

# Abbeho teorie

## Ernst Karl Abbe (1840–1905)

Německý fyzik a astronom. Působil jako docent na Jenské univerzitě v Německu. V Jeně v této době vedl firmu optik Carl Zeiss zabývající se konstrukcí mikroskopů. Do započetí spolupráce s Ernstem Abbem byl ovšem každý z jeho přístrojů unikátem. Ernst Karl Abbe se postaral o teoretické podklady potřebné ke konstrukci mikroskopů. Po smrti Zeisse se Abbe stal jediným vlastníkem firmy Zeiss-Werke. Jakožto zakladatel teorie optických přístrojů se významně podílel na jejich zdokonalení.

### Optické přístroje nesoucí jeho jméno

- **Abbeův komparátor** – je přístroj na přesné měření vlnových délek viditelného světla. Jako první byl sestrojen právě Ernstem Karlem Abbem.
- **Abbeův kondenzor** – nastavitelná optická soustava mezi zdrojem světla a objektovým stolek optického mikroskopu pro dokonalejší osvětlení preparátu.
- **Abbeův refraktometr** – univerzální přístroj k měření indexu lomu kapalných a tuhých látek.

### Pojmy nesoucí jeho jméno

- **Abbeovo číslo** – Toto číslo nám udává disperzní mohutnost daného průhledného prostředí v oblasti viditelného světla. Abbeovo číslo charakterizuje vlastnosti optického skla. Běžné hodnoty tohoto čísla se pohybují mezi 20 až 70. Například pro konstrukci čoček je nejlepší co největší hodnota Abbeova čísla, jelikož tento materiál má nízkou disperzi (disperze = rozklad optického záření podle spektrálního složení).
- **Abbeho sinová podmínka** – podmínka, která musí být splněna, aby se dvojice blízkých bodů, ležících v rovině kolmé k optické ose systému, zobrazila ostře tj. bod jako bod.

## Abbeho teorie

Abbeho teorie mikroskopu, neboli teorie optických přístrojů, vznikla v roce 1873.

### Historie

Již v roce 1869 se zdálo, že teoretické základy pro konstrukci mikroskopu jsou položeny, ale mikroskop sestavený dle těchto teoretických hodnot byl méně zdařilý než Zeissovy předešlé výrobky. V dalších pokusech Abbe zjistil, že ve svých předešlých výpočtech vzal v úvahu pouze lom světla, nikoli jeho ohyb.

### Abbeho teorie mikroskopu

Tato teorie vysvětluje princip vzniku obrazu v mikroskopu. Základní myšlenkou Abbeho teorie je představa, že každý bod osvětleného objektu se stává zdrojem sekundárních sférických vln dle Huygensova principu.

Záření (rovnoběžný paprskový svazek) prostupuje vzorkem, který pro záření představuje plošnou nepravidelnou mřížku, a v podobě sekundárních vln vstupuje do objektivu, přičemž se dostává do jeho zadní ohniskové roviny označované  $F'$ .

Změny amplitudy a změny fáze procházejících vzorkem popsal Abbe transmisní (tj. zprostředkovávající) funkcí  $F(x, y)$ , kde proměnné  $x$  a  $y$  představují souřadnice v předmětové rovině, tato rovina je kolmá na optickou osu mikroskopu.

Sekundární sférické vlny nakonec prochází do obrazové roviny a jejich interferencí dochází ke vzniku zvětšeného obrazu pozorovaného objektu.

Pro zlepšení průchodu světelných paprsků se používá tzv. imerze – mezi objektivem a krycím sklíčkem není vzduch, ale třeba speciální olej, jež má stejný index lomu ( $n$ ) jako sklo, záření tedy nemusí prostupovat dvěma různými prostředími a do objektivu jej pronikne více. Imerze se využívá hlavně při větších zvětšeních. Ernst Abbe definoval vztah pro užitečné zvětšení, tj. takové zvětšení, jaké lidské oko ještě dokáže zřetelně rozlišit.

$$Z_{\text{užitečné}} = d_{\text{RLO}} / d_{\text{min}}$$

$d_{\text{RLO}}$  představuje vzdálenost rozlišitelnou lidským okem. Pro konvenční zrakovou vzdálenost (tj. 25 cm) je rozlišovací schopnost lidského oka rovna 300  $\mu\text{m}$ . Nej kvalitnější imerzní mikroskopy dosahují numerické apertury (viz dále) 1,3 až 1,4. Pro nejkratší vlnové délky viditelné části světelného spektra (což je asi 390 nm) se pak rozlišovací schopnost těchto kvalitních objektivů přibližuje k hodnotě 0,17  $\mu\text{m}$ .

