



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## FYZIKA PRO IV. ROČNÍK GYMNÁZIA - OPTIKA

# ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

**Mgr. Monika Bouchalová**

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

Tento digitální učební materiál (DUM) vznikl na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo CZ.1.07/1.5.00/34.0794 s názvem „Výuka na gymnáziu podporovaná ICT“.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

# ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ

Elektromagnetické vlnění nepotřebuje ke svému šíření látkové prostředí. → Šíří se i ve vakuu.

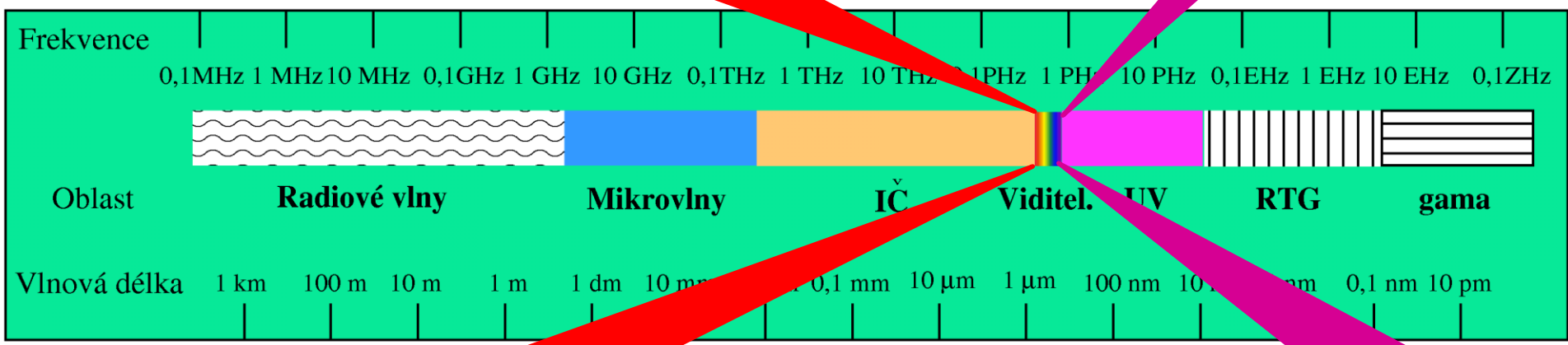
**Viditelné záření leží v rozmezí:**

$3,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

$7,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

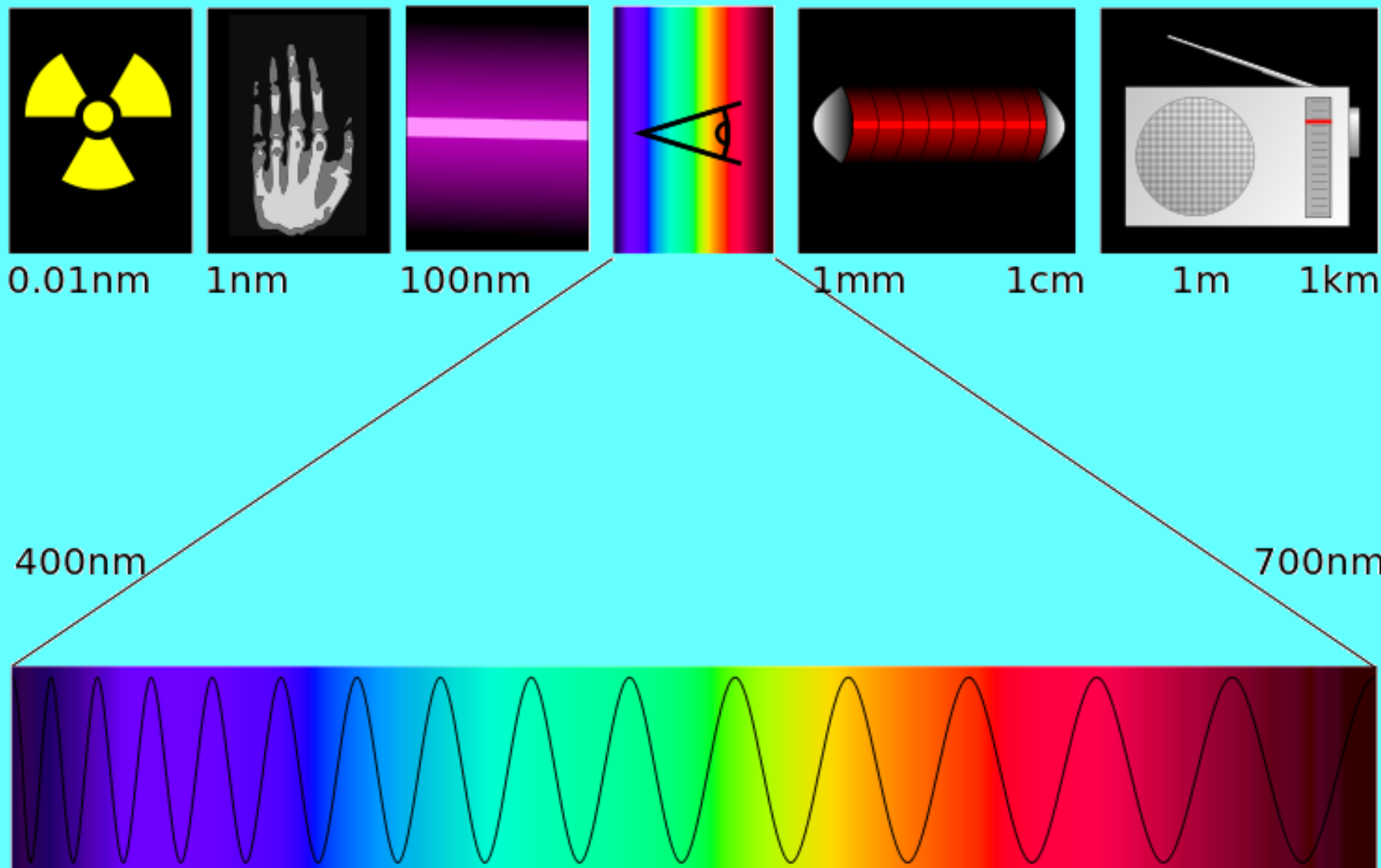
760 nm

390 nm



Obr.: 1

# 4. 1. PŘEHLED ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ



Obr.: 1

# 4. 1. PŘEHLED ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ

Vlnová délka charakterizuje různé druhy elektromagnetického vlnění a určuje jejich fyzikální vlastnosti.

