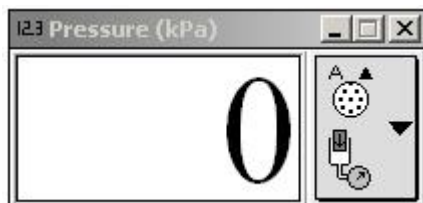
1. Otwórz (File, Open) w katalogu *Library\Chemistry*, dokument **C09\_IDEA.SWS**. Na ekranie pojawi się okno podstawowe **C09**, okna **Graph** i **Table** — przedstawiające zależność ciśnienia od temperatury. Osie współrzędnych wykresu stanowi ciśnienie w przedziale  $(-10 \div 150)$  kPa, oraz temperatura w zakresie  $(-300 \div 100)^\circ\text{C}$ .
2. Widoczne jest również okienko **Pressure** — wyświetlające wartość ciśnienia oraz okienko **Temperature** — wyświetlające temperaturę gazu w zamkniętej sferze.

## Okna ćwiczenia C09

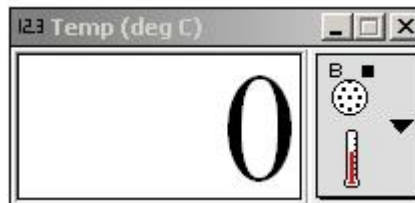
Okno podstawowe „C09\_IDEA” — zawiera przyciski sterowania.



## Okno „Pressure”



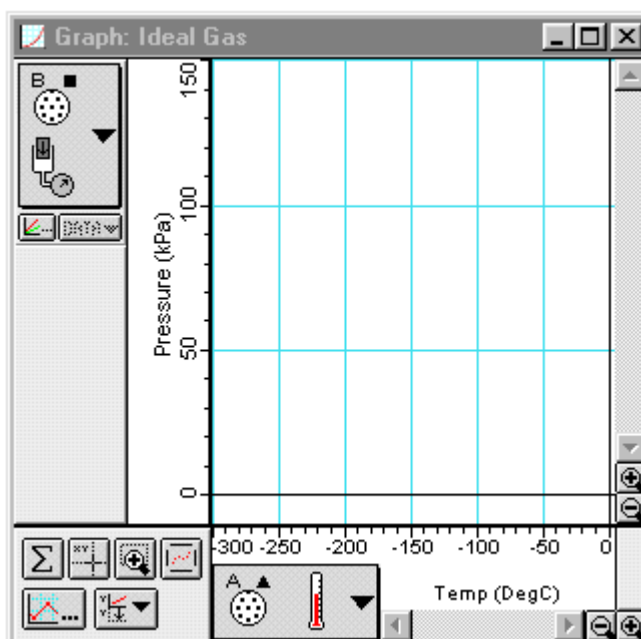
## Okno „Temperature”



## Okno „Table”.

Index	Temp (DegC)	Pressure (kPa)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
Minimum		
Maximum		
Mean		
Std. Dev.		

## Okno „Graph” — przedstawia zależność ciśnienia od temperatury



## Przygotowanie układu pomiarowego

Układ eksperymentalny stanowi metalowy sferyczny zbiornik z powietrzem w kształcie kuli, w którego wylotach umieszczone są czujniki ciśnienia i temperatury. Całość, na stałe, umieszczona jest w elektrycznym podgrzewaczu. **Nie wolno demontować lub zmieniać połączeń układu!**

1. Podłącz wtyczkę zatraskową na końcu **przeźroczystego** przewodu plastikowego, wychodzącego z metalowej sfery, do gniazda PRESSURE PORT na przedniej ścianie miernika ciśnienia „PRESSURE SENSOR”.
2. Podłącz czujnik temperatury – **czarny** przewód mini stereo jack do czujnika temperatury „THERMISTOR SENSOR”. Patrz zdjęcie po prawej.

**Sprawdź czy czarny mini stereo jack jest wciśnięty do końca. Nieprawidłowe podłączenie powoduje błędne wskazania temperatury.**

3. Miernik ciśnienia oraz miernik temperatury (tak jak w części C07) podłączone są na stałe do analogowego kanału **A** oraz **B** interfejsu. **Nie odłączaj i nie zmieniaj połączeń!**



## Przebieg i rejestracja pomiarów

1. Włącz grzanie sfery – **przełącznik na listwie**.
2. Naciśnij w oknie **C09** przycisk **REC**.
3. Kontynuuj pomiar, aż gaz w sferze osiągnie temperaturę ok. 70°C. Patrz na okno **Temperatury!**
4. Naciśnij **STOP**, aby zakończyć rejestrację danych.
5. Wyłącz grzanie sfery – **przełącznik na listwie**.

**BARDZO WAŻNE! Poinformuj prowadzącego, że została zakończona część C09 ćwiczenia. Prowadzący sprawdza czy układ grzania został wyłączony.**

## Analiza danych

1. Uaktywnij okno „**Graph**”.
2. Naciśnij przycisk statystyki **Σ**. Uwaga: okno statystyki może częściowo przesłonić wykres. Żeby przeskalować wykres należy wybrać skalę osi poziomej i w pojawiającym się okienku wpisać „-300” jako minimum i „100” jako maksimum.
3. Naciśnij przycisk menu statystyki **Σ▼** w polu statystyki. Wybierz z menu pozycję dopasowanie krzywej, dopasowanie liniowe – (Curve Fit, Linear Fit).
4. Naciśnij przycisk kursora precyzyjnego **Xy** w lewym dolnym rogu okna wykresu. Przenieść kursor do obszaru wykresu — zmienia się on wówczas w dwie skrzyżowane nitki.
5. Ustaw kursor tak, aby jego nitka pionowa zawierała punkt przecięcia linii prostej z osią temperatury. Współrzędna punktu przecięcia jest przybliżoną wartością doświadczalną *temperatury zera bezwzględnego*  $t_0$ , odpowiadającą zerowej wartości ciśnienia gazu idealnego.
6. W polu statystyki odczytaj współrzędną przecięcia osi ciśnienia przez linię prostą  $p = a_1 + a_2 t$ , czyli wartość parametru  $a_1$  oraz nachylenie tej prostej — współczynnik  $a_2$ .

Jeżeli oznaczymy  $t_0$  jako punkt, dla którego  $p = 0$ , to  $t_0 = -\frac{a_1}{a_2}$ .

Obliczona wartość powinna być równa wartości  $t_0$  odczytanej bezpośrednio z wykresu.

7. Uzupełnij tabelę danymi z okna tabeli „Ideal Gas” wybierając kilkanaście punktów tak by widoczne były zmiany ciśnienia (np. co 1 kPa).