Po dosazení do výše zmíněného vzorce získáme pro maximální užitečné zvětšení hodnotu  $Z_{\text{užitečné maximální}} = 1500$ .

Pro volbu užitečného zvětšení celkového, které představuje normální rozsah zvětšení, bylo zavedeno Abbeho pravidlo, jež bylo odvozeno ze zvětšení objektivu a z číselných kombinací numerických apertur. Vztah pro Abbeho pravidlo:

$$Z_{\text{užitečné celkové}} = (500 \text{ až } 1000) \times NA$$

*NA – numerická apertura*

- charakteristická hodnota daná konstrukcí objektivu, bývá stejně jako zvětšení udána na plášti objektivu.
- bezrozměrné číslo, které lze vyjádřit vztahem:

$$NA = n \times \sin \delta$$

*kde:*

$n$  = index lomu prostředí před objektivem

$\delta$  = polovina vrcholového úhlu kužele paprsků vstupujících do objektivu

Z uvedeného vztahu vyplývá, že hodnota NA je přímo úměrná sinu úhlu  $\delta$ .

Jak už bylo zmíněno výše, u nejkvalitnějších objektivů dosahuje hodnot 1,3 až 1,4.

Pokud je zvětšení mimo normální rozsah zvětšení, pak hovoříme buďto o prázdném (při překročení normálního rozsahu), nebo o minimálním (při nedosažení normálního rozsahu) zvětšení.

O prázdném zvětšení můžeme mluvit při použití okuláru s příliš velkým zvětšením v poměru k danému objektivu. Tato situace bohužel nevede k pozorování nových detailů, ale pouze ke zvětšení stávajícího zvětšení. Dané zvětšení je pro nás tedy zbytečné => prázdné. Dochází při něm k překročení zvětšení celkového užitečného, což je vyjádřeno vztahem:

$$Z_p > 1000 \times NA$$

O minimálním zvětšení můžeme hovořit při použití okuláru s malým zvětšením v poměru k danému objektivu. Takovéto zvětšení se stává nedostatečným, jelikož nám detaily rozlišené objektivem nepřibývají, ale naopak nám unikají. O minimálním zvětšení pak mluvíme pouze v případě, že jeho hodnoty náleží do intervalu vyjádřeného vztahem:

$$Z_{\text{min}} = (250 \text{ až } 500) \times NA$$

Z Abbeho teorie nám tedy vyplývá, že jediným žádoucím zvětšením je pro nás zvětšení užitečné celkové, tj. hodnoty které se nacházejí v intervalu daném výše zmíněným vztahem:

$$\mathbf{Z_{užitečné celkové} = (500 \text{ až } 1000) \times NA}$$

## Odkazy

- TOMÁNKOVÁ, Kateřina, Ing., Ph.D., *Mikroskopie 1*, 2004 - [http://www.fch.vut.cz/~zmeskal/obring/prednasky\\_2004/mikroskopie\\_1%20\(katka%20tomankov%e1\).pdf](http://www.fch.vut.cz/~zmeskal/obring/prednasky_2004/mikroskopie_1%20(katka%20tomankov%e1).pdf) -
- PLÁŠEK, Jaromír, *Nové metody optické mikroskopie*, 1996, [https://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/139719/PokrokyMFA\\_41-1996-1\\_1.pdf](https://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/139719/PokrokyMFA_41-1996-1_1.pdf)
- *Geometrická optika*, [http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/prednasky/aberace\\_opt\\_soustav.pdf](http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/prednasky/aberace_opt_soustav.pdf)
- [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ernst\\_Karl\\_Abbe](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ernst_Karl_Abbe)
- [https://sk.wikipedia.org/wiki/Ernst\\_Karl\\_Abbe](https://sk.wikipedia.org/wiki/Ernst_Karl_Abbe)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Ernst\\_Abbe](https://en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Abbe)

## Použitá literatura

- VOKURKA, Martin a Jan HUGO, et al. *Velký lékařský slovník*. 9. vydání. Praha : Maxdorf, 2009. 1159 s. ISBN 978-80-7345-202-5.