Společnou vlastností je přenos energie.

Mezi jednotlivými druhy záření není ostrá hranice, přechody jsou plynulé.

- A. rádiové vlny
- B. optické záření
  - a) infračervené záření
  - b) viditelné světlo
  - c) ultrafialové záření
- C. rentgenové záření
- D. gama záření

ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ		PŘÍRODNÍ ZDROJ	UMĚLÝ ZDROJ
rádiové záření		kmitavý pohyb elektronů	elektrické obvody, elektronické oscilátory
infračervené		kmity molekul	rozžhavená vlákna
viditelné světlo		slunce, oheň	žárovky
ultrafialové záření		děje v elektronovém obalu atomu	výboj v plynu, jiskra
rentgenové záření	měkké	děje v jádře atomů	betatrony, cyklotrony, jaderné elektrárny
	tvrdé		
gama záření		reakce elementárních částic	

# A) RÁDIOVÉ ZÁŘENÍ

- má největší vlnovou délku  $10^4 - 10^3$  m
- zdrojem – oscilátory

## používá se

- k přenosu rozhlasového, televizního signálu a k přenosu signálu mobilních telefonů

## rozděluje se na

- dlouhé vlny
- střední vlny
- krátké vlny
- velmi krátké vlny
- ultra krátké vlny
- mikrovlny

		$\lambda$
	DV	do 1 km
	SV	do 100 m
	KV	do 10 m
	VKV	10 – 1 m
	UKV	1 m – 10 cm
	AM	
	FM	10 cm – 1 mm

NÁZEV PÁSMA (FREKVENCE)	ZKRATKA	PŘÍKLADY VYUŽITÍ
Extrémně nízká	ELF	Komunikace s ponorkami Komunikace v dolech
Super nízká	SLF	
Ultra nízká	ULF	
Velmi nízká	VLF	
Nízká	LF	Navigace, časové signály, <b>AM</b> vysílání (dlouhé vlny)
Střední	MF	<b>AM</b> vysílání (střední vlny)
Vysoká	HF	Krátkovlnné vysílání a amatérské rádio
Velmi vysoká	VHF	<b>FM</b> rádiové (velmi krátké vlny) a televizní vysílání
Ultra vysoká	UHF	Televizní vysílání, mobilní telefony, Wi-Fi, komunikace typu země-vzduch, vzduch-vzduch
Super vysoká	SHF	Mikrovlnná zařízení, Wi-Fi, většina moderních radarů
Extrémně vysoká	EHF	Radioastronomie, vysokorychlostní mikrovlnný přenos dat

## B) OPTICKÉ ZÁŘENÍ

- elektromagnetické záření s vlnovou délkou 1 mm – 1 nm
- uplatňují se v něm zákony optiky
  - a) Infračervené záření (IR – Infrared Radiation)
  - b) Viditelné světlo
  - c) Ultrafialové záření (UV - Ultraviolet Radiation)



# a) Infračervené záření

- **William Herschel** 1800 experimentoval se slunečním světlem..., objevil IR
  - 1781 za pomoci vlastního dalekohledu objevil planetu Uran
- zdrojem jsou všechna tělesa, která mají vyšší teplotu než okolí
- nevytváří zřetelný vjem
- při pohlcování IR záření se těleso zahřívá
- v IR oblasti lze používat
  - dalekohledy (pro vidění ve tmě)
  - mikroskopy
  - fotoaparáty se speciální optikou (v meteorologii)
  - infračervené zářiče pro vytápění
  - dálkové ovládání TV



## b) Viditelné světlo

- oblast 400 nm vlnové délky elektromagnetického záření
- zdrojem jsou tělesa zahřátá na teplotu větší než 525 °C
- **luminiscence** – proces, kdy látka vyzařuje světlo v důsledku jiné než tepelné excitace atomů
  - **fotoluminiscence** – zářivky – výbojem plynu vzniká UV, které dopadá na vnitřní plochu trubice a vyvolá vznik bílého světla
  - **bioluminiscence** – světlušky
  - **elektroluminiscence** – příčinou je elektrické pole
  - **katodoluminiscence** – u stínítka TV obrazovky vyvolané dopadajícími elektrony
- **lasery** – monochromatické světlo

## c) Ultrafialové záření

- objeveno 1861 - **Johann Wilhelm Ritter**
- zdrojem jsou tělesa zahřátá na velmi vysokou teplotu (slunce, elektrický oblouk, rtuťové výbojky – horské slunce)
- okem neviditelné, poškozují oči
- ničí mikroorganismy (používá se při sterilizaci)
  - (u moře, na horách, na poušti – kde je více slunce je méně virů)
- na pokožce vyvolává tvorbu pigmentu - produkce vitamínu D
- velké dávky škodí lidskému organismu (rakovina kůže)
- ve vysokých vrstvách atmosféry způsobuje ionizaci kyslíku, vzniká ozonoféra
  - obyčejné (draselné) sklo UV záření pohlcuje
  - plexisklo částečně
  - křemenné sklo ne

