INSTITUT FÜR PHYSIK DER
HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

PHYSIKALISCHES GRUNDPRAKTIKUM I

Versuchsprotokoll

P2 : T7 – Spezifische Wärmekapazität Idealer Gase

Versuchsort: Raum 215 - 2

Versuchsbetreuer: Dipl.-Phys. T. Schröder

Name:

Drobniewski, Kai; Matr.Nr.: [redacted]

Versuchspartner:

[redacted] Matr.Nr.: [redacted]

27. Mai 2009

Inhaltsverzeichnis

1. **Abstrakt** **1**
2. **Versuchsaufbau und -durchführung** **1**
3. **Messergebnisse und Auswertung** 2
   - **3.1** Bestimmung von κ von Luft nach Clément-Desormes 2
   - **3.2** Bestimmung von κ von Luft nach der Schwingungsmethode 4
   - **3.3** Bestimmung von κ von Argon nach der Schwingungsmethode 5
4. **Fehleranalyse und Ergebniseinschätzung** **6**
   - **4.1** Auswertung der Ergebnisse 6
5. **Anhang** 8
   - **5.1** Messdatenprotokoll 8

1. Abstrakt

In dem Versuch soll mithilfe der Clément-Desormes-Methode, sowie der Schwingungsmethode, der Adiabatenexponent κ von Luft bestimmen. Außerdem soll mit der Schwingungsmethode κ von Argon ermittelt werden.

Der Adiabatenexponent ist das Verhältnis zwischen der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck zu der bei konstantem Volumen und verrät uns somit nicht nur etwas über die Eigenschaft der Stoffe, sondern auch über deren molekularen Aufbau.

2. Versuchsaufbau und –Durchführung

Am Anfang des Versuchs wurde die Zimmertemperatur durch das Raumthermometer bestimmt ($T_{ZA} = (24{,}9 \pm 0{,}5)°C$), genau wie am Ende des Versuchs ($T_{ZE} = (25{,}0 \pm 0{,}5)°C$).
Wie man sieht, hat sich die Zimmertemperatur ganz leicht erhöht (0,1°C), was aber wegen der geringen Differenz unsere Messungen nicht großartig beeinflussen sollte.

Außerdem wurde der Luftdruck im Gebäude mittels eines Barometers in einer Glasvitrine im Flur bestimmt ($p_0 = (1022 \pm 1)hPa$).

Danach erfolgte die Messung nach der Methode von Clément-Desormes, bei der wir zuerst den Druck der Luft durch dreimaliges drücken des Druckballs erhöhten.
In der 1. Messung haben wir dann die Höhen der beiden Säulen jede Minute (insgesamt 5 min lang) gemessen, während wir bei den weiteren Messungen abgewartet haben, bis sich der Stand der Säulen nicht mehr ändert (ein paar Minuten).
Nach der kurzen Öffnung des Zweiwegehahns machten wir dann dasselbe noch einmal.
Durch den Höhenunterschied kann daraufhin der Druck im Gas berechnet werden.

Bei der Messung nach der Schwingungsmethode wurde dann die Zeitspanne von 100 Schwingungen (200 Durchläufe) mittels einer Lichtschranke gemessen, zuerst für Argon, dann für Luft.

Für detailliertere Informationen betrachte man das Script.

Benutzte Messmittel, bzw. angegebene/abgeschätzte Unsicherheiten:

Messung	Messunsicherheit
Zeitmessung	0,01 s
Maßstab	0,5 mm

Berechnungen erfolgten mit „Microsoft Excel“ und unter Verwendung von „QtiPlot“.

