

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Werner Espe

Niektoré nové zaujímavosti z vákuovej techniky

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 10 (1965), No. 6, 312--319

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138333>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1965

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

# NIEKTORÉ NOVÉ ZAUJÍMAVOSTI Z VÁKUOVEJ TECHNIKY

WERNER ESPE, Bratislava

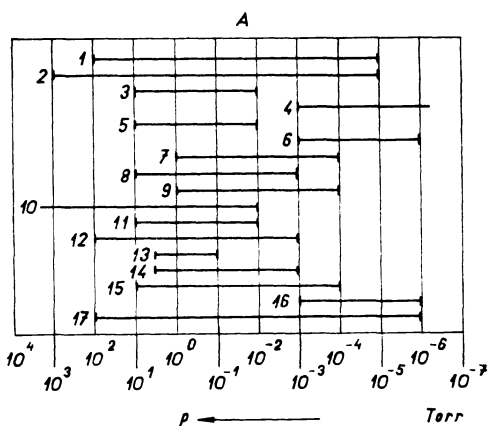
V priebehu posledných desaťročí stáva sa vákuová technika stále viac nepostrádateľnou pomocníčkou nielen vedy, ale aj priemyselnej techniky. Že už krátko po prelome storočí sa vákuum začína používať pri výrobe žiaroviek, elektrónok a rönt-

Tabuľka 1

Prehľad dôležitých možností použitia vákuovej techniky s udaním stupňa potrebného vákuua (podľa prítomného stavu)