# C) RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ

- objeveno 1895 - při studiu výbojů v plynech

## **Willhelm Conrad Röntgen**

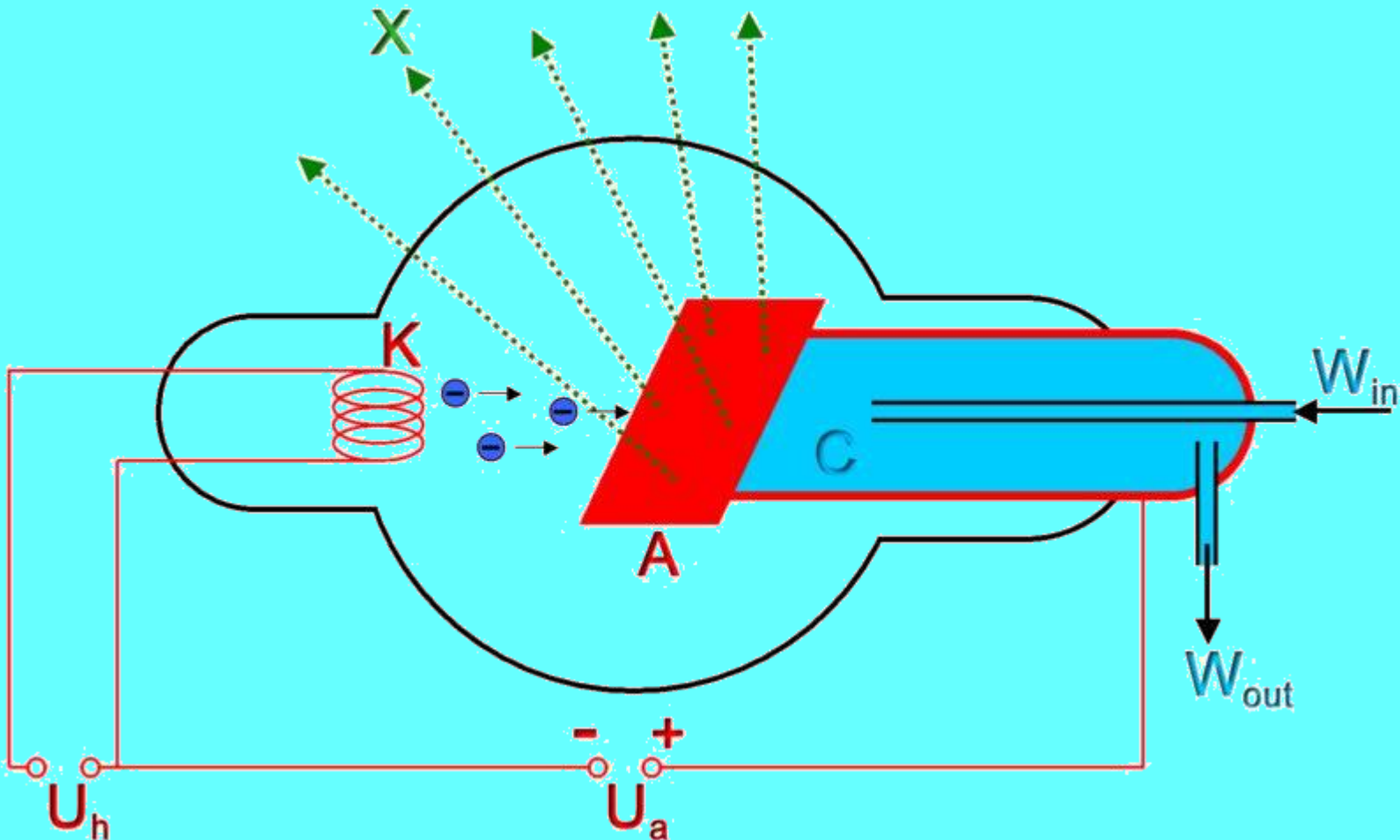
- pojmenoval je paprsky X
- první Nobelova cena za fyziku - 1901
- [ČEZ](#)



Obr.: 2

# C) RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ

- vzniká v rentgenkách (vakuová trubice s napětím 10–400 kV), elektrony emitované žhavenou katodou a urychlené potenciálovým rozdílem dopadají velkou rychlostí na anodu a vyvolají RTG záření



# C) RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ

$U_h$  – žhavicí napětí

$U_a$  – anodové napětí

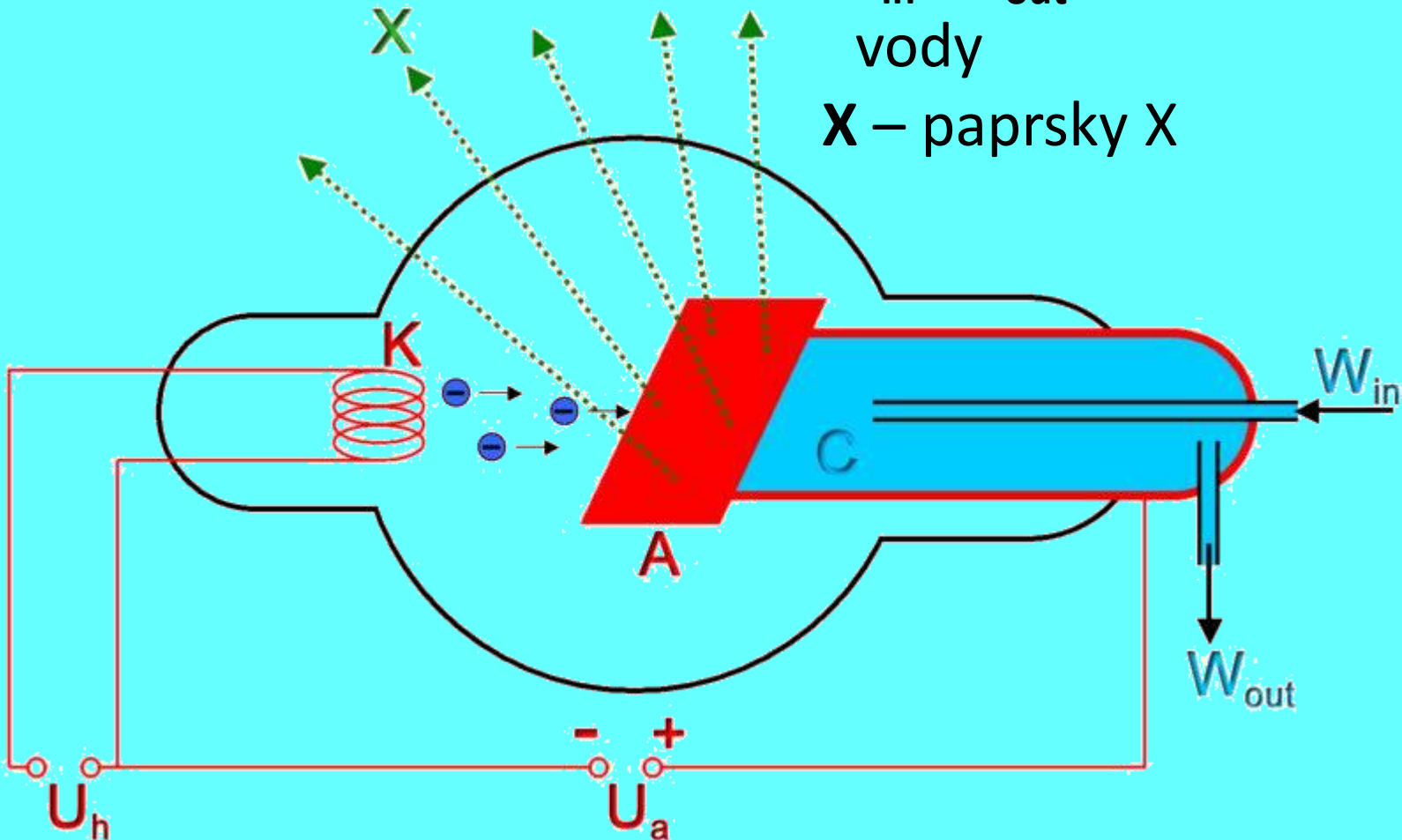
$K$  – katoda (žhavená)