Folgende Formeln aus dem Script wurden verwendet:

$$\kappa = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \qquad (1)$$

$\kappa -$ Adiabatenexponent

$h_1 -$ Höhendifferenz vor Öffnung

$h_2 -$ Höhendifferenz nach Öffnung

$$\kappa = \frac{4 \cdot V \cdot m}{r^4 \cdot p \cdot T^2} \qquad (2)$$

$V -$ Volumen des Gases

$m -$ Masse des Gases

$r -$ Radius des Schwingungskörpers

$T -$ Periodendauer der Schwingung

$p -$ Druck im Behälter

$$p = p_0 + \frac{m \cdot g}{\pi \cdot r^2} \qquad (3)$$

$p_0 -$ äußerer Luftdruck

$g -$ Fallbeschleunigung 9,81 m/s^2

3. Messergebnisse und Auswertung

3.1 Bestimmung von κ von Luft nach Clément-Desormes

Bei der Methode von Clément-Desormes verwenden wir zwei verschiedene Methoden zur Bestimmung von κ, wie bereits in 2. erwähnt.

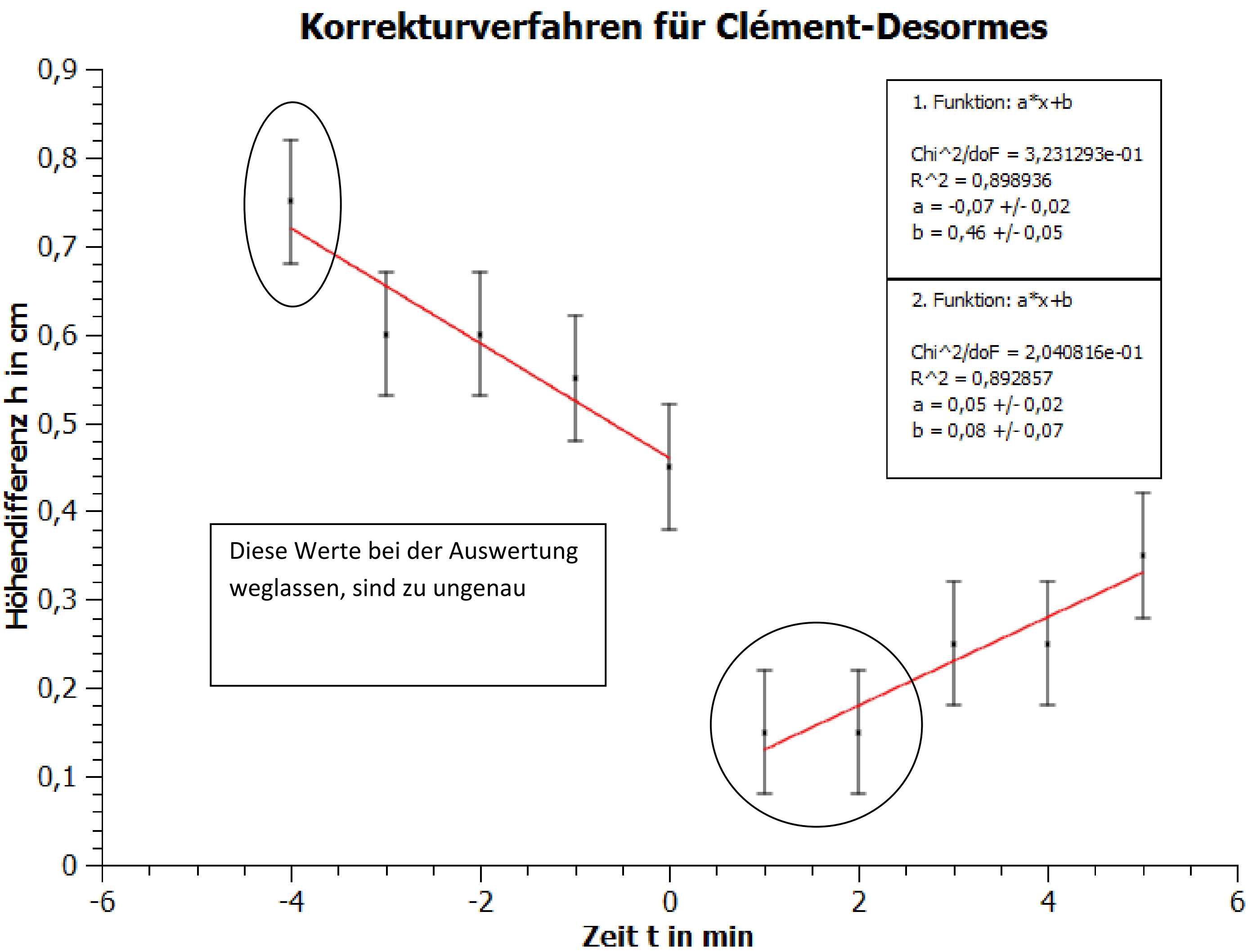
Die Höhenunterschiede berechnen sich dabei aus der Differenz der beiden gemessenen Höhen und die Unsicherheit aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz, wobei nach h_1 und nach h_2 abgeleitet wird.

