

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
LABORATÓRIO DE FÍSICA 2**

PROCESSOS TÉRMICOS NOS GASES

JOÃO VICTOR ALCÂNTARA PIMENTA

Nº USP: 11820812

DAVI GONÇALVES SELLIN

Nº USP: 11810522

SÃO CARLOS, 2020

1. RESUMO

Nesta prática, no âmbito de estudar exemplos de processos térmicos envolvendo gases, foi determinado em dois momentos o fator γ do ar, primeiramente por meio do método Clément-Desormes e secundamente por meio do método de Rüchardt, duas montagens experimentais as quais nos permitiram obter 1.42 ± 0.07 e 1.27 ± 0.07 , respectivamente; constatando, através da credibilidade proporcionada pelo primeiro método experimental, um fator γ correspondente a um gás diatômico. Finalmente, foi posto sob experimentação o conceito do “Zero Absoluto”, uma temperatura cujas moléculas constituintes do sistema em análise se encontrariam em total repouso cinético-molecular, resultando em $-279 \pm 6^\circ\text{C}$, auxiliando-nos semelhantemente na determinação tanto da pressão a 0°C quanto da constante de expansão do ar, manifestando-se $58.0 \pm 0.4 \text{ cmHg}$ e $0.00366 \pm 0.00007^\circ\text{C}^{-1}$, respectivamente.

2. INTRODUÇÃO TEÓRICA

2.1. DETERMINAÇÃO ZERO ABSOLUTO

As leis da termodinâmica são não só essenciais, mas também indispensáveis ao estudar tanto as propriedades quanto às interações térmicas entre dois ou mais sistemas. Dentre esse conjunto de leis, a que mais possui implicações funcionais, auxiliando na compreensão destes fenômenos, é a Lei Zero da Termodinâmica, cujo enunciado nos diz:

“Consideremos dois objetos A e B. Se um terceiro objeto T está em equilíbrio térmico com A e também em equilíbrio térmico com B, então A e B estão em equilíbrio entre si.”

Por conseguinte, introduz-se um novo conceito: temperatura. Este está intrinsecamente vinculado com o estado, a nível molecular, no qual o sistema estudado se encontra; especificamente, com relação ao grau de agitação das moléculas constituintes.

Conforme esta propriedade possui sua magnitude incrementada, a pressão associada ao sistema sofre de efeito semelhante, permitindo-nos não só caracterizá-la como uma

propriedade termométrica, mas também levantar questionamentos sobre a possibilidade de levar um sistema a um estado de total repouso molecular.

2.2. DETERMINAÇÃO DO FATOR γ DO AR

2.2.1. MÉTODO DE CLÉMENT-DESORMES

Lançando mão do advento conceitual introduzido pela Lei Zero da Termodinâmica, o método de Clément-Desormes demonstra, experimentalmente, o vínculo entre o grau de agitação molecular do sistema e a pressão exercida por ele sobre o recipiente no qual é armazenado.

Para tal, dispõe-se da seguinte montagem:

