

# EM, aneb TEM nebo SEM?

Jiří Šperka

Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno

2. únor 2011 / Prezentace pro studentský seminář



# O čem se bude mluvit

- **Úvod do elektronové mikroskopie**
- *Transmisní elektronový mikroskop*
- *Rastrovací elektronový mikroskop*
- *Na závěr pár fotek ze SEMu*



- **Úvod do elektronové mikroskopie**
- **Transmisní elektronový mikroskop**
- *Rastrovací elektronový mikroskop*
- *Na závěr pár fotek ze SEMu*



- Úvod do elektronové mikroskopie
- Transmisní elektronový mikroskop
- **Rastrovací elektronový mikroskop**
- *Na závěr pár fotek ze SEMu*



- Úvod do elektronové mikroskopie
- Transmisní elektronový mikroskop
- Rastrovací elektronový mikroskop
- Na závěr pár fotek ze SEMu



*“Stanu se menším a ještě menším, až budu nejmenším na celém světě.”*  
Jiří Wolker

<b>Rozlišení, které člověk potřebuje, aby objekty rozlišil</b>		
Objekt	Typická velikost D	Zvětšení $M=75\mu\text{m}/D$
Zrnko písku	1 mm	Vidíme okem
Lidský vlas	$150\mu\text{m}$	Vidíme okem
Červená krvinka	$10\mu\text{m}$	7.5
Bakterie	$1\mu\text{m}$	75
virus	20 nm	4000
Molekula DNA	2 nm	40,000
Atom uranu	0.2 nm	400,000



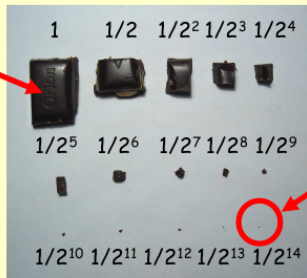
## A co rozměry atomů? Zkusme se k nim dostat!

Můžeme zkusit rozkrájet nějaký makroskopický předmět na mikroskopické kousky - rozhodl jsem se rozdělit jenom kousek čokolády. Postupoval jsem půlením ...

100 g =  $10^{-1}$  kg



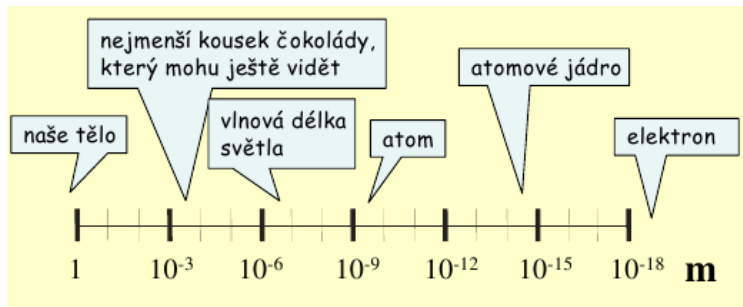
100/15 g



$100/15 \cdot 1/2^{14} \text{ g} =$   
 $= 4 \cdot 10^{-4} \text{ g} =$   
 $= 0.4 \text{ mg}$   
Jak blízko jsme  
atomům???

2

# Délková škála a oko



Rozlišení, kterého je lidské oko schopné docílit je dáno třemi faktory: Velikostí receptorových buněk na retině, nedokonalostmi zaostřování (aberrace) a difrakcí světla na vstupní zornici oka.

Rozlišení dospělého lidského oka při pozorování hvězdné oblohy je asi jedna úhlová minuta. Tomu odpovídá rozlišení  $75 \mu\text{m}$  (pro objektovou vzdálenost předmětu 25 cm před okem).



# Rayleighovo kritérium

Pokud uvažujeme světelný paprsek dopadající na neprůhledné stínítko s kruhovým otvorem o průměru  $d$  pak úhel  $\theta$ , který ohraničuje první minimum difraktovaného světla (Airyho disk), je dán přibližným vztahem:

$$\sin \theta = 1,22 \frac{\lambda}{d},$$

kde  $\theta$  je úhel v radiánech a  $\lambda$  vlnová délka dopadajícího světla. Tento vztah udává také úhlové rozlišení pro difrakcí limitovaný systém, tedy tzv. Rayleighovo kritérium – dva objekty lze rozlišit právě tehdy, když první maximum difrakčního obrazce prvního zobrazovaného bodu spadá do prvního minima difrakčního obrazce druhého bodu.



