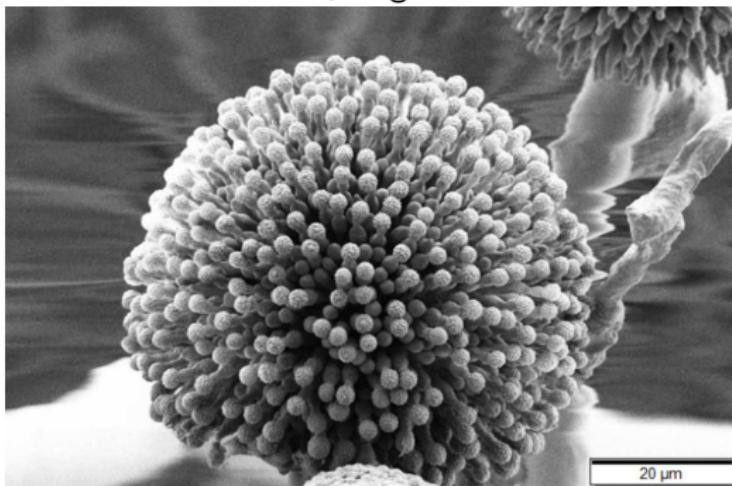


Elektronová mikroskopie a Brno  
BrNOC 12. 12. 2025

Zdeněk Moravec, hugo@chemi.muni.cz



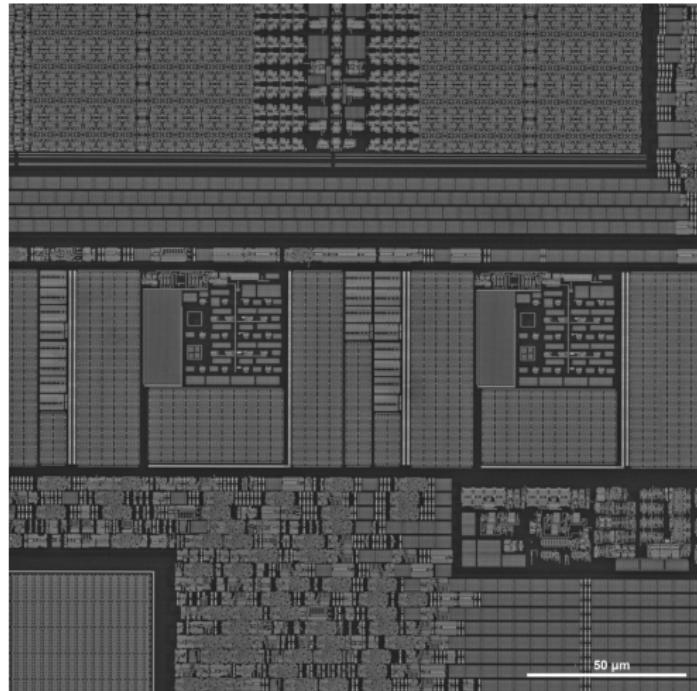
# Úvod



Pozorovatelný Vesmír.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zdroj: Pablo Carlos Budassi/Commons

# Úvod



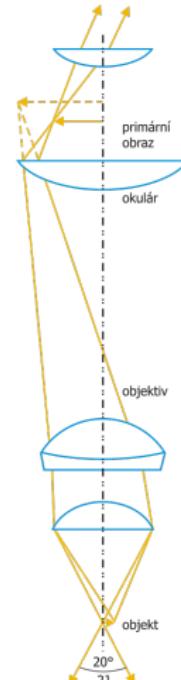
SEM fotografie CPU.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Zdroj: Piotr Krzemiński/Commons