Höhendifferenzen für die 1. Methode

Messung n	Δh_1 in cm	Δh_2 in cm
1	0,75±0,07	0,15±0,07
2	0,60±0,07	0,15±0,07
3	0,60±0,07	0,25±0,07
4	0,55±0,07	0,25±0,07
5	0,45±0,07	0,35±0,07

Die Höhendifferenz zur Berechnung von κ ergibt sich nun aus der im Korrekturverfahren ermittelten Höhendifferenz. Dafür müssen wir nur den Funktionswert der 2. Funktion an der Stelle t=0 (entspricht b) berechnen und diesen vom Wert von Δh_1 zum Zeitpunkt t=0 (der 5.) abziehen.

Das ergibt dann unseren Höhenunterschied $h_1 - h_2$ aus Formel (1), die wir zur Berechnung von κ verwenden. Die Unsicherheit ergibt sich wieder aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz unter Berücksichtigung der Unsicherheiten von Δh und der Unsicherheit von $h_1 - h_2$, die sich äquivalent unter Berücksichtigung von Δh und b ergibt.



Somit erhalten wir nach der 1. Methode:

Ergebnisse für κ nach der Korrekturmethode

Δh_1 bei t=0	Korrekturpunkt b	$h_1 - h_2$	κ
(0,45±0,07)cm	(0,08±0,07)cm	(0,4±0,1)cm	(1,2±0,4)

$$\kappa_{LK} = \underline{\underline{(1{,}2 \pm 0{,}4)}}$$

Nach der 2. Methode erhalten wir verschiedene Höhendifferenzen (n=6 entspricht der ersten Messung aus der 1. Methode) mit denen wir dann nach Formel (1) den Adiabatenexponent κ berechnen können.

Die Unsicherheit ergibt sich dabei aus dem Fehlerfortplfanzungsgesetz für unkorellierte Größen unter Berücksichtigung der einzelnen Höhen.

Berechnung von κ nach Clémens-Desormes „2“

Messung n	Δh_1 in cm	Δh_2 in cm	κ
1	1,20±0,07	0,25±0,07	1,3±0,1
2	0,70±0,07	0,25±0,07	1,6±0,3
3	1,15±0,07	0,25±0,07	1,3±0,1
4	0,65±0,07	0,25±0,07	1,6±0,3
5	0,85±0,07	0,25±0,07	1,4±0,2
6	0,75±0,07	0,15±0,07	1,3±0,2

Unser gesuchtes κ erhalten wir durch Bildung des Mittelwerts von κ und die Unsicherheit durch den größten berechneten Wert (ungewichtete Variante) oder durch Bildung des gewichteten Mittelwertes und deren Unsicherheit.

$$\kappa_{L2U} = \underline{\underline{(1{,}4 \pm 0{,}3)}} \qquad \kappa_{L2G} = \underline{\underline{(1{,}31 \pm 0{,}06)}}$$

3.2 Bestimmung von κ von Luft nach der Schwingungsmethode

Bei der Schwingung des Schwingungskörpers muss beachtet werden, dass auch die Luft über dem Körper mitschwingt und die Masse des Gases in die Rechnungen mit einfließen.
Allerdings befindet sich die Größe dieser Masse im Bereich von 0,02g bis 0,03g, weshalb sie vernachlässigt werden kann.

