

F4160

# Vakuová fyzika 1

Pavel Slavíček  
email: ps94@sci.muni.cz

# Osnova:

- Úvod a historický vývoj
- Volné plyny
  - statický stav plynů
  - dynamický stav plynů
- Získávání vakua - vývěvy s transportem molekul z čerpaného prostoru
  - vývěvy s periodicky se měnícím prostorem
  - vývěvy s neproměnným pracovním prostorem
  - paroproudové vývěvy
- Měření vakua
  - měření celkových tlaků
  - měření parciálních tlaků
  - hledání netěsností ve vakuových systémech

## *Navazující přednášky:*

- Vakuová fyzika 2 - **F6450**
  - Vázané plyny
  - Sorpční vývěvy
  - Měření ve vakuové fyzice
    - měření proudu plynu
    - měření tenze par
  - Konstrukční prvky vakuových zařízení
- Experimentální metody a speciální praktikum A 1 - **F7541**
- Fyzika nízkých teplot - **F8450**

## Literatura

- J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981
- L. Pátý: Fyzika nízkých tlaků, Academia, Praha 1968
- V. Sítko: Vakuová technika, SNTL, Praha 1966
- J. Král: Cvičení z vakuové techniky, ČVUT Praha 1996
- V. Dubravcová: Vákuová a ultravákuová technika, Alfa, Bratislava 1992
- A. Roth: Vacuum technology, Elsevier, 1990
- J.F.O'Hanlon: A User's Guide to Vacuum Technology, Wiley, 2003
- W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, Slovenská akadémia vied, Bratislava 1960
- Zpravodaje CVS
- Firemní katalogy
- internet: www - stránky výrobců vakuové techniky, ...

# Úvod

- Vakuum je označení pro stav systému, který obsahuje plyny, nebo páry, pokud je jejich tlak menší než tlak atmosférický.
- Jednotky tlaku:
  - $Pa[Nm^{-2}]$  - **jednotka v soustavě SI**
  - $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
  - $1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$
  - $1 \text{ torr} = 133,322 \text{ Pa}$
  - $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ torr}$  (fyzikální atmosféra)
  - $1 \text{ at} = 98066.5 \text{ Pa} = 0.96784 \text{ atm}$  (technická atmosféra)
  - $1 \text{ psi} = 6890 \text{ Pa}$
  - $1 \text{ psf} = 47.8 \text{ Pa}$

## Historický vývoj <sup>1</sup>

- 1643 - E.Torricelli, první vakuum
- 1654 - O. von Guericke, Magdeburské polokoule
- 1855 - Geissler, výboje v plynech, rtuťová vývěva
- 1874 - H.G.Mac-Leod, kompresní manometr
- 1892 - Fleussova pístová vývěva, průmyslová výroba žárovek
- 1892 - Dewarova nádoba
- 1906 - Pirani, tepelný manometr
- 1912 - W. Gaede, molekulární vývěva
- 1913 - W. Gaede, difúzní vývěva
- 1916 - Buckley, ionizační manometr
- 1925 - Fyzika nízkých tlaků, jako samostatný obor
- 1926 - olejová difúzní vývěva

---

<sup>1</sup>”<http://www.svc.org/HistoryofVacuumCoating/History-of-Vacuum-Coating.cfm>”

- 1929 - kapacitní manometr
- 1936 - neopren
- 1936 - Penning, výbojový manometr s magnetickým polem
- 1950 - Bayard-Alpert - ionizační manometr se žhavenou katodou
- 1954 - Alpert - Omegatron
- 1958 - Becker, turbomolekulární vývěva
- 1967 - komerční kvadrupólový spektrometr