# 1924, Louis-Victor de Broglie

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

<b>Vlnová délka elektronu v závislosti na urychlovacím napětí</b>				
V [kV]	$p_{rel}$ [kg m s <sup>-1</sup> ]	$v_{rel}$ [m s <sup>-1</sup> ]	$v_{klas}$ [m s <sup>-1</sup> ]	$\lambda$ [nm]
0,05	3,82E-024	4,19E+006	4,19E+006	0,1734
1	1,71E-023	1,87E+007	1,88E+007	0,0388
2	2,42E-023	2,64E+007	2,65E+007	0,0274
5	3,83E-023	4,16E+007	4,19E+007	0,0173
25	8,65E-023	9,05E+007	9,38E+007	0,0077
100	1,79E-022	1,64E+008	1,88E+008	0,0037
250	3,01E-022	2,22E+008	2,97E+008	0,0022
300	3,37E-022	2,33E+008	3,25E+008	0,0020



# Optický mikroskop (kolem roku 1600 )





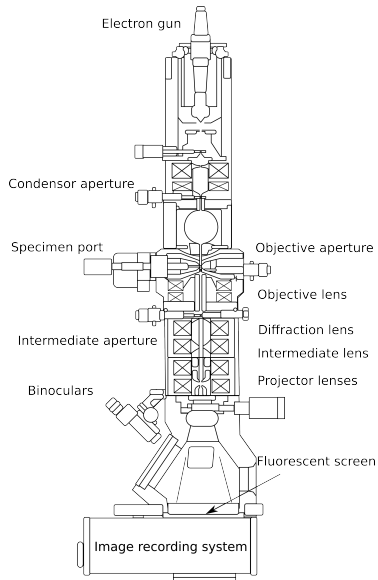
# TEM a Ernst Ruska



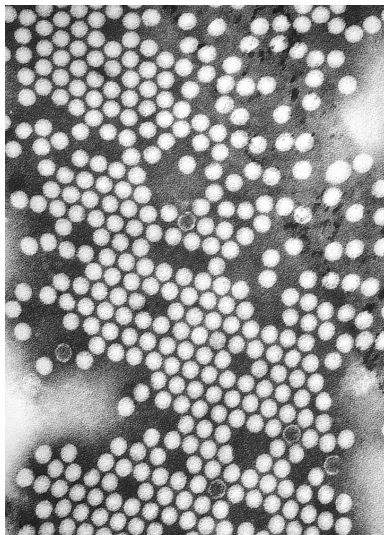
# TEM - první prakticky používaný



# TEM - schéma



# TEM - virus dětské obrny s rozměrem 30 nm





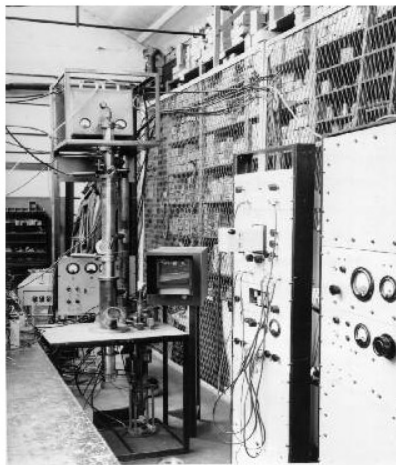
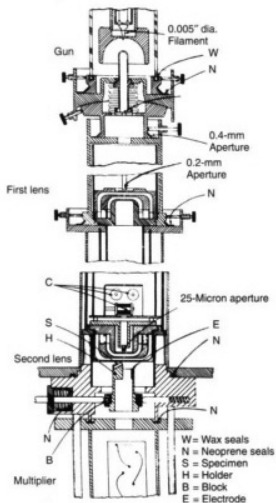
The Nobel Prize in Physics 1986 was divided, one half awarded to Ernst Ruska "for his fundamental work in electron optics, and for the design of the first electron microscope", the other half jointly to Gerd Binnig and Heinrich Rohrer "for their design of the scanning tunneling microscope".

## Autobiography

Further work, conducted together with Dr Knoll, led to the first construction of an electron microscope in 1931. With this instrument two of the most important processes for image reproduction were introduced-the principles of emission and radiation. In 1933 I was able to put into use an electron microscope, built by myself, that for the first time gave better definition than a light microscope. In my Doctoral thesis of 1934 and for my university teaching thesis (1944), both at the Technical College in Berlin, I investigated the properties of electron lenses with short focal lengths.