$A$  – anoda

$C$  – vodní chladič

$W_{in}$ ,  $W_{out}$  – přívod a odtok vody

$X$  – paprsky X



# C) RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ

- **má silné ionizační účinky**, způsobuje luminiscenci (zviditelnění)
- **při průchodu látkou je pohlcováno**, energie záření se mění na vnitřní energii látky
  - je pohlcováno látkami v závislosti na protonovém čísle (čím větší  $Z$ , tím více pohlceno)
  - pohlcení závisí na tloušťce látky
  - **defektoskopie** – zjišťování trhlin nebo vzduchových bublin v odlitcích
  - kosti pohlcují záření více než tkáně – lékařství (ve větších dávkách působí na organismus negativně → ultrazvuk)
- **na krystalových mřížkách dochází k jeho ohybu a následné interferenci**

# C) RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ

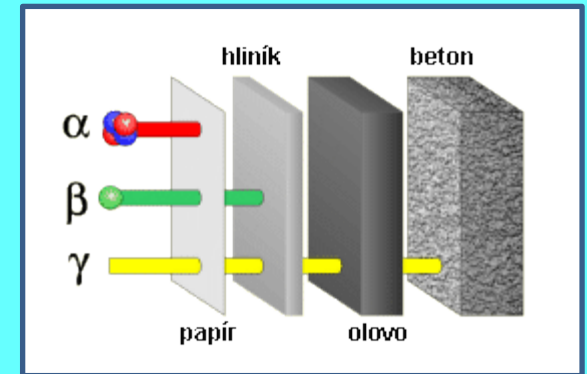
## rozdělení podle vlnové délky

- **brzdné záření (měkké)**
  - větší vlnová délka
  - vzniká při brzdění elektronů dopadajících velkou rychlostí na povrch kovu
  - závisí pouze na urychlovacím napětí
  - nezávisí na materiálu, z něhož je anoda vyrobena
  - spektrum je spojité
- **charakteristické (tvrdé)**
  - souvisí se změnami energie atomů kovu získané působením dopadajících elektronů
  - nespojité spektrum – čárové
  - vlnové délky spektrálních čar závisí na materiálu anody



# D) GAMA ZÁŘENÍ

- objeveno 1900 - Paul Villard
- zdrojem jsou tělesa, v jejichž atomových jádrech probíhají radioaktivní přeměny
- doprovází vznik záření alfa nebo beta



- **použití**

- sterilizace nástrojů
- ošetřování jídla, hlavně masa a zeleniny (aby zůstaly déle čerstvé - zabíjí bakterie)
- při léčení rakoviny tzv. Lekselův gama nůž

Hlava je upevněna v helmě, ve které jsou umístěny kobaltové zářiče, které jsou všechny zaměřeny na jedno místo, které ozáří.

Díky malému záření se nepoškodí okolní tkáň, léčebné účinky má jen na místo, kam směřují všechny zářiče.

## 4. 2. PŘENOS ENERGIE ZÁŘENÍM

Elektromagnetická vlna přenáší prostorem energii a předává ji tělesu, na které dopadá.

Přenos popisujeme  
fotometrickými a radiometrickými veličinami.

### **Fotometrie**

se zabývá měřením energie přenášené optickým zařízením.