# Mikroskopie



Světelný mikroskop.<sup>3</sup>

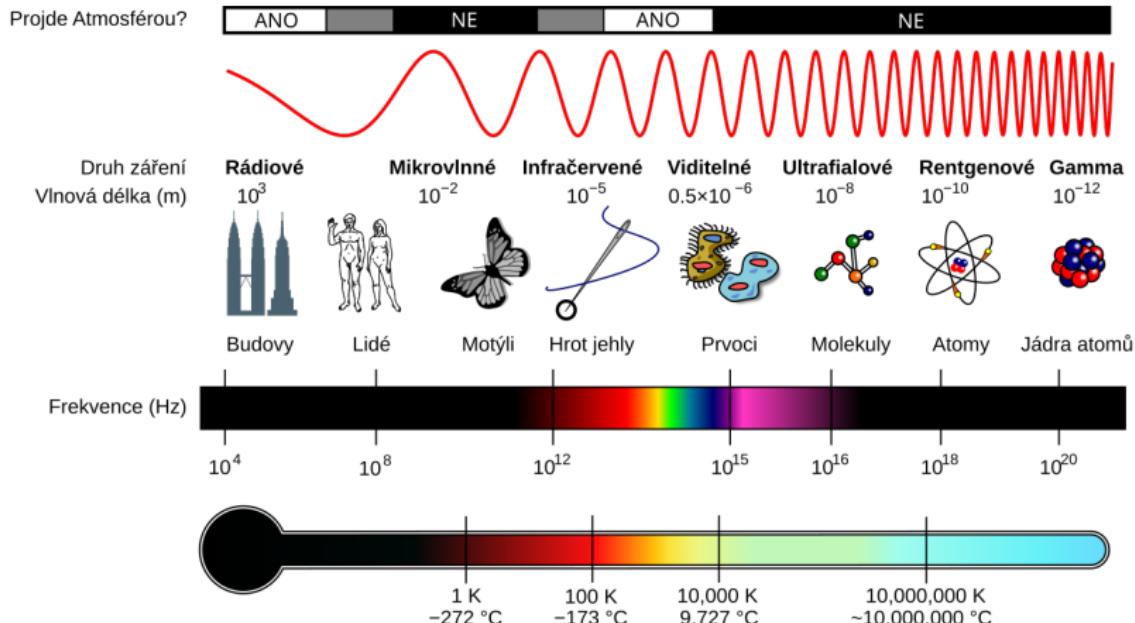


Princip funkce mikroskopu.<sup>4</sup>

<sup>3</sup>Zdroj: Holger.Ellgaard/Commons

<sup>4</sup>Zdroj: Tlusta/Commons

# Mikroskopie



Spektrum elektromagnetického záření.<sup>5</sup>

<sup>5</sup>Zdroj: Inductiveload/Commons

### Důležité milníky mikroskopie<sup>6</sup>

- 1590 Hans Martens a Zacharias Janssen vytvořili první jednoduchý mikroskopy
- 1609 Galileo Galilei se využil obrácený teleskop k pozorování malých objektů
- 1873 Ernst Abbe formuluje teorii rozlišení – limit optické mikroskopie (200 nm)
- 1931 Ernst Ruska a Max Knoll konstruují první elektronový mikroskop (TEM)
- 1933 Ruska zlepšuje rozlišení EM pod hranici optických mikroskopů
- 1939 První komerční elektronový mikroskop (Siemens)
- 1981 První skenovací tunelový mikroskop (STM)
- 1981 První úspěšné využití cryo-EM.<sup>7</sup>
- 1986 První mikroskop atomárních sil (AFM)

<sup>6</sup>Timeline of microscope technology

<sup>7</sup>Vitrification of pure water for electron microscopy

# Mikroskopie

Nobelovy ceny se vztahem k elektronové mikroskopii

## **Nobelova cena za fyziku (1986), Ernst Ruska<sup>8</sup>**

„Za zásadní práci v oblasti elektronové optiky a za konstrukci prvního elektronového mikroskopu.“

## **Nobelova cena za chemii (2017), Jacques Dubochet, Joachim Frank, Richard Henderson<sup>9</sup>**

„Za vývoj kryo-elektronové mikroskopie pro vysokorozlišovací určování struktur biomolekul v roztoku.“

## **Nobelova cena za chemii (2024), David Baker<sup>10</sup>**

„Za návrh nových proteinů, které mimo jiné slouží jako značky pro pokročilou elektronovou mikroskopii.“