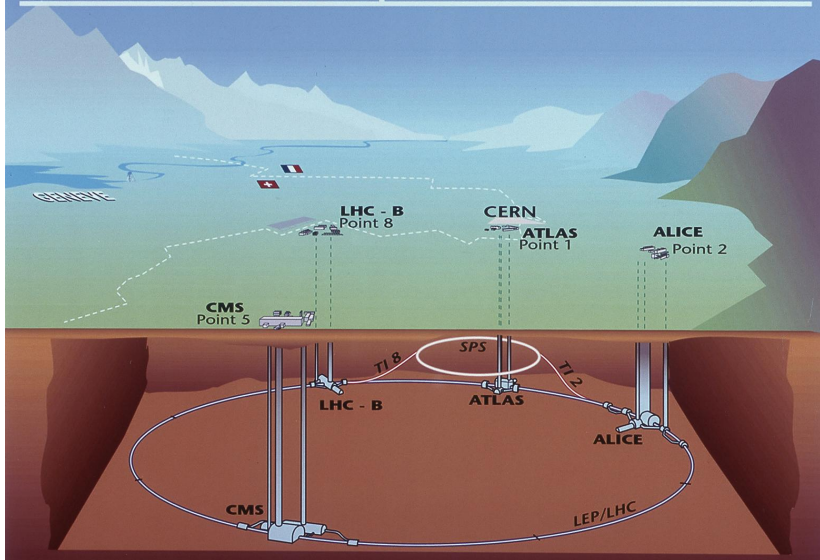
# Využití vakua

- Věda a výzkum
  - diagnostické metody
    - elektronový mikroskop
    - hmotový spektrometr
    - optický vakuový spektrometr
  - plazmochemické reaktory
  - urychlovače částic - CERN, LHC délka 27 *km*
  - termojaderné reaktory - ITER, objem 834 *m*<sup>3</sup>



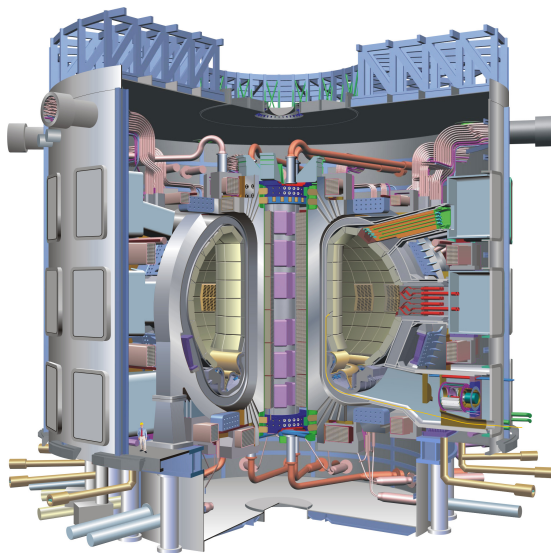
# LHC<sup>2</sup>

## Overall view of the LHC experiments.



<sup>2</sup>"<http://lhc.web.cern.ch/lhc/>"

# ITER <sup>3</sup>

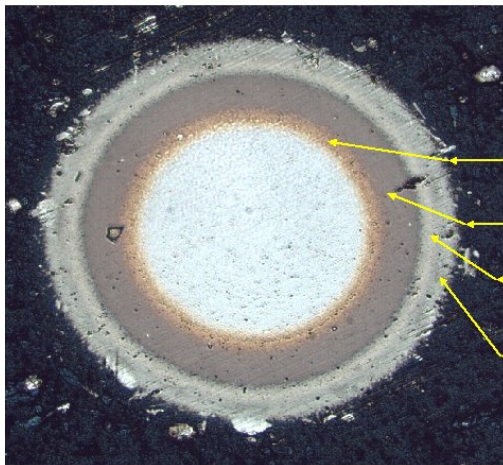


- Průmyslové aplikace
  - vytváření tenkých vrstev
  - výroba elektronických součástek
  - osvětlovací technika - žárovky, zářivky
  - chemický průmysl - čisté látky
  - metalurgie
  - vakuové manipulátory, pinzety,...
- přesně definované podmínky procesu, izolace studovaného procesu od okolí, velká střední volná dráha

# Tenké vrstvy<sup>4</sup>



<sup>4</sup><http://www.shm-cz.cz/>



**TiN- adhesive layer**

**TiAlN – layer with max. hardness**

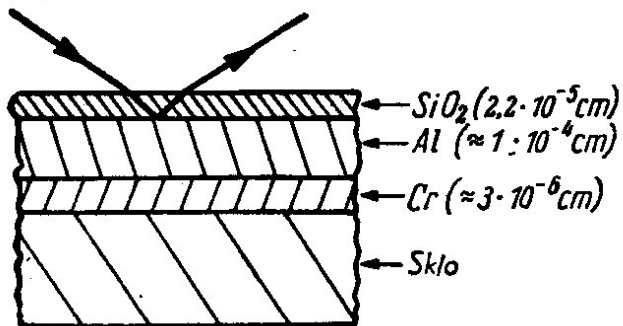
**TiAlCO I – layer with optimal stochiometry**