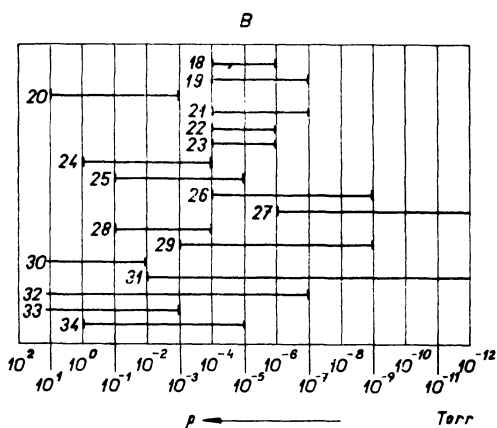
## A Priemyselné postupy

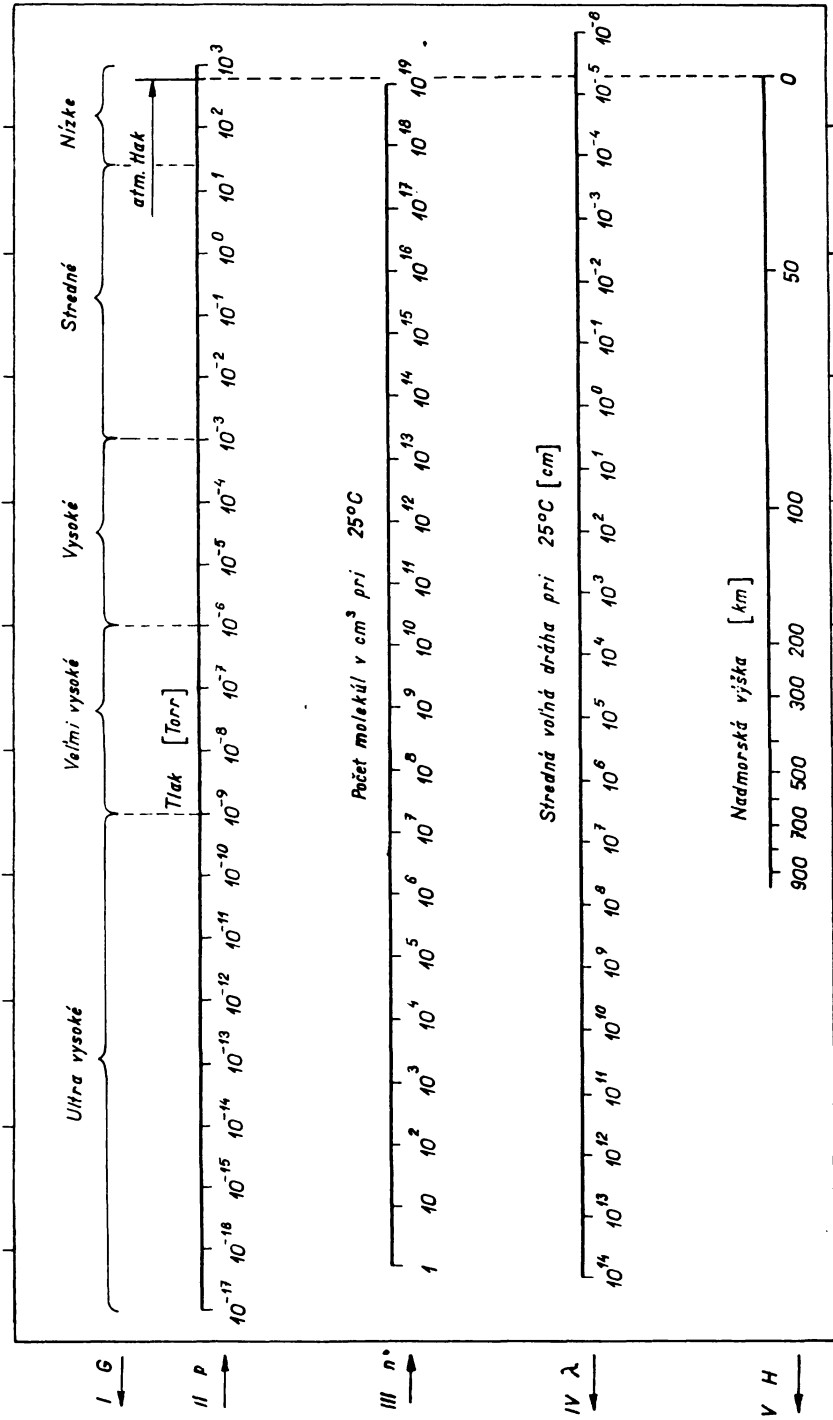
1. Žihanie kovov
2. Tavenie kovov
3. Odplynovanie kovových tavenín
4. Naparovanie
5. Rozprašovanie kovov
6. Zónové tavenie, príprava kryštálov
7. Molekulárna destilácia
8. Odplynovanie kvapalín
9. Sublimácia
10. Zalievanie živícami a lakmi
11. Sušenie plastických hmôt
12. Sušenie izolačných papierov
13. Vymrazovanie spotrebného tovaru
14. Vymrazovanie farmaceutických výrobkov
15. Výroba žiaroviek
16. Výroba elektrónok
17. Výroba plynových výbojok



## B Fyzikálne a chemické vyšetrovacie metódy

18. Hmotový spektrometer
19. Zariadenia na molekulárne lúče
20. Iónové zdroje
21. Urýchlovače častíc
22. Elektrónové mikroskopy
23. Prístroje pre elektrónovú difrakciu
24. Vákuové spektrografy
25. Výskum nízkych teplôt
26. Príprava tenkých vrstiev
27. Fyzika povrchov
28. Výskum plazmy
29. Prístroje pre jadrové reakcie
30. Výškové komory
31. Vesmírne simulátory
32. Výskum materiálov
33. Biologické preparácie
34. Separačné postupy





Tabuľka 2

Rozsah tlakov podľa rôzneho stupňa vakuu G a vzťahy medzi tlakom P, počtom molekúl n, strednou voľnou dráhou λ a zodpovedajúcou nadmorskou výškou H.

genových l amp, je, pravda,  seobecne známe. Neskoršie sa vákuom s úspechom použilo v impregnačnej technike a vo veľkom rozsahu pri vysokov akuovom napa-rovan  kovu, vo výrobe bi uterie, pri zu ľachťovan  povrchov optických výrobkov a pri zhotovovan  kondenzátorov. Potom bola v akuov  technika nasaden  v kon-zerv arenskom priemysle, pri výrobe lie iv ch preparátov, v metalurgii a pri stavbe aparatur jadrovej fyziky (ur ychlova e). V prítomnosti hr a v akuov  technika –  alej rozvinut  v tzv. techniku ultravysokého vákua – obzvl a   d ole it  úlohu pri v ysku-me fyziky pevných látok.