---

<sup>8</sup>Nobel Prize in Physics 1986

<sup>9</sup>Nobel Prize in Chemistry 2017

<sup>10</sup>Nobel Prize in Chemistry 2024

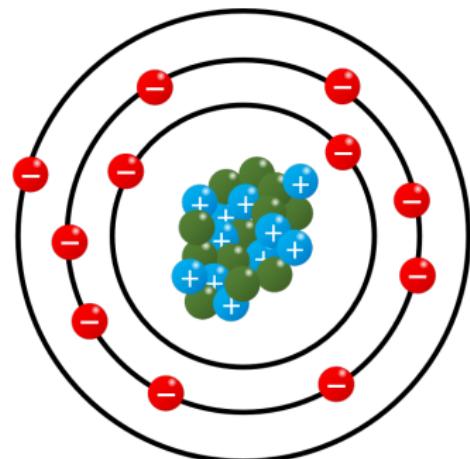
# Elektronová mikroskopie

- ▶ Místo světla využívá proud urychlených elektronů, což umožňuje zlepšit rozlišení fotografie.
- ▶ Získané obrázky jsou černobílé, ale je možné je kolorovat na základě dalších dat, např. prvkového složení.
- ▶ Druhy elektronové mikroskopie:
  - ▶ SEM – skenovací elektronová mikroskopie
  - ▶ TEM – transmisní elektronová mikroskopie
  - ▶ cryo-EM – kryoelektronová mikroskopie
  - ▶ AFM – mikroskopie atomárních sil
- ▶ EDX – energiově dispezní RTG spektroskopie (Energy-dispersive X-ray spectroscopy). Analytická technika poskytující prvkové složení vzorku.
- ▶ Snímání objektu probíhá zpravidla ve vakuu a vzorky by měly být vodivé.

# Elektronová mikroskopie

## Elektron

- ▶ Atom – skládá se z elektronového obalu a atomového jádra
- ▶ Elektronový obal – tvoří většinu objemu atomu, ale je skoro prázdný
- ▶ Atomové jádro – malý objem, ale obsahuje většinu hmoty atomu
- ▶ Periodická tabulka prvků – atomy (prvky) seřazené podle hmotnosti (počtu protonů)



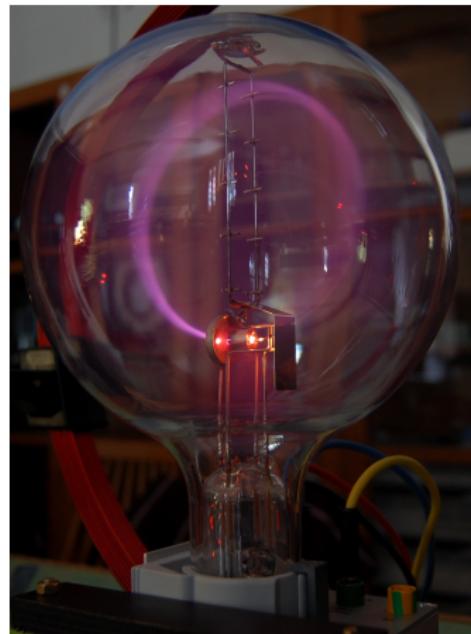
Model atomu sodíku.<sup>11</sup>

<sup>11</sup>Zdroj: Plazmi/Commons

# Elektronová mikroskopie

## Elektron

- ▶ Elektron je subatomární částice se záporným elektrickým nábojem.
- ▶ Byl objeven roku 1887 anglickým fyzi-kem J. J. Thompsonem.
- ▶ Patří mezi fermiony, platí pro něj *Pauliho vylučovací princip*.
- ▶ Tvoří elektronový obal atomu, kde jsou elektrony uspořádány do vrstev a po-hybují se v atomových orbitalech.