**AlTiCO II – layer with low friction coefficient - LUBRIK**

5

5” <http://www.shm-cz.cz/>”

## Zrcadlové plochy



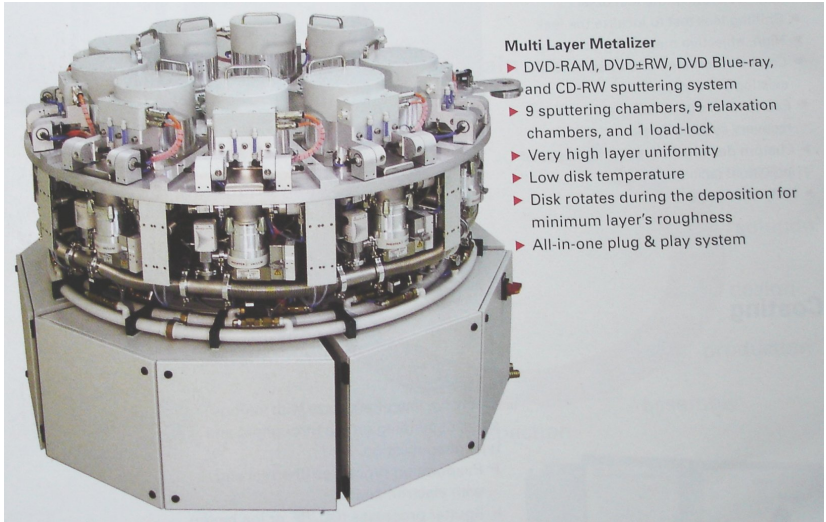
# Hubble Space Telescope <sup>6</sup>

- výroba 1977-1979
- broušení 1979-1981
- průměr 2,4 m, celková hmotnost 11 t
- přesnost broušení 30 nm
- odrazné vrstvy - Al 76.2 nm, fluorid hořčíku - 25.4 nm
- vypuštění - 24.4.1990, let STS 31



<sup>6</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/Hubble\\_Space\\_Telescope](http://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Space_Telescope)

# Výroba CD-ROM, DVD, ...<sup>7</sup>



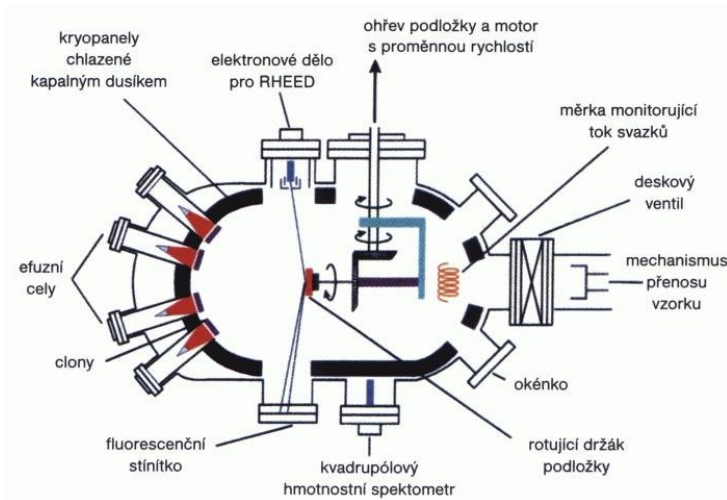
## Multi Layer Metalizer

- ▶ DVD-RAM, DVD±RW, DVD Blue-ray, and CD-RW sputtering system
- ▶ 9 sputtering chambers, 9 relaxation chambers, and 1 load-lock
- ▶ Very high layer uniformity
- ▶ Low disk temperature
- ▶ Disk rotates during the deposition for minimum layer's roughness
- ▶ All-in-one plug & play system

<sup>7</sup>”<http://www.pfeiffer-vacuum.net/>”



