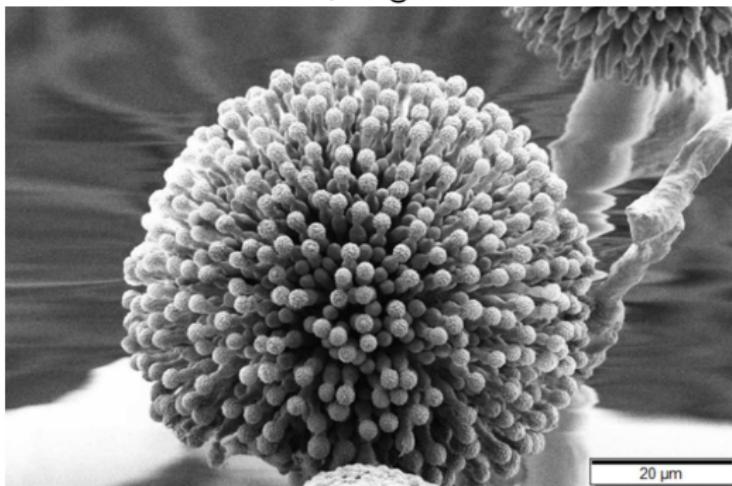


Elektronová mikroskopie a Brno
BrNOC 12. 12. 2025

Zdeněk Moravec, hugo@chemi.muni.cz



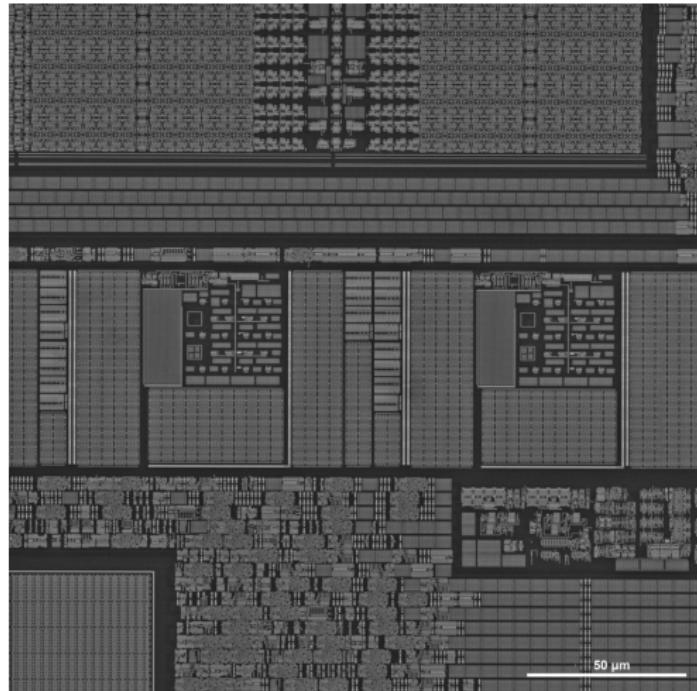
Úvod



Pozorovatelný Vesmír.¹

¹Zdroj: Pablo Carlos Budassi/Commons

Úvod



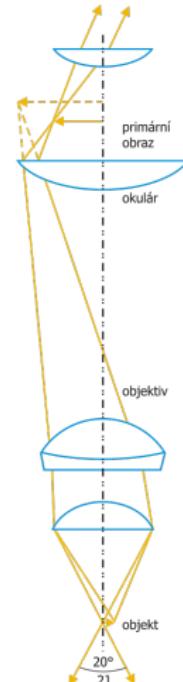
SEM fotografie CPU.²

²Zdroj: Piotr Krzemiński/Commons

Mikroskopie



Světelný mikroskop.³

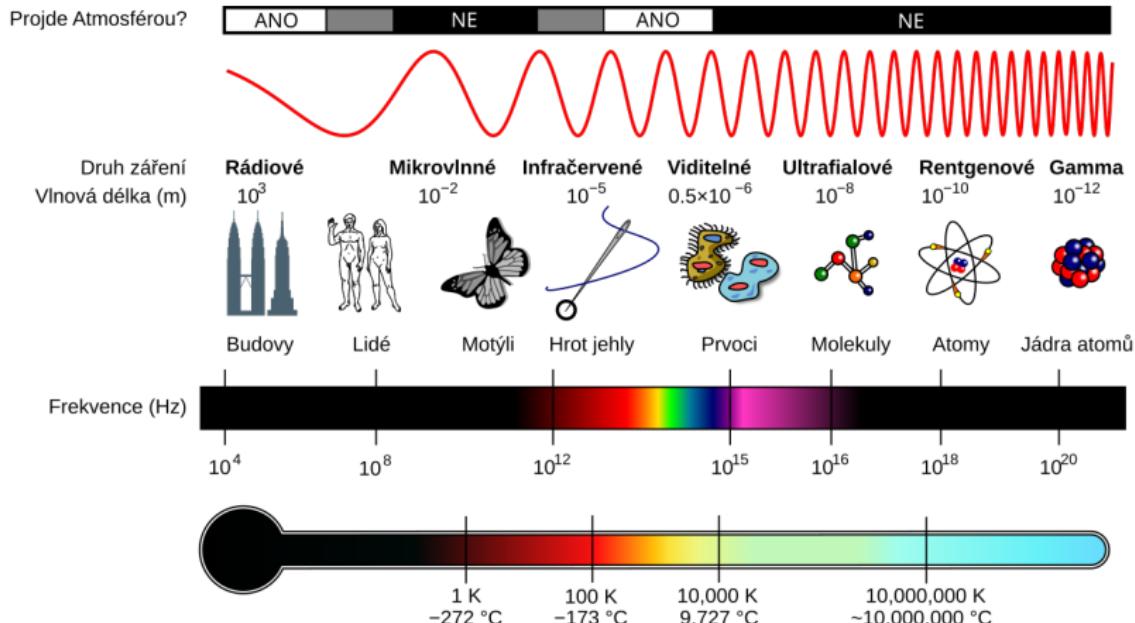


Princip funkce mikroskopu.⁴

³Zdroj: Holger.Ellgaard/Commons

⁴Zdroj: Tlusta/Commons

Mikroskopie



Spektrum elektromagnetického záření.⁵

⁵Zdroj: Inductiveload/Commons

Důležité milníky mikroskopie⁶

- 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.⁷
- 1986 První mikroskop atomárních sil (AFM)