Podrobn  prehľad doteraz osvedčených dôležitých možnosti použitia vákuovej techniky s udan m stupňa potrebného vákua obsahuje tabuľka 1. Z nej zreteľne vidieť rozsah i dôležitosť vákuovej techniky ako súčasti techniky našej prítomnosti, a to jednak zo stránky priemyselných postupov (A) ako aj pre fyzikálne a chemick  vyšetrovacie metódy (B).

Pre pochopenie istých v akuotechnick ch pojmov je potrebn , oboznámiť sa s veličinami, ktoré definujú plynne prostredie. Plyn sa skladá z veľmi veľkého počtu voľne sa pohybujúcich a na seba nara aj cich častíc. Tieto častice, podľa svojej chemickej povahy, môžu byť buď jednoatomov  (inertné plyny, napr. ne n, xen n; pary kovov), alebo molekuly, t. j. ako komplex dvoch alebo niekoľkých atómov (voda, dusík, vodík, metan). Kvantitatívne opisujú plynne prostredie veličiny: tlak  $p$ [Torr], objem  $V$ [cm<sup>3</sup>], počet častíc obsiahnutých v kubickom centimetri  $n$ [cm<sup>-3</sup>] a teplota  $T$ [ K]<sup>1</sup>).

Vz ajomn  vzťahy medzi uvedenými veličinami prehľadne ukazuje tabuľka 2, opa-tren  porovnv ac mi mierkami I až V, pri  om na hornej mierke II je tlak  $p$ [Torr]<sup>2</sup>) nanesen  logaritmicky.

Je  u eln , a preto pravidlom, cel  do úvahy prichádzajúci rozsah tlakov rozdeliť na niekoľko oblastí podľa rôzneho stupňa vákua, ako je to preveden  na mierke I v tabuľke 2. V prítomnosti sa zau ivali hlavne nasledujúce označenia: „nízke vákuum“, „stredn  vákuum“, „vysok  vákuum“, „veľmi vysok  vákuum“ a „ultra-vysok  vákuum“.

Na mierke III (ležiacej pod I) je k príslušným tlakom  $p$  nanesen  korešpondujúca hodnota hustoty častíc  $n$ , t. j. počet molekúl, obsiahnutých v krychľovom centimetri vzduchu pri teplote 25  C. Ďalej na mierke IV sú nanesen  korešpondujúce „stredn  voľn  dráhy“ molekúl v cm, t. j. priemerné hodnoty vzdialenosti, ktorú molekula pri danom tlaku a pri teplote 25  C prebehne, než sa zrazí s inou molekulou.

Konečne je na spodnej mierke V nazna en  nadmorsk  výška  $H$  v km, v ktorej je atmosf rick  tlak korešpondujúci podľa mierky II. K týmto výškovým údajom sa v ďalšom ešte vrátime.

1)  $t$  Č =  $(t + 273)$   K, teda 25  C =  $(25 + 273)$  = 298  K.

2) Jednotka je pomenovan  podľa talianskeho filozofa a matematika E. TORRICELLIHO.  
1 Torr = 1/760 fyzikálnej normálnej atmosféry  $\doteq$  1 mm ortufov ho stĺpca.