Für den Versuchsaufbau wurden folgende Werte angegeben:
$\boldsymbol{m_L = (6,122 \pm 0,005)g}$, $\boldsymbol{r_L = (6,965 \pm 0,005)mm}$, $\boldsymbol{V_L = (4381 \pm 10)cm^3}$

Während des Versuchs wurden die Zeiten für 100 Schwingungen gemessen. Die Periodendauern ergeben sich nun aus dem 100. Teil dieser Zeit, ebenso die Unsicherheit aus der Unsicherheit der Zeit und die Gesamtunsicherheit aus der Addition der Beträge der Unsicherheit für T mit dem Vertrauensbereich.

Perdiodendauer T für die Schwingungsmethode mit Luft

Messung n	Periodendauer T in s
1	0,5723±0,0001
2	0,5726±0,0001
3	0,5726±0,0001
4	0,5726±0,0001
5	0,5724±0,0001
6	0,5725±0,0001
Mittelwert	0,5725
Standartabweichung	0,0001
Vertrauensbereich	0,00005

Wir erhalten also für die Periodendauer T bei der Messung mit Luft: $T_L = \underline{\underline{(0{,}5725 \pm 0{,}0002)s}}$

Um κ zu berechnen, benötigen wir nun noch den Druck innerhalb des Kolbens, den wir mit Formel (3) berechnen. Dabei ist auf die Umrechnung der Einheiten zu achten.
Die Unsicherheit ergibt sich dabei aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz für unkorrelierte Größen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten des Luftdrucks $\boldsymbol{p_0}$, der Masse m du des Radius r.

$$p_L = \underline{\underline{(1026 \pm 1)hPa}}$$

Wir erhalten für den Druck:

Nun können wir den Adiabatenexponenten κ nach Formel (2) berechnen.
Für die Unsicherheit gilt wieder das Fehlerfortpflanzungsgesetz für unkorrelierte Größen unter Berücksichtigung von V, m, r, p und T.

Somit erhalten wir für den Adiabatenexponent: $\kappa_L = \underline{\underline{(1{,}356 \pm 0{,}005)}}$

3.3 Bestimmung von κ von Argon nach der Schwingungsmethode

Auch hier gilt eigentlich die Beachtung der Masse des mitschwingenden Gases.
Da aber Argon mit einer Dichte von $\boldsymbol{\rho = 1{,}784\, kg/m^3}$ nur eine 1,38 mal so große Dichte wie Luft besitzt, würden wir Massen in der Größe von 0,03g bis 0,04g erhalten, was ebenfalls vernachlässigbar ist.

Für den Versuchsaufbau wurden folgende Werte angegeben:
$\boldsymbol{m_A = (6{,}231 \pm 0{,}005)g}$, $\boldsymbol{r_A = (6{,}965 \pm 0{,}005)mm}$, $\boldsymbol{V_A = (4235 \pm 10)cm^3}$

Die Messung erfolgte wie bei 3.2 und die Rechnungen erfolgen analog.

Perdiodendauer T für die Schwingungsmethode mit Argon

Messung n	Periodendauer T in s
1	0,5257±0,0001
2	0,5258±0,0001
3	0,5257±0,0001
4	0,5256±0,0001
5	0,5255±0,0001
6	0,5254±0,0001
Mittelwert	0,52562
Standartabweichung	0,0001
Vertrauensbereich	0,00006

Dadurch erhalten wir für die Periodendauer, den Druck und den Adiabatenexponenten:

$$T_A = \underline{\underline{(0{,}5256 \pm 0{,}0002)s}} \qquad p_A = \underline{\underline{(1026 \pm 1)hPa}} \qquad \kappa_A = \underline{\underline{(1{,}582 \pm 0{,}006)}}$$

4. Fehleranalyse und Ergebniseinschätzung

4.1 Auswertung der Ergebnisse

Luft besteht zu 78% aus Stickstoff (N_2), 21% Sauerstoff (O_2) und zu 1% aus Gasen wie Kohlenstoffdioxid (CO_2), Argon (Ar) und Wasserstoff (H_2).
Damit kann es in guter Näherung als ein Gasgemisch mit zweiatomigen Molekülen angenommen werden, die insgesamt 5 Freiheitsgrade besitzen, während Argon ein einatomiges Edelgas mit 3 Freiheitsgraden ist.