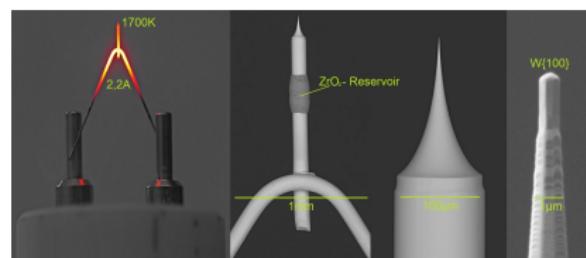
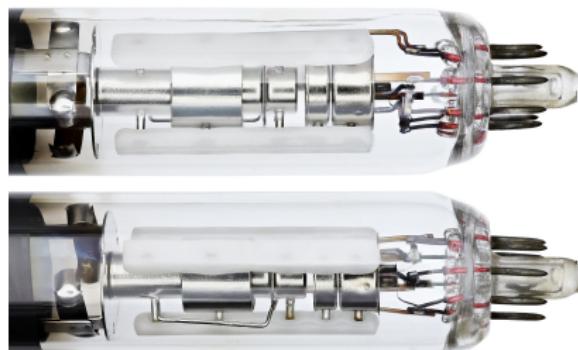
Proud elektronů usměrněný do kruhového pohybu.<sup>12</sup>

<sup>12</sup>Zdroj: Marcin Białek/Commons

# Elektronová mikroskopie

## Elektron

- ▶ Elektronové dělo je zdroj úzkého proudu elektronů.
- ▶ Pracuje na principu elektrického pole nebo emise vyvolané teplotou, plazmatem, ...



Schottkyho katoda.<sup>14</sup>

Elektronové dělo z CRT obrazovky.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup>Zdroj: Mister rf/Commons

<sup>14</sup>Zdroj: ErwinMeier/Commons

# Elektronová mikroskopie

## Skenovací elektronová mikroskopie

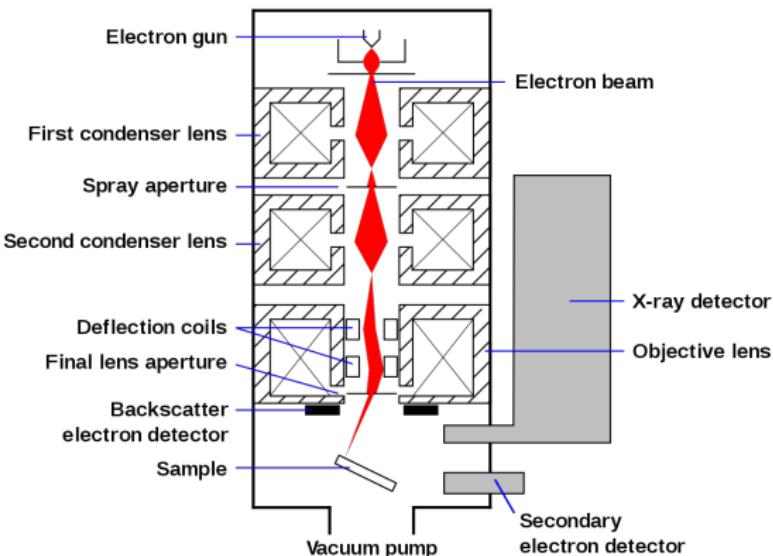
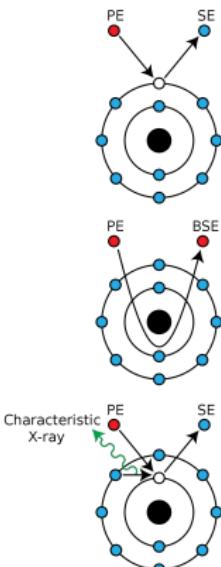