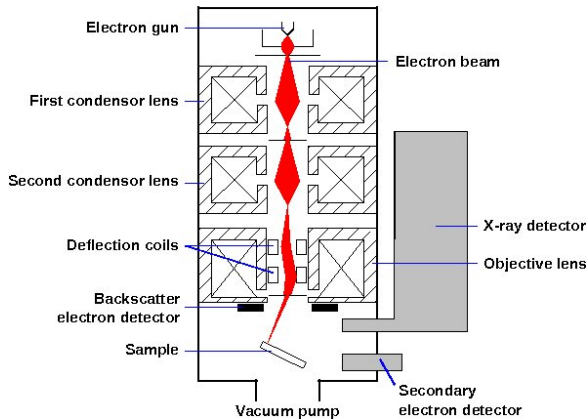
# SEM1 - Vladimir Zworykin<sup>1</sup>, J. Hillier a R. L. Snyder.



The "SEM1"

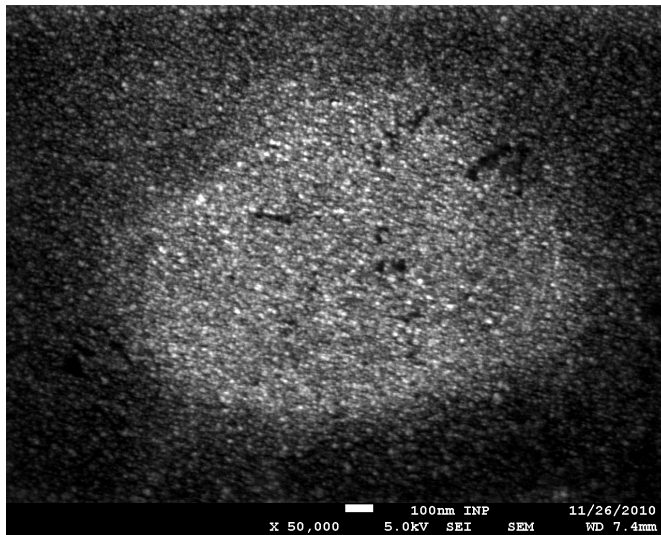
<sup>1</sup>Vladimir Zworykin také přispěl ke vzniku CRT obrazovky, vyvinul vhodnou katodovou trubicí (kinescope)

# SEM - schéma

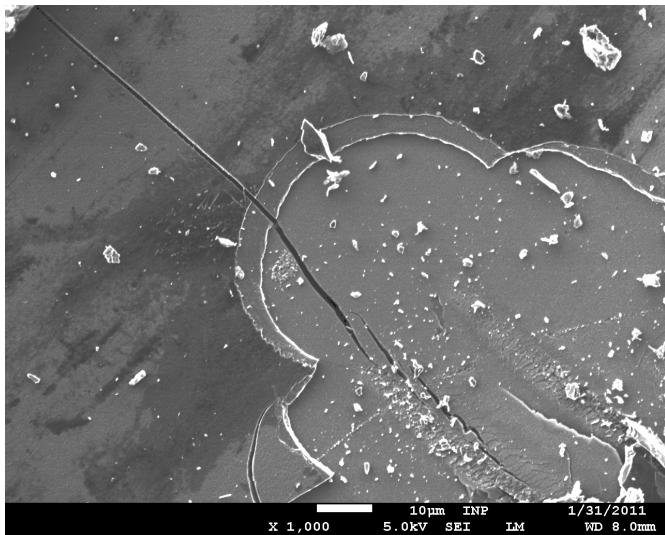




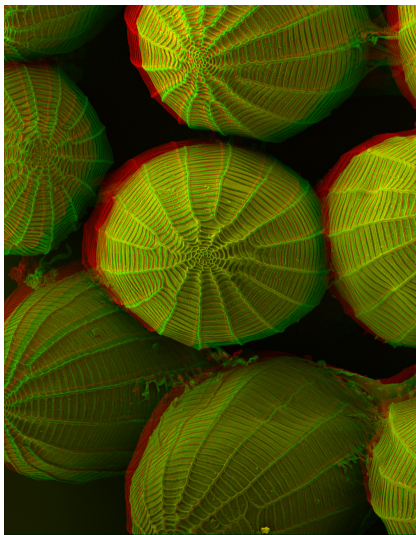
# Pozor na vzorek (SEM)



# Fotka ze SEMu



# 3D SEM



# 3D environmental SEM