⁶Timeline of microscope technology

⁷Vitrification of pure water for electron microscopy

Mikroskopie

Nobelovy ceny se vztahem k elektronové mikroskopii

Nobelova cena za fyziku (1986), Ernst Ruska⁸

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

Nobelova cena za chemii (2017), Jacques Dubochet, Joachim Frank, Richard Henderson⁹

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

Nobelova cena za chemii (2024), David Baker¹⁰

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

⁸Nobel Prize in Physics 1986

⁹Nobel Prize in Chemistry 2017

¹⁰Nobel 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

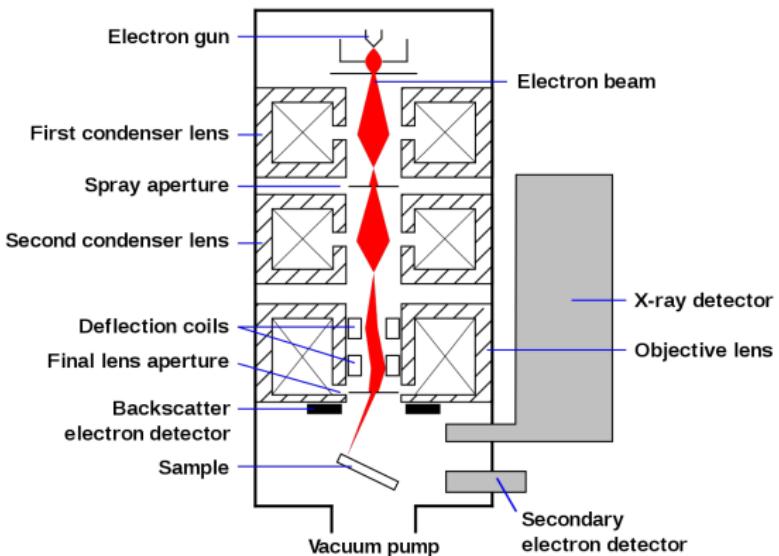
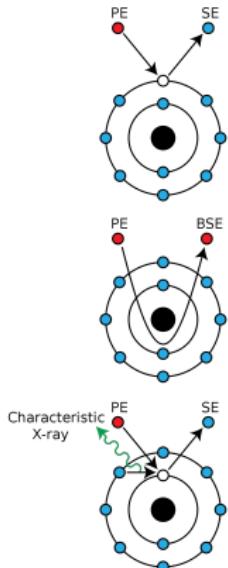