Schéma SEM.<sup>15</sup>



Emise elektronů.<sup>16</sup>

<sup>15</sup>Zdroj: Steff/Commons

<sup>16</sup>Zdroj: Rob Hurt/Commons

# Elektronová mikroskopie

Skenovací elektronová mikroskopie



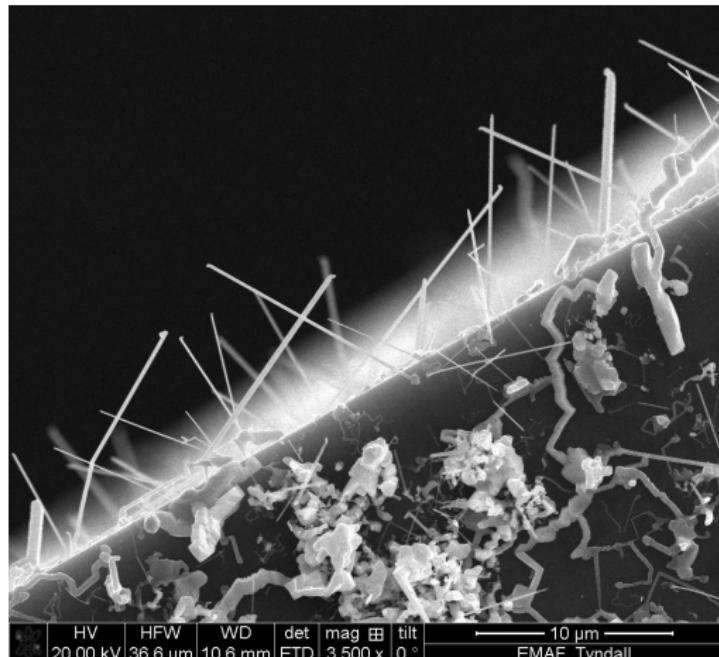
Pozlacený pavouk, pro pozorování pomocí SEM.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup>Zdroj: Toby Hudson/Commons