### **Fotometrické veličiny**

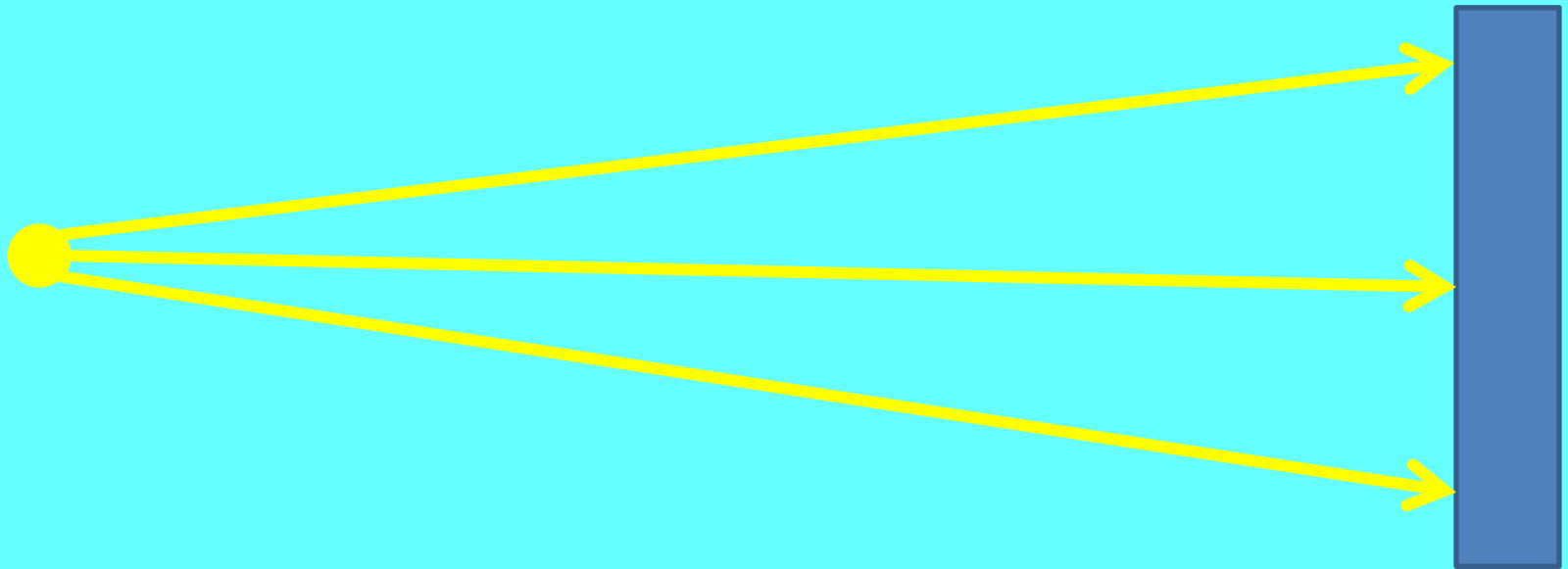
charakterizují přenos energie optického záření a jeho účinek na zrak.

## 4. 2. PŘENOS ENERGIE ZÁŘENÍM

světelný zdroj

optické prostředí

detektor



svítivost –  $I$   
kandela

světelný tok –  $\Phi$   
lumen

osvětlení –  $E$   
lux

## 4. 2. PŘENOS ENERGIE ZÁŘENÍM

### svítivost – I – bodového zdroje

- vyjadřuje podíl světelného toku vyzářeného zdrojem v daném směru do malého prostorového úhlu a velikosti tohoto prostorového úhlu  $\Omega$

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}$$

**[I] = cd (kandela = latinsky svíčka)**

- 100 W žárovka = 200 cd (200 svíček)
- 1 kandela je svítivost zdroje, který vysílá monochromatické záření o frekvenci  $5,4 \cdot 10^{14}$  Hz ( $\lambda = 555$  nm) a jehož zářivost je  $1/683$  W.sr<sup>-1</sup>

(Wattů na steradián)

## 4. 2. PŘENOS ENERGIE ZÁŘENÍM

### světelný tok – $\Phi$

- vztahuje se k přenosu světla prostorem
- charakterizuje intenzitu zřakového vjemu normálního oka vyvolaného energií světelného záření, kterou zdroj vyzáří za 1s

$$\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

$$[\Phi] = \text{lm (lumen)} \text{ (W)}$$

- **1 lumen** je světelný tok vyzařovaný všesměrovým zdrojem o svítivosti 1 kandela do prostorového úhlu 1 steradián.

## 4. 2. PŘENOS ENERGIE ZÁŘENÍM

### osvětlení – E

- plochy S, na kterou dopadá světelný tok  $\Phi$
- charakterizuje účinky světla při dopadu na povrch

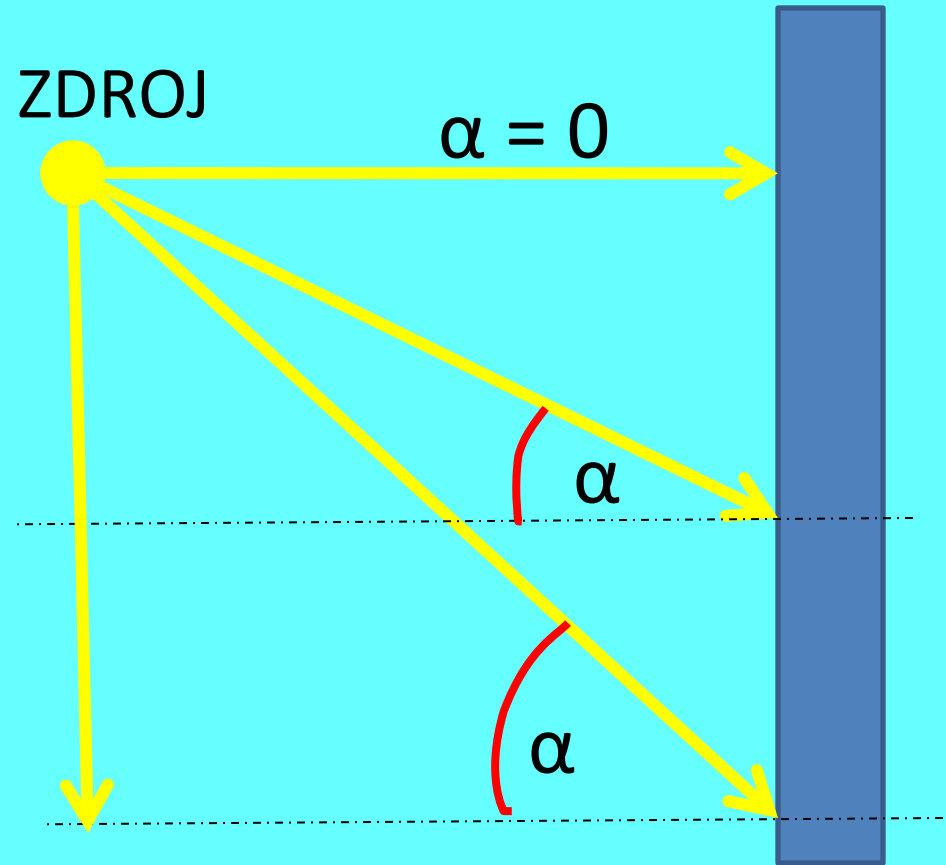
$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$$