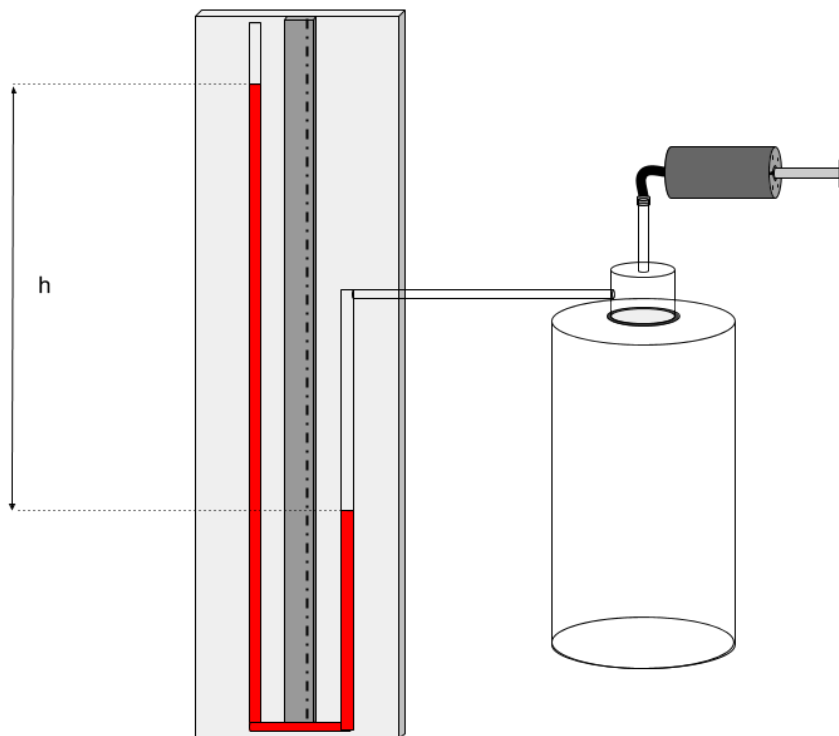


Imagem I: Montagem por Clement

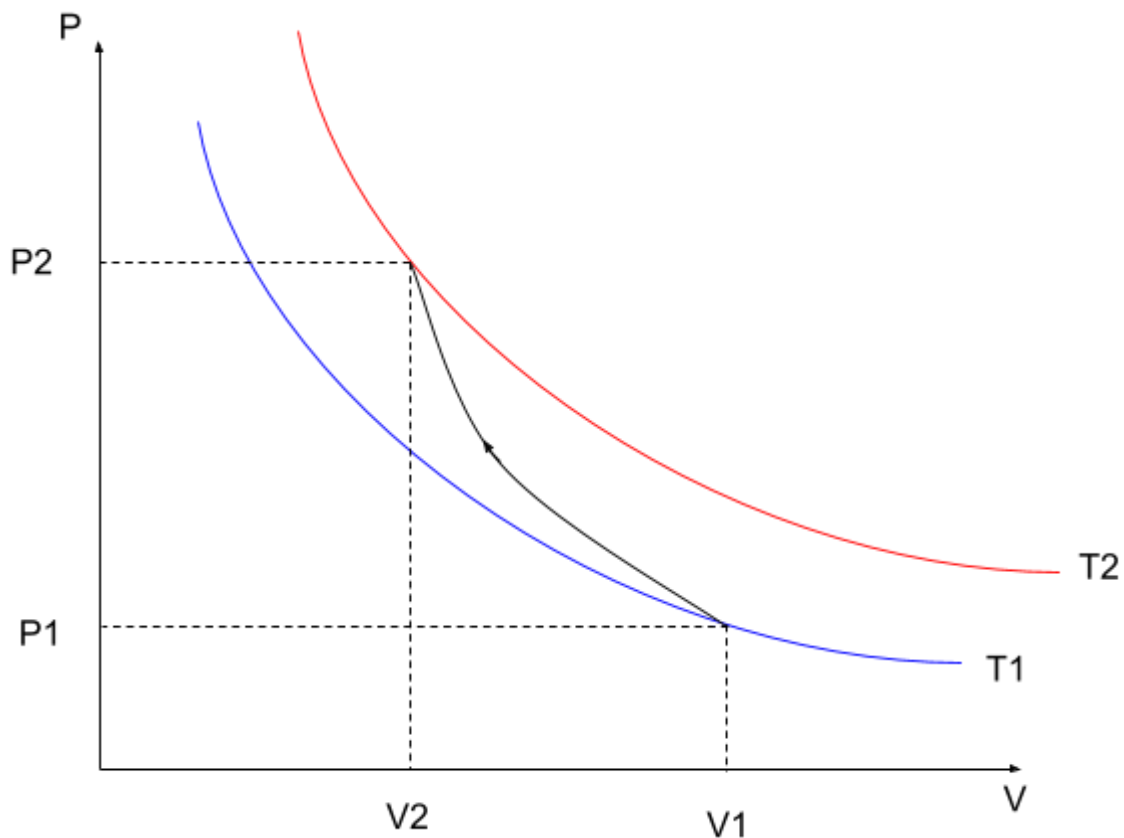
Fonte: Elaborado pelos Compiladores

Por meio dessa parametrização, é-se possível simular a natureza de uma transformação adiabática, caracterizada por não haver troca de energia entre o sistema e o meio ao seu redor, acarretando uma sutil alteração na Primeira Lei da Termodinâmica (expressa por I), expressando-se em II:

$$\Delta E_{int} = Q + W_{viz} \quad (I)$$

$$\Delta E_{int} = W_{viz} \quad (II)$$

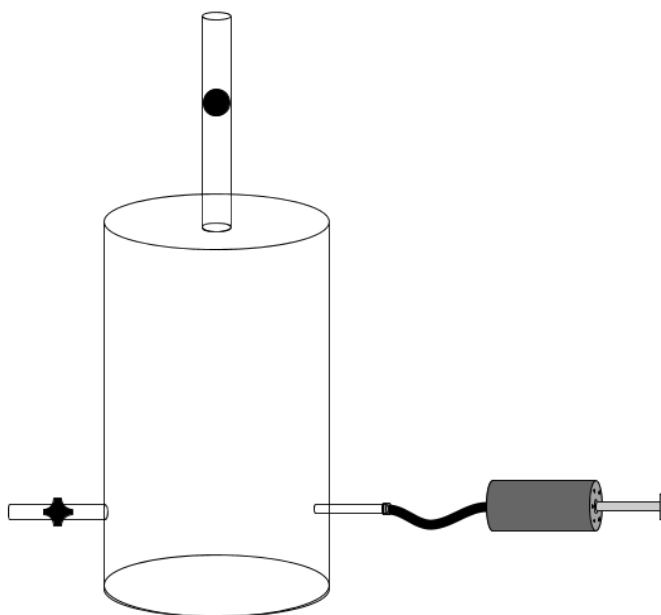
Sua respectiva representação gráfica é exibida pelo gráfico I, ilustrando a pressão do sistema em função do volume ocupado pelo mesmo:



*Imagem II: Transformação Adiabática
Fonte: Elaborado pelos Compiladores*

2.2.2. MÉTODO DE RUCHARDT

Outra parametrização a qual nos permite estudar o fator γ de um determinado gás se deve por meio do método de Rüchardt (Imagem II):



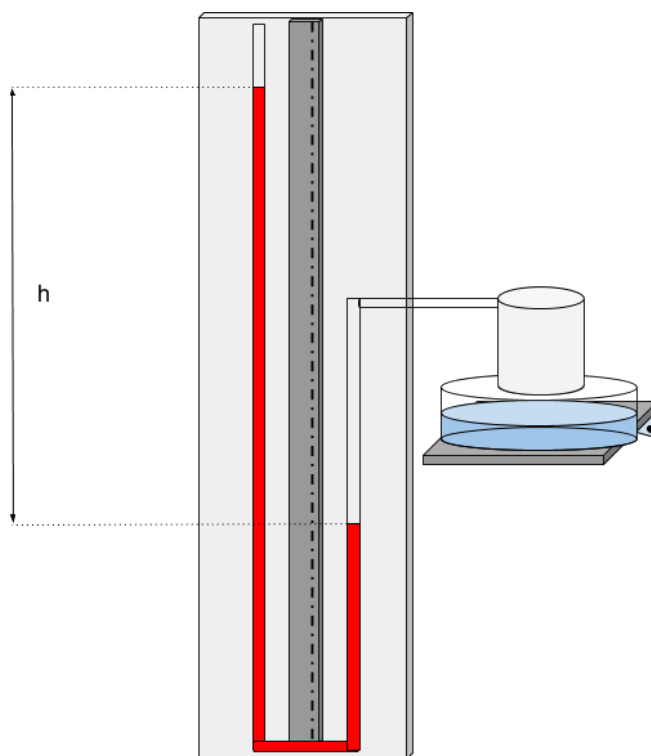
*Imagem III: Transformação Adiabática
Fonte: Elaborado pelos Compiladores*

Através deste, uma pequena esfera com dimensões próximas do diâmetro do gargalo é inserida no interior do mesmo, desencadeando um movimento harmônico amortecido, uma vez que o gás ali presente atuará semelhantemente a uma força restauradora.

3. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

3.1. DETERMINAÇÃO ZERO ABSOLUTO

A fim de extrapolar uma temperatura cujo sistema atinja um estado de total repouso cinético-molecular, dispõe-se da seguinte montagem (Imagem III):



*Imagem IV: Montagem realizada para a determinação do “zero absoluto”
Fonte: Elaborada pelos compiladores*

Através da diferença de altura h , é possível determinar a pressão exercida pelo gás em análise:

$$P = \rho gh \quad (\text{III})$$

Onde g representa a aceleração da gravidade e ρ a densidade da substância empregada pelo termômetro utilizado.