# Elektronová mikroskopie

## Skenovací elektronová mikroskopie



Nanovlákna GeTe<sup>18</sup>

<sup>18</sup>Zdroj: Fionán/Commons

# Elektronová mikroskopie

## Skenovací elektronová mikroskopie

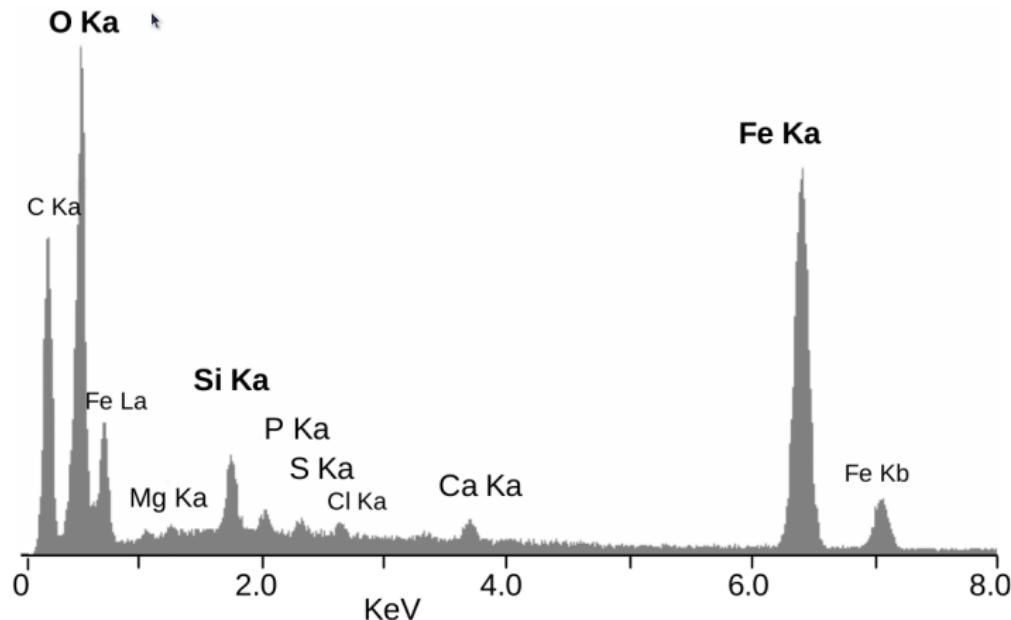


SEM snímek *Quasimodopsis riedeli*.<sup>19</sup>

<sup>19</sup>Zdroj: Michael S. Caterino/Commons

# Elektronová mikroskopie

## Skenovací elektronová mikroskopie

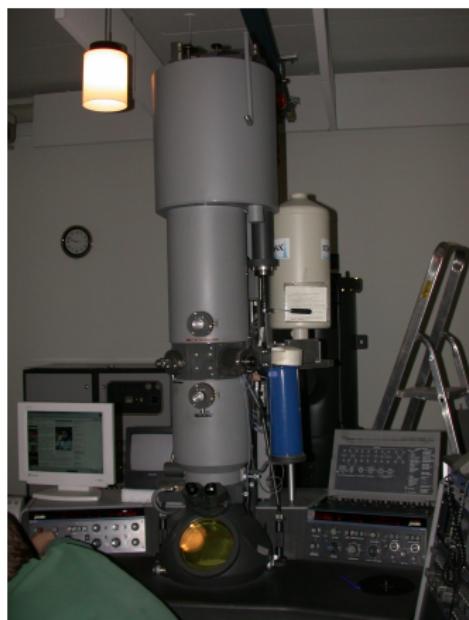


Ukázka EDX spektra.<sup>20</sup>

<sup>20</sup>Zdroj: Hat'nCoat/Commons

# Elektronová mikroskopie

Transmisní elektronová mikroskopie



TEM mikroskop.<sup>21</sup>

<sup>21</sup>Zdroj: KristianMolhave/Commons

<sup>22</sup>Zdroj: Superborsuk/Commons

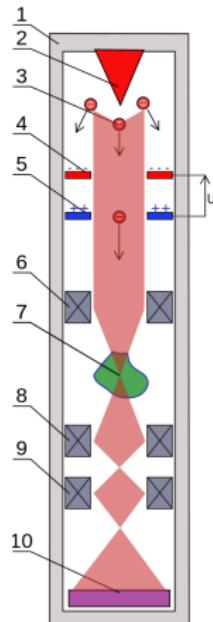
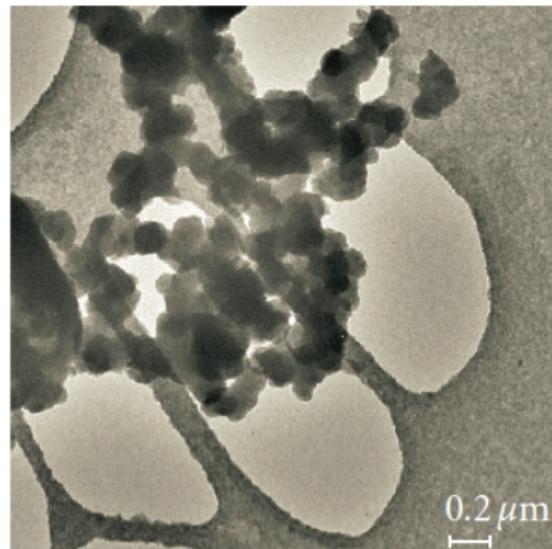


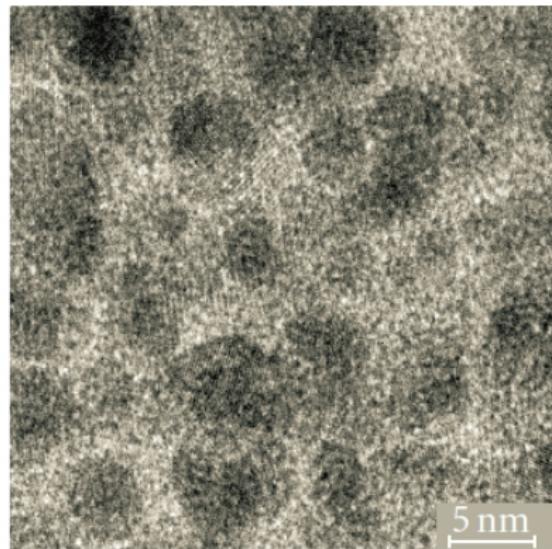
Schéma TEM mikroskopu.<sup>22</sup>

# Elektronová mikroskopie

## Transmisní elektronová mikroskopie



(a)



(b)