**[E] = lx (lux = latinsky světlo) (Wm<sup>-2</sup>)**

- 1 lux je osvětlení plochy o velikosti 1 m<sup>2</sup>, na kterou dopadá světelný tok 1 lumen
- měříme ho luxmetrem (využívá fotoefekt)  
– součást fotopřístrojů

## 4. 2. PŘENOS ENERGIE ZÁŘENÍM

- nejlépe je osvětlena plocha, na kterou dopadá světlo kolmo
- jestliže jsou paprsky rovnoběžné s plochou, pak je osvětlení nulové
- $r$  – vzdálenost plochy od zdroje světla
- $\alpha$  – úhel, pod kterým světlo na plochu dopadá



$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}$$

## 4. 2. PŘENOS ENERGIE ZÁŘENÍM

- čtení 500 lx
- rýsování 1500 lx
- úplněk 0,5 lx
- slunečný den – (v ČR) 70 000 lx
- schodiště 15 lx
- oko  $10^{-9} - 10^8$  lx



## 4. 2. PŘENOS ENERGIE ZÁŘENÍM

### Radiometrické veličiny

charakterizují energii přenášenou zářením, které nelze vnímat okem.

### zářivá energie – $E_e$

- je celková energie přenášená elmg. zářením

### zářivý tok – $\Phi_e$

- udává energii, kterou zdroj vyzáří za 1s

$$\Phi_e = \frac{\Delta E_e}{\Delta t}$$

$$[\Phi_e] = \text{J} \cdot \text{s}^{-1} = \text{W}$$

## 4. 2. PŘENOS ENERGIE ZÁŘENÍM

### **zářivost – $I_e$**

- zářivý tok, který vychází ze zdroje v daném směru do prostorového úhlu  $\Omega$

$$I_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\Omega}$$

$$[I_e] = \text{W}\cdot\text{sr}^{-1}$$

### **intenzita ozařování (vyzařování)**

- podíl zářivého toku, který je vysílán z plochy zdroje (resp. dopadá na plochu povrchu tělesa) o plošném obsahu  $\Delta S$ , a tohoto obsahu

$$M_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta S}$$

$$[M] = \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$$

## 4. 3. ELMG. ZÁŘENÍ A SPEKTRA LÁTEK

**Spektrum** je rozdělení intenzity elektromagnetického záření mezi jednotlivé vlnové délky.

**Spektra látek** vznikají buď

- vyzařováním světla (emisní spektra) nebo
- pohlcováním světla (absorpční spektra)

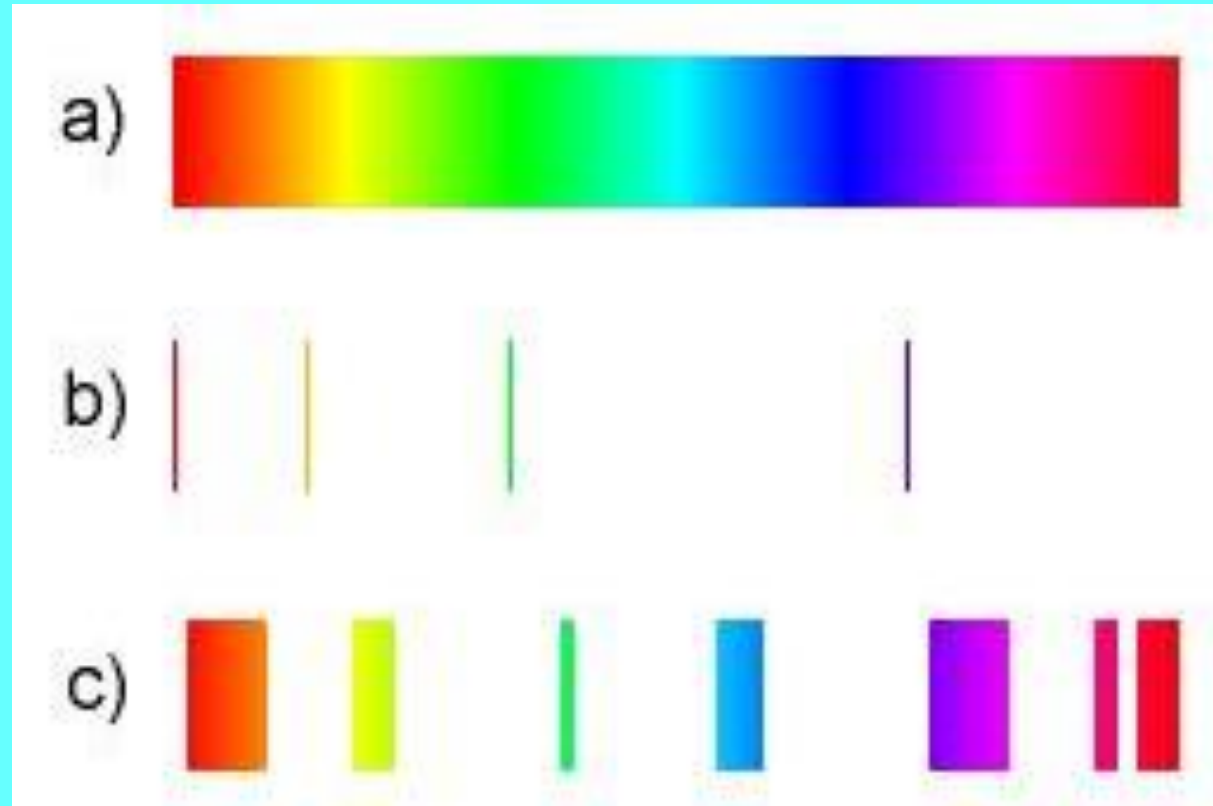
**Spektrální čára** je tmavá nebo světlá čára v jinak spojitém spektru, která je výsledkem nadbytku nebo nedostatku fotonů v úzkém frekvenčním pásmu v porovnání s okolními frekvencemi.