Relacionando a pressão em função da temperatura observada, é possível determinar a equação que melhor relaciona a linearidade existente e, por conseguinte, extrapolar a temperatura, em $^{\circ}\text{C}$, correspondente a 0 K .

Considerando a natureza de expansão tridimensional como propriedade dos gases, espera-se que a relação de linearidade existente entre a pressão exercida pelo sistema em função da temperatura em que este se encontra seja relacionada pela seguinte expressão:

$$P(T) = P_0 \beta T + P_0 \quad (\text{IV})$$

Onde P_0 é a pressão a 0 °C e β a constante de expansão do gás estudado.

3.2. MÉTODO DE CLÉMENT-DESORMES

Por se tratar de uma transformação adiabática, trata-se a seguinte relação:

$$PV^\gamma = \text{constante} \quad (\text{V})$$

Logo, para um estado inicial (1) e um estado final (2), conclui-se que:

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \quad (\text{VI})$$

Adequando a relação acima, a fim de facilitar a determinação do fator γ , obtém-se:

$$\gamma = \frac{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)} \quad (\text{VII})$$

Contudo, como a transformação entre os estados (2) e (3) é caracterizada como isocórica e os estados (1) e (3) se encontram, de fato, sob a mesma isoterma de temperatura T , remodela-se a relação VI:

$$\gamma = \frac{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\ln\left(\frac{P_3}{P_1}\right)} \quad (\text{VII})$$

A natureza da pressões envolvidas pode ser determinada pelas relações VIII, IX, e X:

$$P_1 = P_{ATM} + \rho gh_1 \quad (IX)$$

$$P_2 = P_{ATM} \quad (X)$$

$$P_3 = P_{ATM} + \rho gh_3 \quad (XI)$$

Onde h_1 e h_3 representam, respectivamente, a altura atingida pela substância empregada na montagem em questão e ρ a densidade da mesma (como não há alteração na composição do equipamento durante a experimentação, ρ se mantém constante).

Substituindo na expressão VII, o numerador e o denominador se manifestam, respectivamente, pelas relações XI e XII:

$$\ln\left(\frac{P_{ATM}}{P_{ATM} + \rho gh_1}\right) \quad (XII)$$

$$\ln\left(\frac{P_{ATM} + \rho gh_3}{P_{ATM} + \rho gh_1}\right) \quad (XIII)$$

Expandindo a relação XII, conclui-se que:

$$\ln\left(\frac{P_{ATM} + \rho gh_3}{P_{ATM}}\right) - \ln\left(\frac{P_{ATM}}{P_{ATM} + \rho gh_1}\right) \quad (XIV)$$

Efetuada uma expansão de Taylor (relação XIV), tem-se que cada logaritmo neperiano pode ser reduzido a:

$$\ln\left(\frac{P_{ATM} + \rho gh}{P_{ATM}}\right) \rightarrow \ln\left(1 + \frac{\rho gh}{P_{ATM}}\right) \approx \frac{\rho gh}{P_{ATM}} \quad (XV)$$

Como $\frac{\rho gh}{P_{ATM}} \ll 1$, sua funcionalidade é autenticada, possibilitando determinar o fator γ da seguinte maneira:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_3} \quad (XVI)$$

3.3. MÉTODO DE RUCHARDT

A força restauradora desempenhada pelo gás em estudo é definida pela expressão:

$$F = -\frac{\gamma PA^2}{V} y \quad (XVII)$$

Analogamente a força restauradora proveniente de uma mola ($F = -Kx$), deduz-se o período de oscilação para a esfera em análise:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\left(\frac{\gamma PA^2}{V}\right)}} \quad (XVIII)$$

Onde A representa a área da seção transversal do gargalo, V o volume ocupado pelo gás analisado, m a massa da esfera empregada, γ o fator a ser determinado e P a pressão exercida pelo sistema, cuja natureza assume a seguinte representação:

$$P = P_{ATM} + \frac{mg}{A} \quad (XIX)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. MÉTODO DE CLÉMENT-DESORMES

Os dados captados, com erro $\pm 0.1\text{cm}$, no experimento, foram:

Observação	H1	H2	ΔH	h1	h2	Δh
1	223.2	205.3	17.9	217.0	211.4	5.6
2	222.2	206.2	16.0	216.1	212.1	4.0
3	223.0	205.5	17.5	216.8	211.6	5.2

Tabela I: Alturas colunas

Fonte: Elaborado Pelos Compiladores

Dos dados acima se tira três resultados:

Observação	Gamma (± 0.07)
1	1.45
2	1.34
3	1.47

Tabela II: Alturas colunas

Fonte: Elaborado Pelos Compiladores

Pode, usando esses dados, dizer nosso resultado como $\gamma = 1.42 \pm 0.07$

4.2. MÉTODO DE RUCHARDT

Antes dos dados observacionais, algumas grandezas determinadas para auxiliar:

Grandeza	Medida
Diâmetro Tubo	16.0 mm
Volume Garrafa	10.4 L
Massa Esfera	16.72 g
Pressão Local	691 mmHg

Tabela III: Grandezas Ruchardt

Fonte: Elaborado Pelos Compiladores

Tendo isso medido e sabendo que foi observado um período de 1.2 segundos para a oscilação da esfera, o fator γ do ar possui sua representação algébrica expressa pela relação XVIII:

$$\gamma = 1.27 \pm 0.07$$

Refletindo sobre a autenticidade de ambos os métodos empregados, conclui-se que o método de Clément-Desormes expressa maior confiabilidade do que o método de Ruchardt, uma vez que por meio do primeiro, é possível se aproximar da natureza de uma transformação adiabática se desconsiderado imperfeições experimentais como o isolamento indevido do meio externo e a operação manual efetuada a fim de despressurizar a garrafa utilizada na experimentação, ao contrário do método de Ruchardt o qual conta tanto com a propagação de muitos graus de incerteza quanto com a análise de parâmetros expressivamente não confiáveis, como o período de oscilação determinado visualmente. Por fim, o resultado proporcionado pelo método de Clément-Desormes se aproxima muito do demonstrado pela apostila para gases diatômicos assim como esperado inicialmente, uma vez que considerando a natureza do “ar”, constata-se em sua composição majoritária dois gases diatômicos: Gás Oxigênio (O_2) e gás Nitrogênio (N_2), justificando a magnitude obtida para o fator γ em questão.

4.3. DETERMINAÇÃO ZERO ABSOLUTO

É-se registrado na tabela a magnitude tanto das temperaturas propostas experimentalmente quanto das pressões observadas:

Temperatura ($^{\circ}C$)	Pressão (cmHg)
-196.0	17.9
1.0	62.9
24.7	69.2
97.0	82.25

Tabela IV: Temperaturas e Pressões

Fonte: Elaborado Pelos Compiladores

Por meio destes dados, estabelece-se uma relação entre a pressão como função da temperatura:

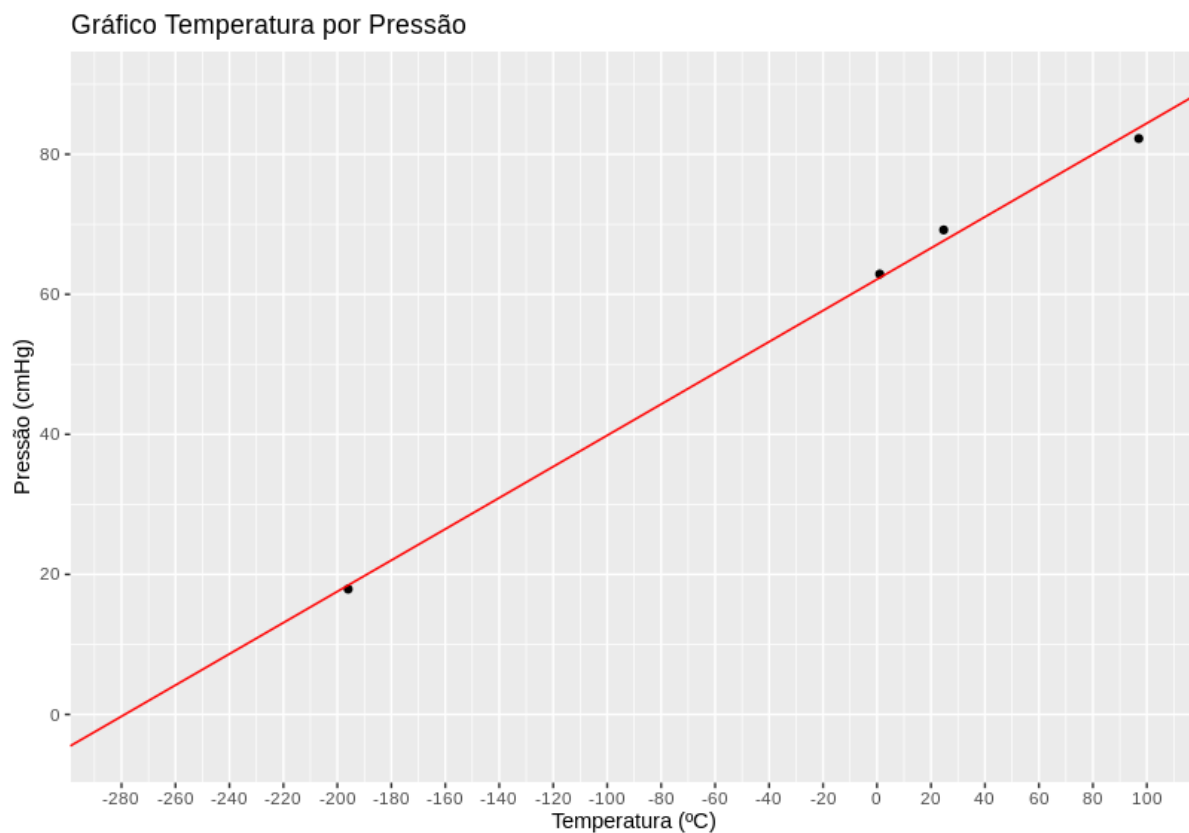


Gráfico I: Temperatura e Pressão
Fonte: Elaborado pelos Compiladores

Traçando uma linha de tendência utilizando os resultados obtidos e, por conseguinte, tratando tanto o coeficiente angular quanto o linear, substituindo-os na relação IV, obtém-se a respectiva pressão a 0 °C (P_0) e o coeficiente de dilatação do gás Hélio (He), respectivamente:

$$58.0 \pm 0.4 \text{ cmHg}$$

$$0.00366 \pm 0.00007 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Finalmente, o “Zero Absoluto” (temperatura em °C correspondente a 0K) é determinado por extrapolação da equação associada a linha de tendência que melhor unifica os resultados expressos pela imagem:

$$- 279 \pm 6 ^\circ\text{C}$$

5. CONCLUSÃO

Em suma, a prática nos permitiu, por meio das experimentações efetuadas, não só ter conhecimento da natureza de diversos processos térmicos, mas também constata-los fisicamente, observando suas implicações a nível atômico-molecular provenientes do conjunto de leis que definem a termodinâmica propriamente dita. Ademais, tomamos conhecimento da importância e da dependência de propriedades termométricas como pressão e volume, tratando posteriormente tanto da classificação de sistemas térmicos fundamentados nestes conceitos quanto de transformações envolvendo-os. Por fim, tratou-se de extrapolar a magnitude de uma temperatura na qual um sistema térmico pudesse se encontrar em total e absoluto repouso cinético-molecular, configurando sua denominação de “Zero Absoluto”, correspondente a 0 K .

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.. Fundamentos de Física. Vol. 2. LTC;

Tipler, P. A., Mosca, G.. Física para Cientista e Engenheiros. Vol. 1. LTC;

Software Wavy. Disponível em: <https://github.com/dpizetta/wavy>

Christy, R. W., Rieser, M. L.. Modifications of Ruchardt's Experiment. American Journal of Physics. 26: 37, 1958;

Hafner, E. M.. refined Ruchardt Method for γ . American Journal of Physics. 32: xiii. 1964;

Donnelly, B.; Jensen, H.. Another Refinement for Ruchardt's Method for γ . American Journal of Physics. 32 (4). 1964;

Torzo, G.; Delfitto, G. Pecori, B.; Scatturin, P.. A New Microcomputer-Based Laboratory Version of the Ruchardt Experiment for Measuring the Ratio $\gamma = C_p/C_v$ in Air. American Journal of Physics. 69 (11): 1205. 2001;

Bottecchia, o. L.. O experimento de Clément-Desormes no século XXI. Química Nova, 33(8), 1800-1804. 2010.