Schéma SEM.¹¹



Emise elektronů.¹²

¹¹Zdroj: Steff/Commons

¹²Zdroj: Rob Hurt/Commons

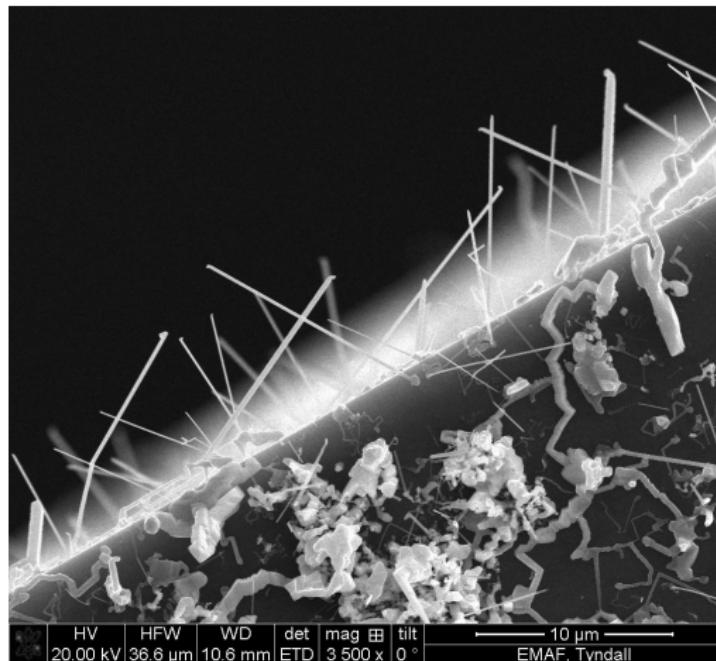
Elektronová mikroskopie



Pozlacený pavouk, pro pozorování pomocí SEM.¹³

¹³Zdroj: Toby Hudson/Commons

Elektronová mikroskopie



Nanovlákna GeTe.¹⁴

¹⁴Zdroj: Fionán/Commons

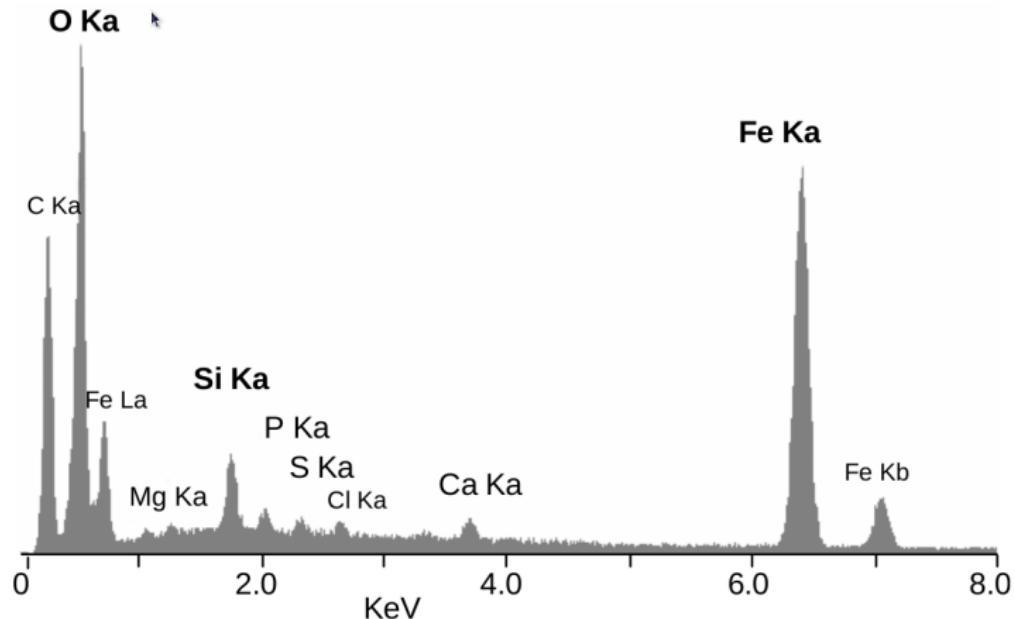
Elektronová mikroskopie



SEM snímek *Quasimodopsis riedeli*.¹⁵

¹⁵Zdroj: Michael S. Caterino/Commons