Z mierok tabuľky 2 možno vyčítať rad dôležitých údajov, z ktorých vyzdvihujeme najmä tieto:

Porovnanie mierky II ( $p$ ) až IV ( $\lambda$ ) ukazuje bezprostredne, že klesajúcim tlakom  $p$  úmerne klesá aj počet molekúl  $n$  v kubickom centimetri, kým zodpovedajúca stredná voľná dráha molekúl  $\lambda$  rastie. Za normálnych atmosférických pomerov a v nulovej výške nad morskou hladinou rovná sa atmosférický tlak  $p$  760 Torr. Podľa mierky III zodpovedá tomuto tlaku pri teplote 25 °C  $n = 2,48 \cdot 10^{19}$  častíc v 1 cm<sup>3</sup> a stredná voľná dráha  $\lambda$  pri normálnom atmosférickom tlaku 760 Torr sa rovná rádovo  $10^{-5}$  cm (pri čom sa priemer napr. kyslíkovej molekuly rovná  $3,68 \cdot 10^{-8}$  cm).

Ak sa čerpaním tlak v pokusnom priestore zníži na  $10^{-3}$  Torr, t. j. na hornú hranicu tzv. stredného vákua, klesne počet molekúl  $n$  v kubickom centimetri (pri nemeniacej sa teplote 25 °C) z  $10^{19}$  na rádovo  $10^{13}$  molekúl a stredná voľná dráha  $\lambda$  sa predĺži na okružle 5 cm.

Pri ďalšom poklese tlaku na  $10^{-6}$  až  $10^{-7}$  Torr (oblasť dobre čerpaných vysoko-vákuových elektrónok a nízkych tlakov, aké nachádzame vo výške 200 až 800 km nad morskou hladinou) je počet molekúl  $n$  v krychľovom centimetri rádovo vždy ešte  $10^{10}$ , ale molekula musí teraz prebehnúť dráhu 50–100 m (tedy podstatne viac, ako sú rozmery bežného vákuového systému), pokiaľ nedôjde k zrážke s inou molekulou.

Pri tlaku  $10^{-10}$  Torr, kde sa už nachádzame v oblasti ultravysokého vákua, je sice, ako ukazuje mierka III, v kubickom centimetri stále ešte okružle 3 miliónov molekúl, ale molekula musí podľa mierky IV približne 500 km prebehnúť, kým sa stretne s inou molekulou.

Ak predpokladáme, že v medziplanetárnom priestore existuje zvyškový tlak  $10^{-16}$  Torr, znamená to, že tam v 1 cm<sup>3</sup> sú už len 3 molekuly a že stredná voľná dráha dosiahla dĺžku porovnateľnú so vzdialenosťou Zeme od Slnka (okružle 150 miliónov km).

Na dosiahnutie istého vákua, na čerpanie, slúžia vákuové čerpadlá. Pracujú podľa rôznych princípov: Väčšina v prítomnom čase používaných čerpadiel sú transportné čerpadlá, t. j. také, ktoré odstraňujú molekuly z evakuovaného priestoru, ako napr. jedno- alebo viacstupňové olejové rotačné pumpy (s dosiahnuteľným vákuom do  $10^{-3}$  Torr), difúzne čerpadlá (až nadol do  $10^{-7}$  Torr) s ortuťovými alebo olejovými parami ako čerpacou látkou a konečne turbomolekulárne čerpadlá (s krajinou hodnotou dosiahnuteľných tlakov  $10^{-9}$  Torr). Na princípe fyzikálne-chemickej väzby čerpaných molekúl na čistých odplynených a prípadne chladených povrchoch pracujú tzv. „povrchové“ alebo „sorpčné“ čerpadlá. Stali sa známymi pod menami „getrové vývevy“, „iónové vývevy“, „sorpčné iónové vývevy“ a „kryočerpadlá“<sup>3)</sup>.

---

<sup>3)</sup> Kryocerpadlá sú pumpy, u ktorých sorpčné alebo kondenzačné povrchy sú chladené kvapalným vodíkom (20°K) alebo kvapalným héliom (4,2°K). Takýmito čerpadlami možno pri laboratorných podmienkach dosahovať vákua od  $10^{-10}$  do  $10^{-13}$  Torr, čo v prítomnom čase predstavuje iste maximálne a súčasne ešte merateľné extrémne vákuum.

