Barometrická rovnice

LEP 1.4.07

Související témata: Kinetická teorie plynů, tlak, stavová rovnice, teplota, plynová konstanta.

Princip

Skleněné nebo kovové kuličky jsou urychlovány vibrující ploškou na různé rychlosti (teplotní model). Částicová hustota kuliček je měřena jako funkce výšky pístu a frekvence vibrací plošky.

Zařízení

1x Aparatura pro měření kinetické teorie plynů	09060.00	1
1x zdroj napájení 15 V/5A	13530.93	1
1x světelná závora s počítadlem	11207.08	1
1x zdroj napájení 5V/2,4A	11076.93	1
1x digitální stroboskop	21809.93	1
1x stopky digitální, 1/100 s	03071.01	1
1x skleněné korálky, d = 2 mm, 10 000 kusů	09060.01	1
1x kovové kuličky, d = 2mm, 1000 kusů	09060.02	1
2x stojan	02002.55	2
1x tyč na upevnění, hranol. l = 400 mm	02026.55	1
1x pravoúhelná svorka	02040.55	1
1x spojovací kabel, l = 750 mm, červená	07362.01	1
1x spojovací kabel, l = 750mm, modrá	07362.04	1

Úkoly

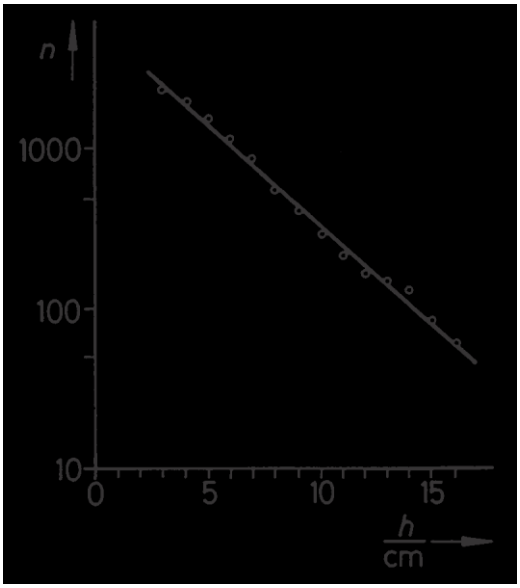
měření částicové hustoty jako funkce:

1. výšky, při konstantní frekvenci
2. frekvence vibrací chvějící se plošky v konstantní výšce

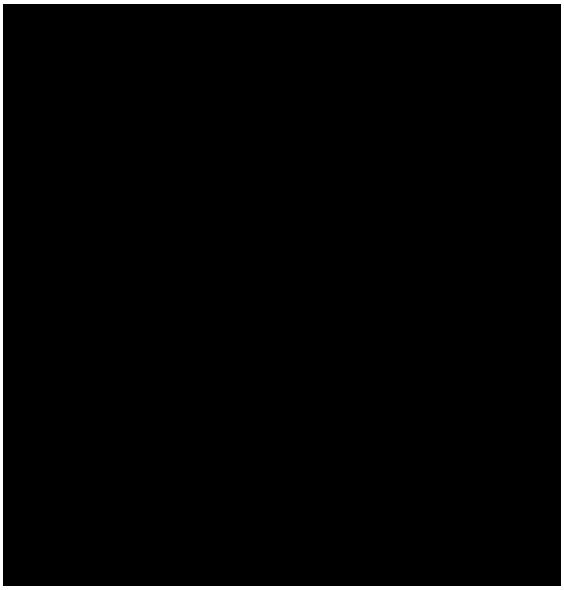
Příprava a průběh měření:

Připravený experiment je ukázán na obrázku 1. Aparatura pro zkoumání kinetické teorie je naplněna asi 400 kovovými kuličkami (přibližně jedna vrstva kuliček). Píst je nastaven do polohy maximálního objemu. Rychlost rotace plošky – a tedy frekvence vibrací – je nastavena prostřednictvím napájení a měřena stroboskopem (vibrující plát se jeví při stejné frekvenci jakou bliká stroboskop jako nehybný). Neměla by být překročena maximální rychlost rotace 3000 min^{-1} (tedy 50 Hz). Použijeme světelnou závoru s počítadlem pro záznam počtu kuliček, které přeruší paprsek světla v daném čase (použijeme oblast o ploše přibližně 0,4 mm^2). Bezprostředně nad vibrující ploškou je pravděpodobnost, že kuličky projdou světelnou závorou velká. Proto je doporučeno aby měření začalo na výšce kolem 3 cm nad vibrující ploškou.

obr. 1: Aparatura pro měření barometrické rovnice.



Obr.2 : Počet ocelových kuliček (m = 0.034 g) keré projdou objemovým elementem dV za 30 s přivibrační frekvenci 50 Hz jako funkce výšky h.



Obr.3 : Počet ocelových kuliček (m = 0.034 g) keré projdou objemovým elementem dV za 30 s ve výšce h = 8 cm v závislosti na vibrační frekvenci.

Teorie a vyhodnocení:

Představíme li si vertikální oblast cylindrického tvaru jako jednotkový objem vyříznutý z atmosféry, pak tlak v základně takového válce je roven tíze sloupce vzduchu nad základnou. V bodě *h + dh* nad základnou je tlak nižší než v bodě *h* právě o změnu tíhy sloupce vzduchu při posunu o výšku *dh*:

$$dp = - \qquad , \qquad (1)$$

kde g = 9,81 ms^{-2} je tíhové zrychlení, ρ = hustota vzduchu.

Objem vzduchu si označíme jako *V*, pak:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

kde *M* je hmotnost plynu. Použijeme li stavovou rovnici

$$pV = nRT = nLkT \qquad (2)$$

získáme vztah pro *dp*:

$$dp = - \qquad (3)$$

n = počet molů
T = termodynamická teplota (v K)
R = 8, 31 $JK^{-1}mol^{-1}$, plynová konstanta
L = 6, 02 . 10^{-23} mol^{-1}, Loschmidtova konstanta
k = 1,38 . 10^{-23} JK^{-1}, Boltzmannova konstanta
m = hmotnost molekul

Pokud rovnici (3) vyřešíme pro p pro případ

$$p = p_0 \qquad \text{pro h = 0}$$

potom dostaneme změnu tlaku s výškou

$$p = p_0 e^{\frac{-}{kT}} \qquad (4)$$, poněvadž

$$\frac{p}{p_0} = \frac{\rho}{\rho_0}$$

potom také platí, že hustota plynu se mění s výškou:

$$\rho = \rho_0 e^{\frac{-}{kT}} \qquad \textbf{(5)}$$

Poznámka:

Aparatura pro zkoumání kinetická teorie je využitelná pro kvalitativní experimenty týkající se tepelného pohybu částic, vypařování a destilace.