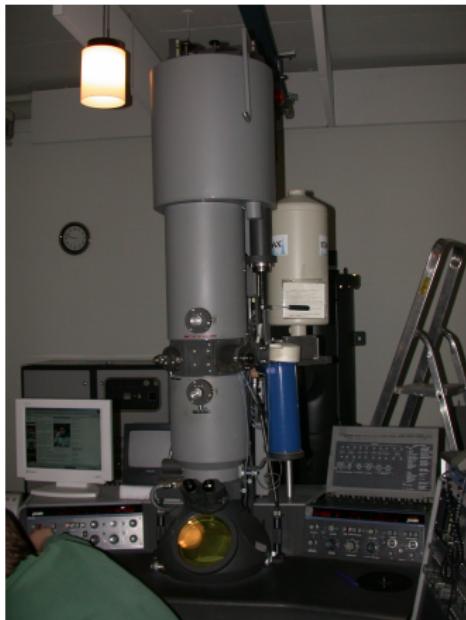
Elektronová mikroskopie



Ukázka EDX spektra.¹⁶

¹⁶Zdroj: Hat'nCoat/Commons

Elektronová mikroskopie



TEM mikroskop.¹⁷

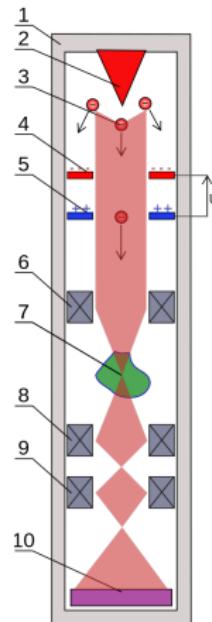
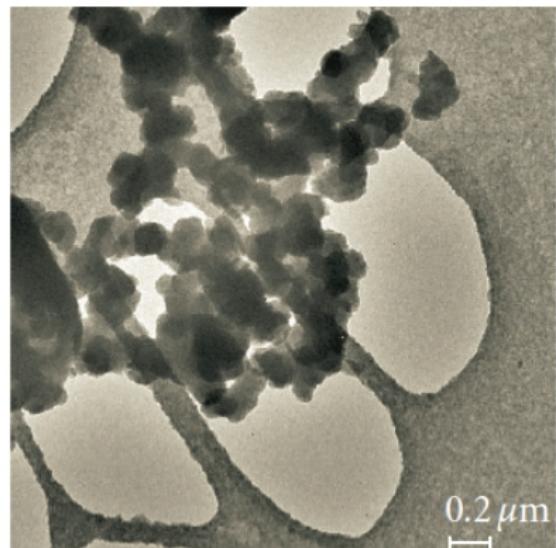


Schéma TEM mikroskopu.¹⁸

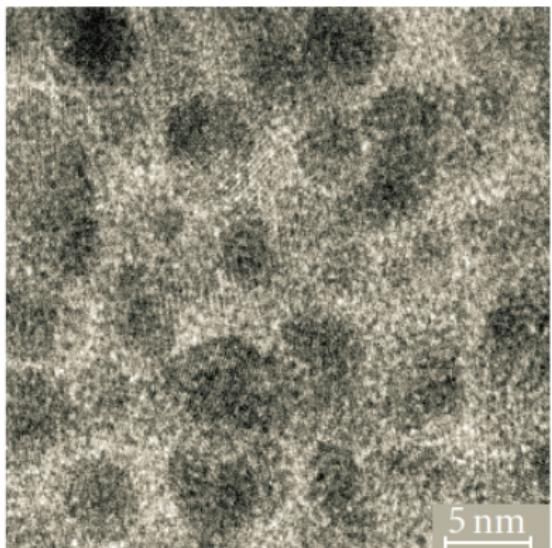
¹⁷Zdroj: KristianMolhave/Commons

¹⁸Zdroj: Superborsuk/Commons

Elektronová mikroskopie



(a)



(b)