Na rozdiel od transportných čerpadiel spomenutých na prvom mieste, u povrchových čerpadiel sa molekuly z čerpadla neodstraňujú, ale ostávajú – sice fyzikálne alebo chemicky viazané – v čerpadle. Čerpadlo môže len tak dlho pracovať, pokiaľ sa jeho sorpčná kapacita nevyčerpá. Takéto čerpadlá sa preto menujú aj „kapacitnými čerpadlami“.

Dnešný vývoj, najmä nutnosť skúmať vlastnosti veľmi čistých povrchov pevných látok, prináša potrebu zdokonaľovať čerpadlá, čerpacie systémy a vákuové aparatúry smerom k stále nižším tlakom a k veľkým čerpacím rýchlostiam. To je aj pochopiteľné, keď uvážime nasledovné: Pri atmosférickom tlaku (760 Torr) na pôvodne veľmi čistom povrchu, napr. na štiepnej ploche čerstvo rozštiepeného kryštálu, sa vytvorí jednomolekulová plynová vrstva za  $10^{-9}$  sekúnd. Vo vysokom vákuu ( $10^{-6}$  Torr) stane sa tak asi za sekundu, kým pri tlaku  $10^{-10}$  Torr vytvorí sa jednomolekulová plynová vrstva až okružle za tri hodiny. Z toho teda vyplýva, že pre minimálne spoľahlivé merné série trvajúce niekoľko hodín, na skutočne čistých povrchoch, je potrebná kvalita vákua aspoň  $10^{-10}$  Torr, aby sa pravé vlastnosti

Tabuľka 3

Porovnanie vákui dosiahnutých dnes v rôznych vysoko-vákuových trubiciach a vákuových systémoch	
Pri vysokovákuových trubiciach (objemu od $1 \text{ cm}^3$ do 40 lit.) čerpaných pomocou difúzných výev v 99 %	$10^{-5}$ až $10^{-7}$ Torr
Vo veľmi veľkých elektrónoch s pevnými sorpčnými getry (Zr, Ti atď.)	$10^{-6}$ až $10^{-8}$ Torr
Vo vysoko vyhrievateľných celokovových zariadeniach so sorpčnými výevami	$10^{-10}$ Torr
Kryočerpadlá (kvapalnú hélium!)	$10^{-13}$ Torr
Merné rozsahy Bayard-Alpertova ionizačného manometra	$5 \cdot 10^{-4}$ až $10^{-11}$ Torr

(napr. emisia fotoelektrónov) pôvodne čistých pevných povrchov dali zistiť, a nie vlastnosti povrchov znečistených prilipnutou plynovou vrstvou.

V tejto spojitosti bude zaujímať porovnanie vákuí uvedené v tabuľke 3, dosiahnutých dnes v rôznych vysokovákuových trubiciach.

Len budúcnosť ukáže, aké výsledky a poznatky možno použitím ultravysokého vákuu dosiahnuť. Napr. aj v metalurgii, kde už dnes pri získavaní supračistých kovov sa vyžaduje, aby zvyškový tlak plyných primiešanín neprekročil  $10^{-9}$  Torr, pri čom s ohľadom na veľké množstvá plynov obsiahnutých v technických kovoch sú potrebné nielen nízke tlaky, ale aj veľké čerpacie výkony. Neprekvapuje preto, že vývoj v tejto oblasti ešte dlho nebude možné považovať za ukončený.

Tabuľka 4

Tlak vzduchu  $p$  pre rôzne nadmorské výšky  $H$  v blízkosti Zeme („Near Space“) a vo veľkej vzdialenosti od Zeme („Outer Space“)