# Molecular Beam Epitaxy <sup>8</sup>



<sup>8</sup> <http://www.fzu.cz/oddeleni/povrchy/mbe/index.html>

## *Experiment na orbitální dráze*

- tlak na oběžné dráze raketoplánu ( 500 km)  $10^{-8}$  torr
- za štítem o průměru 3.6 m ,  $10^{-14}$  torr
- 1994 - WSF1 - porucha orientace, STS60 <sup>9</sup>
- 1995 - WSF2 - porucha MBE, STS69
- 1996 - WSF3 - úspěch 7 vrstev GaAs/AlGaAs, STS80

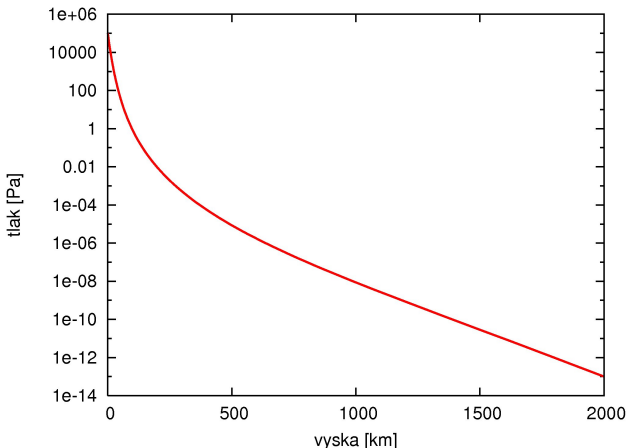


<sup>9</sup>[http://mek.kosmo.cz/pil\\_lety/usa/sts/sts-60/index.htm](http://mek.kosmo.cz/pil_lety/usa/sts/sts-60/index.htm)

## Závislost tlaku na nadmořské výšce

výška [km]	tlak [mbar]	tlak [Pa]
0	$10^3$	$10^5$
11	$10^2$	$10^4$
50	$10^{-2}$	$10^0$
100	$10^{-3}$	$10^{-1}$
200	$10^{-6}$	$10^{-4}$
500	$10^{-8}$	$10^{-6}$
1000	$10^{-10}$	$10^{-8}$
2000	$10^{-15}$	$10^{-13}$

## Závislost tlaku na nadmořské výšce



Tlak na Měsíci  $1nPa = 10^{-9}Pa$

Tlak v mezihvězdném prostoru  $100\mu Pa - 3fPa, 10^{-4}Pa - 3 \cdot 10^{-15}Pa$

# Elektronika



## Rozdělení vakua 1

vakuum	tlak [mbar]	tlak [Pa]
nízké , hrubé, technické	$10^3 - 10^0$	$10^5 - 10^2$
střední (FV)	$10^0 - 10^{-3}$	$10^2 - 10^{-1}$
vysoké (HV)	$10^{-3} - 10^{-7}$	$10^{-1} - 10^{-5}$
velmi vysoké (UHV)	$< 10^{-7}$	$< 10^{-5}$

## Rozdělení vakua 2

vakuum	tlak [mbar]	tlak [Pa]
nízké , hrubé, technické	$10^3 - 10^0$	$10^5 - 10^2$
střední (FV)	$10^0 - 10^{-3}$	$10^2 - 10^{-1}$
vysoké (HV)	$10^{-3} - 10^{-7}$	$10^{-1} - 10^{-5}$
velmi vysoké (UHV)	$10^{-7} - 10^{-10}$	$10^{-5} - 10^{-8}$
extremě vysoké (XHV)	$< 10^{-10}$	$< 10^{-8}$

## Rozdělení vakua

vakuum	nízké	střední (FV)	vysoké (HV)	UHV, XHV
tlak [ $Pa$ ]	$10^5 - 10^2$	$10^2 - 10^{-1}$	$10^{-1} - 10^{-5}$	$< 10^{-5}$
$n$ [ $cm^{-3}$ ]	$10^{19} - 10^{16}$	$10^{16} - 10^{13}$	$10^{13} - 10^9$	$< 10^9$
$\lambda$ [ $cm$ ]	$< 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^1$	$10^1 - 10^5$	$> 10^5$
$\tau$ [ $s$ ]	$< 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^2$	$> 10^2$
proudění	viskózní	Knudsenovo	molekulární	molekulární