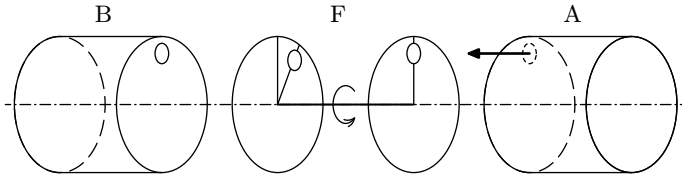


**11. ročník, úloha I. P ... je narušen druhý termodynamický princip? (4 body; průměr ?; řešilo 34 studentů)**

Mějme aparaturu, jejíž schéma je na obrázku 1. Molekuly opouštějící nádobu s plynem A (teplota  $T_A$ , střední kvadratická rychlost molekul  $v_A$ ) tvoří molekulární svazek, jež dále prochází rychlostním filtrem F. Pouze částice s rychlostí  $v_F$  proletí až do nádoby B. V prostoru mezi deskami filtru je vakuum, střední volná dráha molekul je větší než rozměr aparatury. Při vhodné volbě rychlosti  $v_F$  ( $v_F > v_A$ ) bude teplota nádoby B vyšší než nádoby A. Tudíž teplo z tělesa chladnějšího (A) bude přecházet na těleso teplejší (B), což je ve sporu s druhým principem termodynamiky. Vaším úkolem je vysvětlit (ne)správnost této úvahy.



Obr. 1

Znění druhého termodynamického zákona, které je použitelné při řešení této úlohy je „Teplo nemůže cyklicky přecházet z tělesa studenějšího na chladnější“. Zesílené tvrzení „Není možný samovolný přechod tepla ze studenějšího tělesa na těleso teplejší“ obecně neplatí.

Na počátku je v nádobě A tlak plynu  $p_A$  a teplota  $T_A$ . Ventil mezi nádobou A a filtrem je uzavřen. Teplota nádoby B (jejích stěn) je  $T_B$  a v nádobě je vakuum. Roztočíme rychlostní filtr, práce k tomu potřebná není z termodynamického hlediska významná. Otevřeme ventil mezi nádobou A a filtrem. Dále je nutné uvážit několik procesů

- Filtr je pro částice z A uzavřen. Částice dopadnou na povrch prvního rotujícího disku, jistý čas  $\tau$  na něm zůstanou a poté se odrazí a letí dál (takto se vysvětluje z mikroskopického hlediska mimo jiné difúze). V případě, že se částice okamžitě odrazí, nebude filtr plynem vůbec brzděn. V opačném případě bude nutné stále konat jistou práci na udržení konstantních otáček filtru.
- Filtr je otevřen. Dostatečně rychlé částice s rychlostí  $v_F$  projdou filtrem do nádoby B. Zde při nárazech na stěny ji předají část své energie a nádobu opouštějí ve směru od filtru. Teplota nádoby B bude vyšší než nádoby A.
- Filtr je uzavřen. Částice, které zůstaly v prostoru filtru, jsou buď rozptýleny do okolního prostoru (filtr je možno modifikovat tak, aby v něm částice nezůstávaly, vzroste však moment síly působící proti rotaci filtru). nebo po odrazech od disků filtru dostanou při dalším otevření filtru možnost proniknout do nádoby B (částice s poloviční, třetinovou, ... rychlostí  $v_F$ . Těchto částic je méně a jejich příspěvek v tepelné výměně není významný).

Celý děj je tak možné považovat za expanzi plynu z nádoby A přes filtr. Nyní uvedeme důvody, proč uvedený experiment není ve sporu s druhým termodynamickým zákonem (dále II. TZ).

- Tento děj není cyklický a není tak splněn požadavek platnosti II. TZ.

*Uvedený požadavek je nutný. Při expanzi reálného plynu se jeho teplota může zvýšit a plyn tak může předat teplo tělesu s teplotou vyšší, než jaká byla teplota plynu na počátku (viz Joule–Thomsonův jev).*

2. Filtr je v průběhu expanze brzděn a pro udržení konstantní úhlové rychlosti je nutné konat práci. Zde není spor ani se zesíleným tvrzením II. TZ (jedná se o poněkud netradiční tepelné čerpadlo).

*Poznámka:* Někteří z vás uvažovali zpětný tok částic z nádoby B do A. Uvedený proces je však velmi nepravděpodobný. Rychlostní filtr propustí z B do A částice s rychlostí mnohem menší než je  $v_F$ . Částice z nádoby B jsou téměř jistě rozptýleny do prostoru v okolí filtru.

*Vladimír Slavík*