Unter diesen Voraussetzungen erhalten wir mit $\kappa = 1 + \frac{2}{f}$: $\kappa_{LV} = 1{,}4$ und $\kappa_{AV} \approx 1{,}67$.

$$\kappa_{LK} = \underline{\underline{(1{,}2 \pm 0{,}4)}} \qquad \kappa_{L2U} = \underline{\underline{(1{,}4 \pm 0{,}3)}} \qquad \kappa_{L2G} = \underline{\underline{(1{,}31 \pm 0{,}06)}}$$

$$\kappa_{L} = \underline{\underline{(1{,}356 \pm 0{,}005)}} \qquad \kappa_{A} = \underline{\underline{(1{,}582 \pm 0{,}006)}}$$

Vergleichen wir diese Werte mit unseren Ermittelten, so erkennen wir, dass der Wert von κ für Luft innerhalb des Intervalls der Größe von der Korrekturmethode liegt, der ungewichtete Wert der 2. Methode exakt diesen Wert annimmt (und alle κ, aus denen dieser Mittelwert gebildet wurde ebenso den Wert in ihrem Intervall einschließen), der gewichtete Wer t genau wie der Letzte nach der Schwingungsmethode nah dran liegt.

Möglicherweise ist die Unsicherheit des Wertes zu gering gewählt, ebenso wie bei dem Wert für Argon, der auch nur in der Nähe des Wertes liegt, nicht aber im Intervall einschließt.
(Der Vergleichswert für Argon ist im Script mit 1,66 angegeben)

Ungenauigkeiten im Versuch nach der Clément-Desormes-Methode ergaben sich zum einen durch die Ableseungenauigkeit, die stark von der Wölbung der Flüssigkeit geprägt wurde, sowie von der schmalen Breite des Maßstabs, wodurch nur eine der beiden Säulen ordentlich abgemessen werden konnte, während bei der anderen der Maßstab nicht bis hinter die Röhre reichte.

Zum anderen konnte es zu Schwankungen der Temperaturen im Zimmer kommen (durch das geöffnete Fenster und den entstehendem Durchzug, wenn die Tür geöffnet wurde), was Auswirkungen auf die Temperatur im Behälter hat.

Dieser Effekt scheint aber durch die leichte Isolierung abgeschwächt zu sein, sodass diese wohl eher vernachlässigt werden kann, wie in 2. beim Vergleich der gemessenen Raumtemperaturen ebenfalls erwähnt wurde.

Bei der Schwingungsmethode kann man die fehlende Korrektur der Masse mit der mitschwingenden Luft als einen Teilfaktor der Ungenauigkeit sehen, doch wie bereits in 3.2 und 3.3 gesagt, kann man die Masse vernachlässigen, denn sie macht einen Unterschied < 1% von κ aus.

Eine nicht zu unterschätzende Ungenauigkeit ist aber die Reibung, die man gerade bei dem Versuch mit der Luft sehen konnte. Diese wurde nämlich nicht vollständig durch das einströmende Gas kompensiert, weshalb es über einen längeren Zeitraum zu einem Amplitudenabfall kam.

Man könnte den Versuch also durch eine bessere Isolierung des Systems (durch eine Isolierung des Zimmers durch konstant geschlossen gehaltenes Fenster und gehaltener Tür) verbessern.
Ebenso würde eine längere Wartezeit bei der Clément-Desormes-Methode zu einer genaueren Auswertung führen.

Um die Reibung bei der Schwingungsmethode zu minimieren, müsste man die Glasröhren und Schwingungskolben präziser aufeinander abstimmen, ebenso wie das hereinströmende Gas.