TEM snímek hybridní siliky.<sup>23</sup>

<sup>23</sup>Zdroj: Florentyna/Commons

# Elektronová mikroskopie

## Mikroskopie atomárních sil

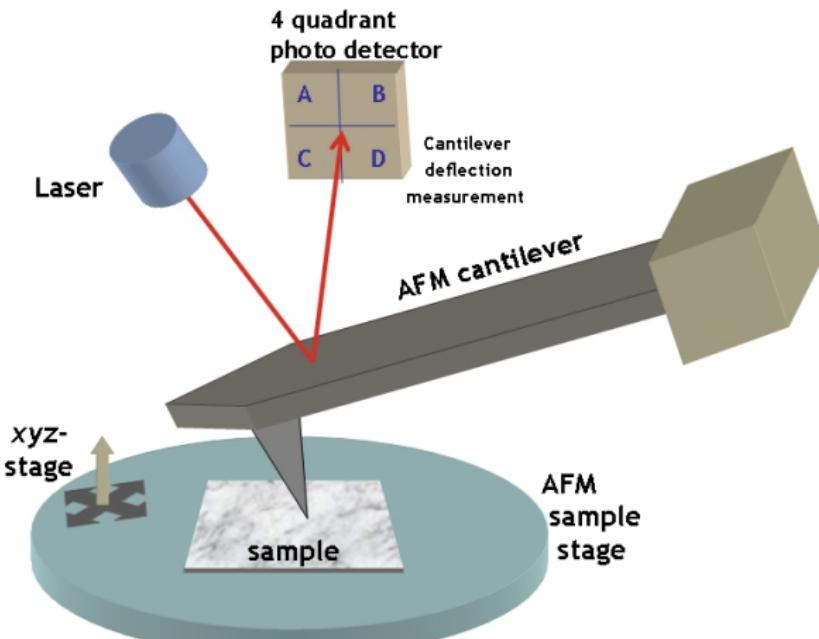


Schéma AFM.<sup>24</sup>

<sup>24</sup>Zdroj: KristianMolhave/Commons

# Elektronová mikroskopie

## Mikroskopie atomárních sil



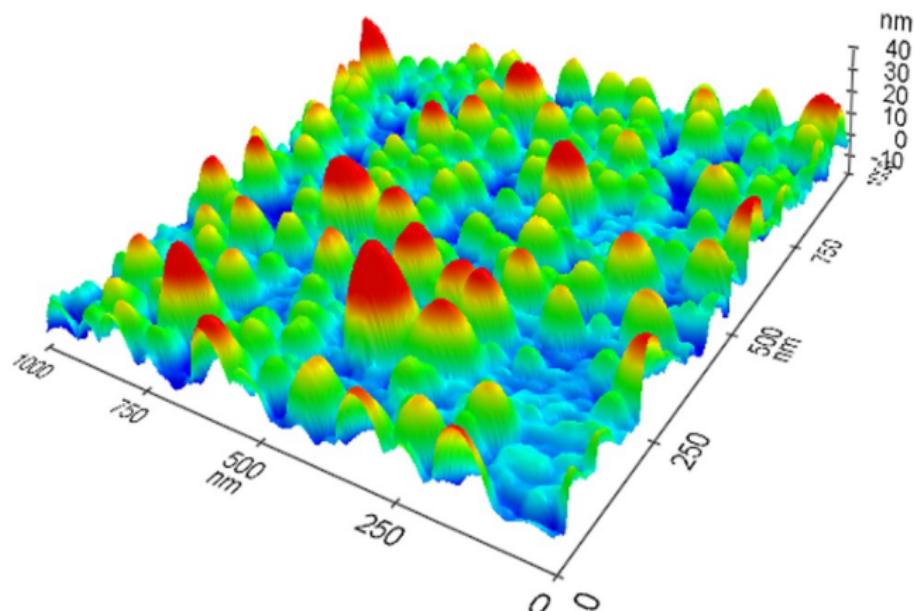
AFM mikroskop.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup>Zdroj: Laundry/Commons