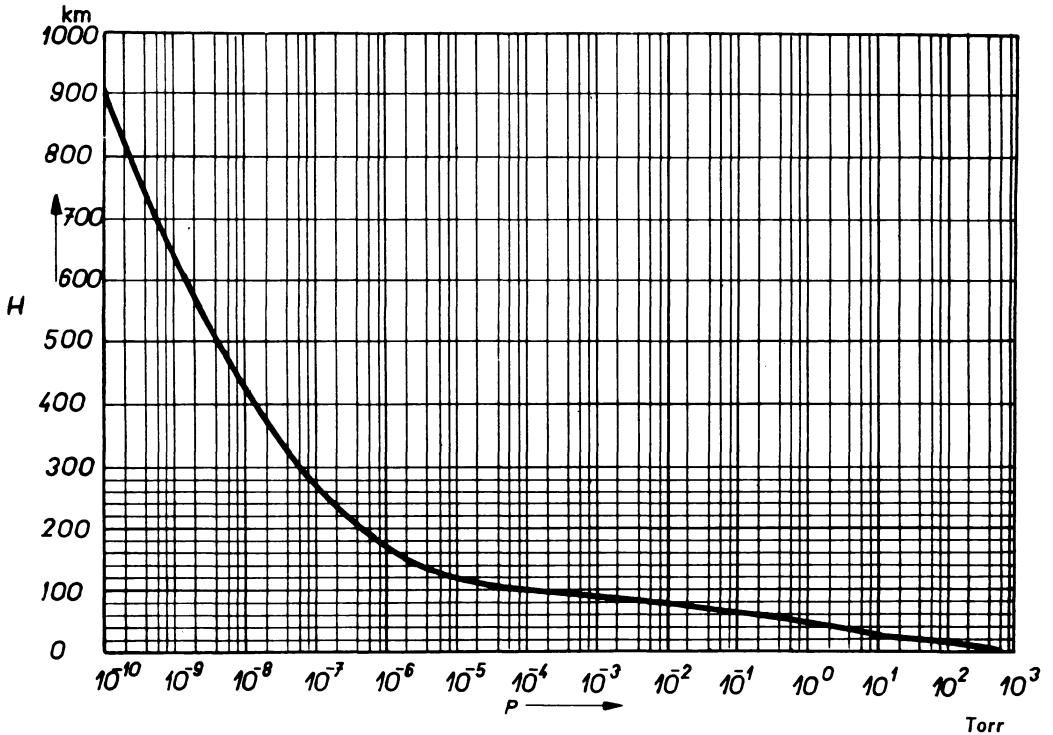
$H$	$p$ [Torr]	
0 m	760	} Near } Space
100 m	751	
200 m	742	
500 m	716	
1000 m	674	
2000 m	596	
4000 m	462	
6000 m	354	
8000 m	267	
10 000 m	198	
100 km	$10^{-4}$	} Outer } Space
250 km	$10^{-7}$	
420 km	$10^{-8}$	
640 km	$10^{-9}$	
900 km	$10^{-10}$	
1 000 km	$10^{-11}$	
$\gg 1000$ km	$10^{-16}$	Interplanetary Space

V epoche sputnikov a začínajúcej doprave v medzihviezdnom priestore stále viac nás zaujímajú vlastnosti vzdušného obalu Zeme. Pre vákuovú techniku je predovšetkým ten poznatok dôležitý, ako ubúda tlak vzduchu so stúpajúcou nadmorskou výškou a ako sa s výškou mení zloženie atmosféry. Lebo výskum kozmického prie-

storu prirodzene prináša úlohy, ako je napr. konštrukcia vákuotesných komôr, v ktorých je možné napodobniť (simulovať) podmienky (teplotu a tlak), aké sú vo veľmi veľkých výškach. Ako ukazuje porovnanie mierky V s mierkou II na tabuľke 2 pri týchto simulátoroch ide o vákuum okolo  $10^{-10}$  Torr, a s ohľadom na priestor, potrebný pre aeronautov a prístroje, o miestnosti s objemom do  $1000 \text{ m}^3$ . V nich možno súčasne napodobniť aj slnečný svit. Je veľmi dávno známe, že atmosférický tlak s rastúcou vzdialenosťou od zemského povrchu klesá. Dôkaz vykonal r. 1648 PASCAL. Merania v blízkosti Země, ktorých výsledky sú obsiahnuté v tabuľke 4,

Tabuľka 5

Závislosť atmosférického tlaku  $p$  [Torr] od výšky  $H$  [km] nad povrchom zemským (na podklade meraní satelitmi)



ukazujú, že do výšky niekoľkých tisíc metrov nad morskou hladinou tlak vzduchu (za predpokladu stálej teploty a zloženia atmosféry), na každých 11 až 12 metrov výškového prírastku, klesne približne o 1 Torr. Tento (v klasickej fyzike pod menom barometrická výšková rovnice) známy vzťah, ako vieme na podklade meraní pomocou rakét a balónov, málo kilometrov nad zemským povrchom už neplatí<sup>4)</sup>.

