

# Rozhledy matematicko-fyzikální

---

Lubomír Sodomka

Dočkáme se rentgenových fotoaparátů

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 88 (2013), No. 3, 12–14

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146532>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2013

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

## Dočkáme se rentgenových fotoaparátů

*Lubomír Sodomka, Adhesiv, TUL, Liberec*

**Abstract.** The article briefly introduces the principle of cameras which use X-rays and lenses.

### Úvod

Pro optické zobrazování ve viditelné oblasti spektra existují tři typy zobrazování, a to nejčastější čočkové, využívající lomu světla, zrcadlové, využívající odrazu světla, a vlnové, využívající vlnových vlastností světla, jako je interference a difrakce. Pro zobrazování rentgenovým zářením bylo čočkové zobrazování dlouho neznámé, což bylo možná ovlivněno i výrokem W. C. Röntgena, který tvrdil, že čočky pro rentgenové záření neexistují. Druhé dvě optické techniky se pro rentgenové záření využívaly. Historie čočkového zobrazování rentgenovým zářením začala kolem roku 1948 a nyní se dostala již do úrovně, která si nezádá se světelným zobrazováním.

### Fyzikální podstata čočkového zobrazování rentgenovým zářením

Od objevu rentgenového záření v roce 1895 Röntgenem uplynulo 118 let a po celou tu dobu se stále objevují jeho nové projevy, vlastnosti a využití. Již samotného Röntgena hned na počátku napadla myšlenka, zda by nebylo možné použít na fokusaci záření čočku, a prokázat tak jeho analogické vlastnosti optickým. Pro tyto účely se pokoušel vyrobit čočky ze slídy, ale neuspěl. Později se při zjišťování lomových vlastností rentgenového záření ukázalo, že nemohl uspět. Index lomu rentgenového záření  $\mu$  byl řešený Drudeovou–Lorentzovou elektronovou teorií a byl pro něho získaný vztah

$$\mu^2 = 1 + \frac{e^2}{\pi c^2 m} \sum_i \frac{N_i}{\nu_i^2 - \nu^2}, \quad (1)$$

kde  $e$  je náboj elektronu,  $m$  jeho hmotnost,  $N_i$  počet elektronů v jednotce objemu materiálu,  $\nu_i$  frekvence elektronů,  $\nu$  frekvence rentgenového záření a  $c$  rychlost světla. Poněvadž  $\nu_i \ll \nu$ , získáme pro index

lomu rentgenového záření jednodušší verzi vztahu (1) ve tvaru

$$\mu^2 = 1 + \frac{e^2}{\pi c^2 m} \cdot \frac{N}{-\nu^2} = 1 - \delta, \quad \text{kde } \delta = \frac{e^2}{\pi c^2 m} \cdot \frac{N}{\nu^2}. \quad (2)$$

V něm  $N$  je celkový počet elektronů v jednotce objemu materiálu. Poněvadž hodnota veličiny  $\delta$  je řádu  $-6$ , je index lomu podle (2) menší než jedna a o málo se od jedničky lišící, takže úhel lomu je značně malý [2, 4] a blíží se nule.

I když se s lomem pro přesná měření mřížkových parametrů difrakční technikou rentgenovým zářením počítá [4], zkonstruovat čočky rentgenového záření založené na lomu záření se dlouho nedařilo. K odhadu veličiny  $\delta$  je třeba znát celkový počet elektronů v jednotce objemu  $N$  (hustota elektronů), který počítáme podle vzorce

$$N = \frac{N_A \rho Z}{A}.$$

Zde  $N_A$  je Avogadrovo číslo,  $Z$  protonové číslo,  $\rho$  objemová hmotnost materiálu,  $A$  atomová hmotnost.

Užijeme-li pro odhad veličiny  $\delta$  čáry molybdenového záření  $\text{MoK}\alpha$ , které prochází hliníkem, dostaneme hodnotu  $\delta = 1,67 \cdot 10^{-6}$ . Je tedy lom rentgenového záření jev velmi slabý. Tato skutečnost vedla k tomu, že Röntgen nemohl ve své době vyrobit čočku pro lom rentgenového záření. K možnosti vytvořit takovou čočku se Röntgen vyjádřil takto: „Neexistují lomové čočky pro rentgenové záření“. V tom se však mýlil stejně jako v předpokladu, že rentgenové záření je tvořené podélnými kmity. Že jde o příčné kmity, dokázal C. G. Barkla v roce 1917.

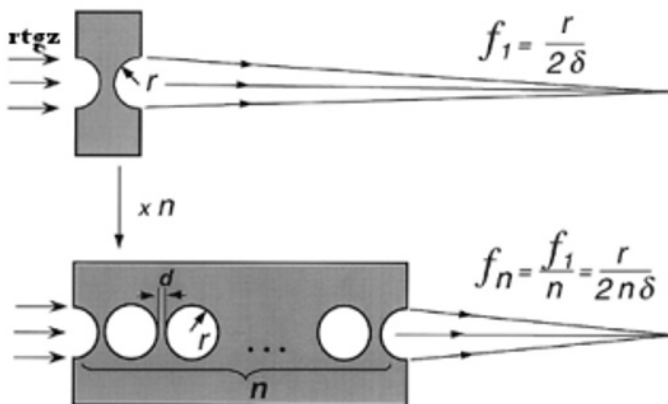
Na lomové čočky rentgenového záření bylo třeba čekat ještě několik desetiletí [2]. První, kdo se postavili Röntgenovu výroku, byli v roce 1948 Kirkpatrick a Baez. Ti zjistili, že vlivem nízké hodnoty veličiny  $\delta$  by ohnisková vzdálenost lomové čočky byla 100 m, takže od její konstrukce upustili. Pro menší hodnoty ohniskové vzdálenosti se přesunul zájem čoček pro rentgenové záření do vlnové optiky a Fresnelových destiček [3, 6]. Poněvadž veličina  $\delta$  vystupuje pro index lomu ve (2) v záporné hodnotě, je třeba pro konstrukci čoček užívat čoček nejlépe s bikonkávními plochami, které mohou být kulové, válcové, nebo nejlépe parabolické. Pro ohniskovou vzdálenost válcové čočky pak platí vztah

$$f = \frac{r}{2\delta},$$

případně pro  $n$  čoček za sebou

$$f = \frac{r}{2n\delta}.$$

Zde  $r$  je poloměr válcové (kulové) plochy,  $n$  počet za sebou řazených „čoček“ (obr. 1).



Obr. 1: K výkladu rentgenových čoček

## Literatura

- [1] Dierolf, M.: Ptychography lenseless X-ray imaging. *Europhysicsnews* **31**, č. 1 (2008), s. 22.
- [2] Jark, W. et al.: *CLESSIDRA: tiny refractive plastic lenses for focusing x-rays*. Elletra Trieste, Italy, 2004.
- [3] Karjakin, N. I. et al.: *Přehled fyziky*. SNTL, Praha, 1970.
- [4] Lengerer, B.: *Refractive x-ray lenses. New development*. Physic Department Aachen University, Grenoble, 2010.
- [5] Sodomka, L.: *Rentgenová difraktografie pevných látek*. SNTL, Praha, 1960.
- [6] Sodomka, L.: *Základy fyziky pro aplikace a nanotechnologii, díl 2*. Adhesi, Liberec, 2006 (na CD).
- [7] <http://sodomkalubomir.blog.cz>, [cit. 13.4.2011].