# Elektronová mikroskopie

## Mikroskopie atomárních sil



AFM snímek nanočástic palladia.<sup>26</sup>

<sup>26</sup>Zdroj: Mehrabanian/Commons

# Elektronová mikroskopie a Brno



Brno.<sup>27</sup>

<sup>27</sup>Zdroj: Commons

<sup>28</sup>Zdroj: Hiramano92/Commons



Titan Krios Cryo-EM.<sup>28</sup>

# Elektronová mikroskopie a Brno

- ▶ Zakladatelem elektronové mikroskopie v Československu byl Armin Delong, který působil v Brně.
- ▶ V současnosti (2025) v Brně vzniká třetina všech elektronových mikroskopů na světě, jde asi o 700 kusů.
- ▶ Za jejich výrobu jsou odpovědné tři firmy:
- ▶ Thermo Fisher Scientific
- ▶ Tescan
- ▶ Delong Instruments
- ▶ Kromě toho zde probíhá i vývoj nových přístrojů a samozřejmě i klasický výzkum využívající elektronovou mikroskopii.
- ▶ V květnu 2025 bylo v Brně otevřeno Centrum elektronové mikroskopie, budova s velmi unikátní technologií, ve které jsou k dispozici dva transmisní a tři skenovací elektronové mikroskopky.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup>Nové Centrum elektronové mikroskopie v Brně otevírá dveře světové vědě



# Elektronová mikroskopie a Brno

Armin Delong

- ▶ 29. ledna 1925 Ostrava – 5. října 2017 Brno
- ▶ Český vědec, fyzik a zakladatel elektronové mikroskopie v Československu.
- ▶ Působil na MU a VUT.
- ▶ Byl spoluautorem stolního transmisního elektronového mikroskopu, který vyráběla firma Tesla. Prodalo se ho celkem kolem 1100 kusů a byl oceněn zlatou medailí na výstavě EXPO58 v Bruselu v roce 1958.
- ▶ Podílel se na založení *Ústavu přístrojové techniky ČSAV*, v jehož čele stál více než 30 let.
- ▶ Mezi lety 1967 až 1971 byl vedoucím Katedry fyziky pevné fáze na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity.

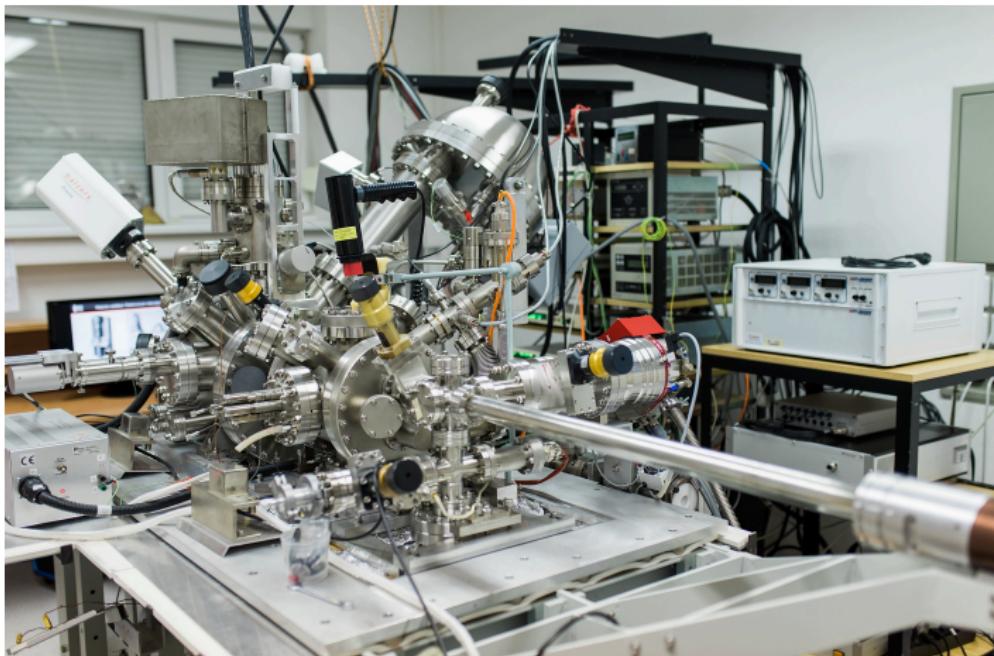


Armin Delong v roce  
2014.<sup>30</sup>

<sup>30</sup>Zdroj: OISV/Commons

# Elektronová mikroskopie a Brno

Armin Delong



Elektronový mikroskop Mamut v prostorách UPM.<sup>31</sup>

<sup>31</sup>Zdroj: AVČR/Commons