<sup>4)</sup> Pritom treba si povšimnúť, že s pribúdajúcou výškou sa zloženie atmosféry podstatne mení, pretože atmosféra sa obohacuje vodíkom.



Naopak až do výšky 900 km bola zistená závislosť tlaku „vzduchu“ od výšky nad povrchom zemským, ako ukazuje tabuľka 5. Ako z diagramu vidieť, vo výške 200 až 300 km je vákuum už  $10^{-7}$  Torr, vákuum, aké je potrebné pri priemyselnej výrobe elektrónok. A vo výške 600 km je vákuum, aké potrebuje výskumník pri fyzikálnom vyšetrovaní povrchov metódami ultravysokého vákuu.

Teoreticky bolo by teda mysliteľné, vysoké a ultravysoké vákuum vytvoriť takým spôsobom, že by sa nádoba, ktorá má byť evakuovaná, pomocou rakety vyniesla do veľmi veľkých výšok a tam vákuotesne zatavila, čiže by sa vákuum znieslo „z neba“.

Z uvedeného výkladu vyplýva, že vákuová technika je nielen spôsobilá v rade priemyselnych odvetví existenčne podmienky človeka na Zemi zlepšiť, ale nadto poskytuje možnosti, prístroje a zariadenia skúšať za takých podmienok, aké sú v medziplanetárnom priestore. Je preto aj v stave, ono smelé snaženie podporovať, doterajšie hranice užitočností prinášajúceho svetového priestoru rozšíriť dosiahnutím susedných planét. Lebo ďalší vývoj astronautiky mnohokrátym spôsobom závisí od riešenia vákuotechnických dielčích problémov.

Dúfam, že čitateľ na podklade predchádzajúceho výkladu si bude môcť utvoriť prehľadnú predstavu o niektorých základných vákuotechnických pojmoch a rovnako o význame vákuovej techniky pre súčasnosť a azda aj pre budúcnosť.

Ďakujem s. inž. K. MEŘÍNSKÉMU, CSc., za podnetnú diskúziu pri písaní prehľadu.

*Preložil J. Fischer*

### **Stabilita kmitočtu krystalového oscilátoru**

se zvyšuje uložením v termostatu. Firma RCA umiestila oscilátor svojho miniaturného nouzového vysílača v pouzdrí, ktoré si operátor upevní v podpažní jamce, a stabilizuje teplotu krystalu svojou vlastnou telesnou teplotou. Dosáholo sa tak stability kmitočtu krystalového oscilátoru  $10^{-6}$  za týždeň.

*Sk*

### **Krokový motor — nový prvok diaľkového ovládania**

obsahuje rotor s permanentným magnetom a stator so tromi cívkami; teče-li cívkami prúd, zaujme magnet polohu určenou výsledným magnetickým poľom statorovej soustavy. Vysílač má 6 tlačítkových spínačov umiestnených na obvode kruhu; uprostred se otáči raménko zakončené kuličkovým ložiskom, jímž ovláda tlačítka spínačov, a pripojuje jednotlivá statorová vinutia na zdroj jednosmerného napätia. V tomto systéme dochádza asi k štyridsiatinásobnému zesileniu točivého momentu. Presnosť prenosu polohy je asi  $5^\circ$ , čož je horšie než u selsynů, ale zato zcela odpadá zpětné působení přijímače na vysílač nebo vzájemné ovlivňování několika přijímačů připojených na tentýž vysílač.

*Sk*