TEM snímek hybridní siliky.¹⁹

¹⁹Zdroj: Florentyna/Commons

Elektronová mikroskopie

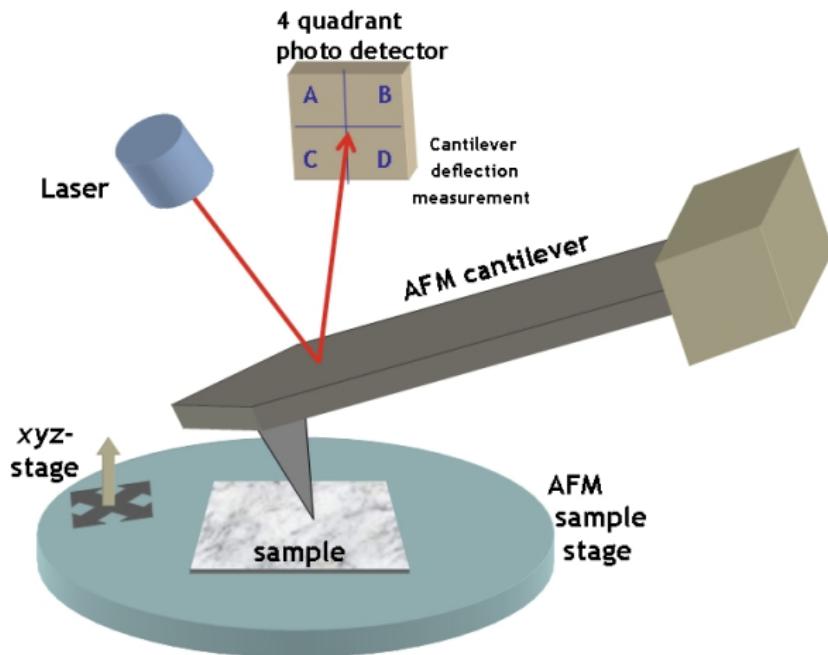


Schéma AFM.²⁰

²⁰Zdroj: KristianMolhave/Commons

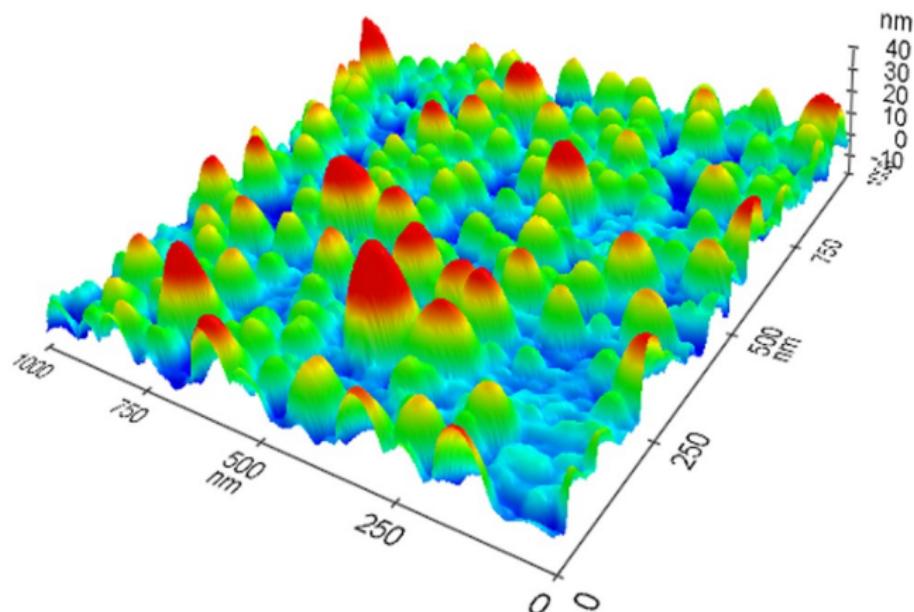
Elektronová mikroskopie



AFM mikroskop.²¹

²¹Zdroj: Laundry/Commons

Elektronová mikroskopie



AFM snímek nanočástic palladia.²²

²²Zdroj: Mehrabanian/Commons

Elektronová mikroskopie a Brno



Brno.²³

²³Zdroj: Commons

²⁴Zdroj: Hiramano92/Commons



Titan Krios Cryo-EM.²⁴