# 4. 3. ELMG. ZÁŘENÍ A SPEKTRA LÁTEK

## EMISNÍ SPEKTRUM

je tvořeno souborem frekvencí elektromagnetického záření vyzařovaného látkou.

- a) spojité
- b) čárové
- c) pásové

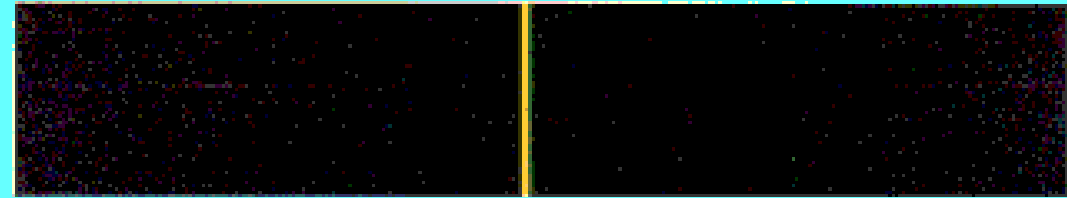


Obr.: 1

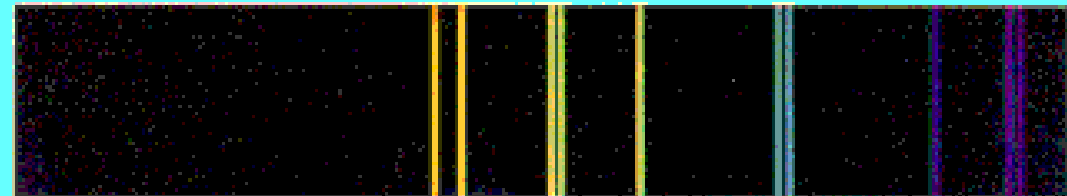
# 4. 3. ELMG. ZÁŘENÍ A SPEKTRA LÁTEK

## Čárové spektrum

- obsahuje jen některé vlnové délky tzv. **spektrální čáry** charakteristické pro každý prvek
- vyzařují je plyny a páry prvků při vysokých teplotách (při výboji)
- elektrony získávají energii, přeskočí na vyšší hladinu (excitují se) a při přechodu zpět vyzáří elmg. vlny (fotony)



SODIUM



MERCURY



LITHIUM

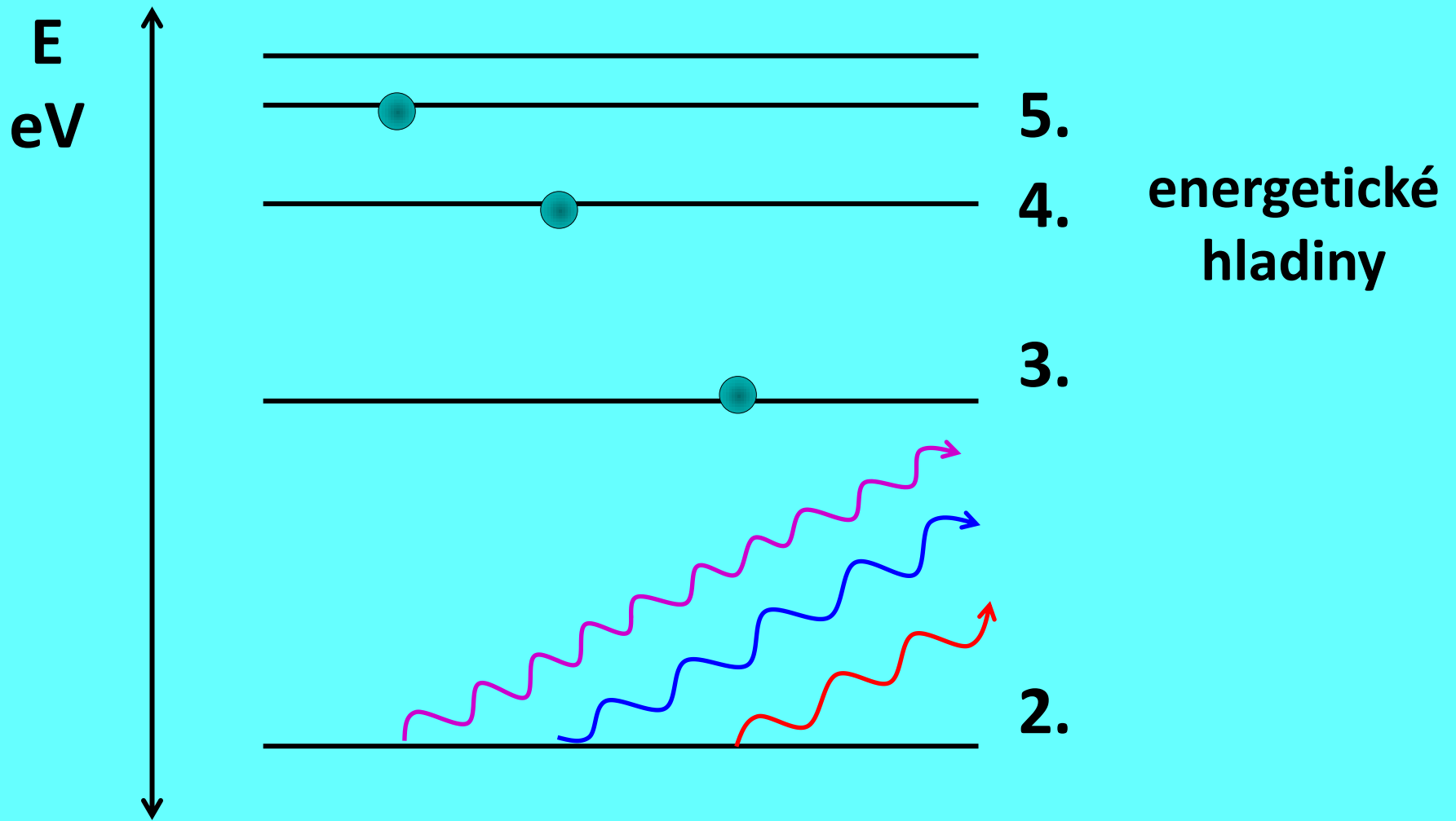


HYDROGEN



# 4. 3. ELMG. ZÁŘENÍ A SPEKTRA LÁTEK

Vznik čárového spektra vodíku:



# 4. 3. ELMG. ZÁŘENÍ A SPEKTRA LÁTEK

## **pásové**

- je tvořeno velkým množstvím spektrálních čar ležících těsně vedle sebe
- vysílají je zářící molekuly látek

## **spojité**

- elektromagnetické vlny všech délek
- vyzařují ho pevné nebo kapalné látky

# 4. 3. ELMG. ZÁŘENÍ A SPEKTRA LÁTEK

## ABSORPČNÍ SPEKTRUM

- spektrum světla, které látka pohlcuje.
- soubor temných čar (pásů) ve spojitém spektru světla, které vznikají při pohlcování záření látkou
- na rozdíl od emisních spekter nemusíme vzorek látky rozžhavit na velmi vysokou teplotu

## Obrácení spektra

- je přechod od emisního k absorpčnímu spektru

## Spojité spektrum

- vznikne sloučením emisního a absorpčního spektra stejné látky



# 4. 3. ELMG. ZÁŘENÍ A SPEKTRA LÁTEK

## Spektrum slunečního záření

obsahuje velké množství absorpčních čar (20 000)

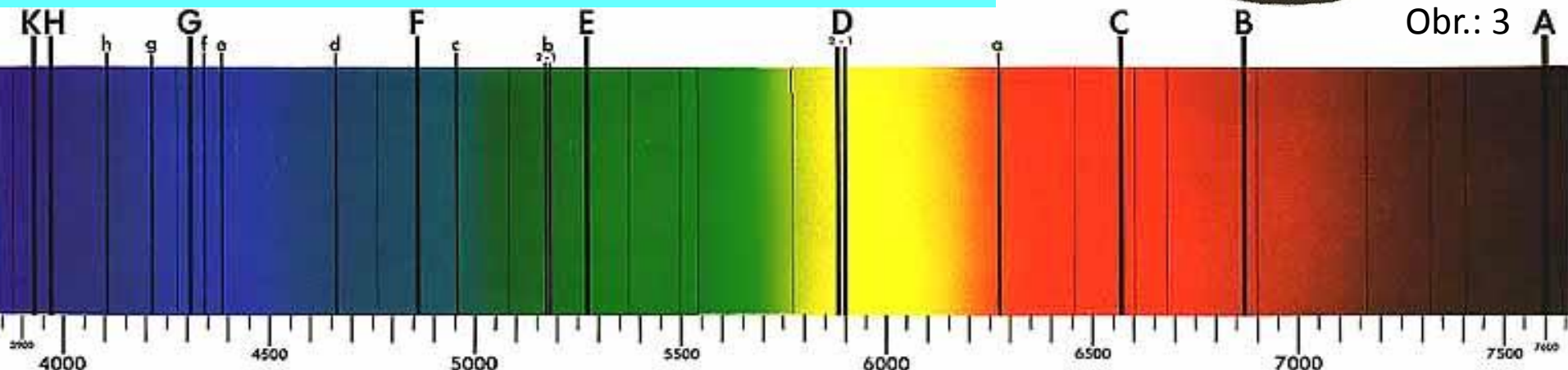
## Fraunhoferovy čáry

Temné čáry ve spektru slunečního záření, které vznikají absorpcí slunečního záření určitých vlnových délek při jeho průchodu chromosférou Slunce a atmosférou Země.



Obr.: 4

Obr.: 3

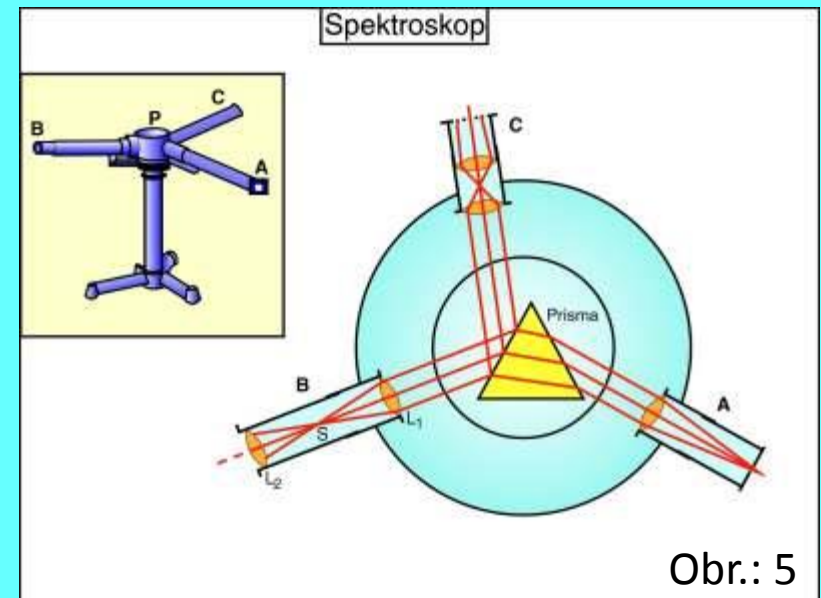


# 4. 3. ELMG. ZÁŘENÍ A SPEKTRA LÁTEK

## Spektrální analýza

- je metoda studia chemického složení látek,
- analýzou čárových spekter lze určit chemické složení pomocí **spektroskopu**, který je založen na rozkladu světla

- **hranolem**  
hranolový spektroskop
- **optickou mřížkou**  
mřížkový spektroskop

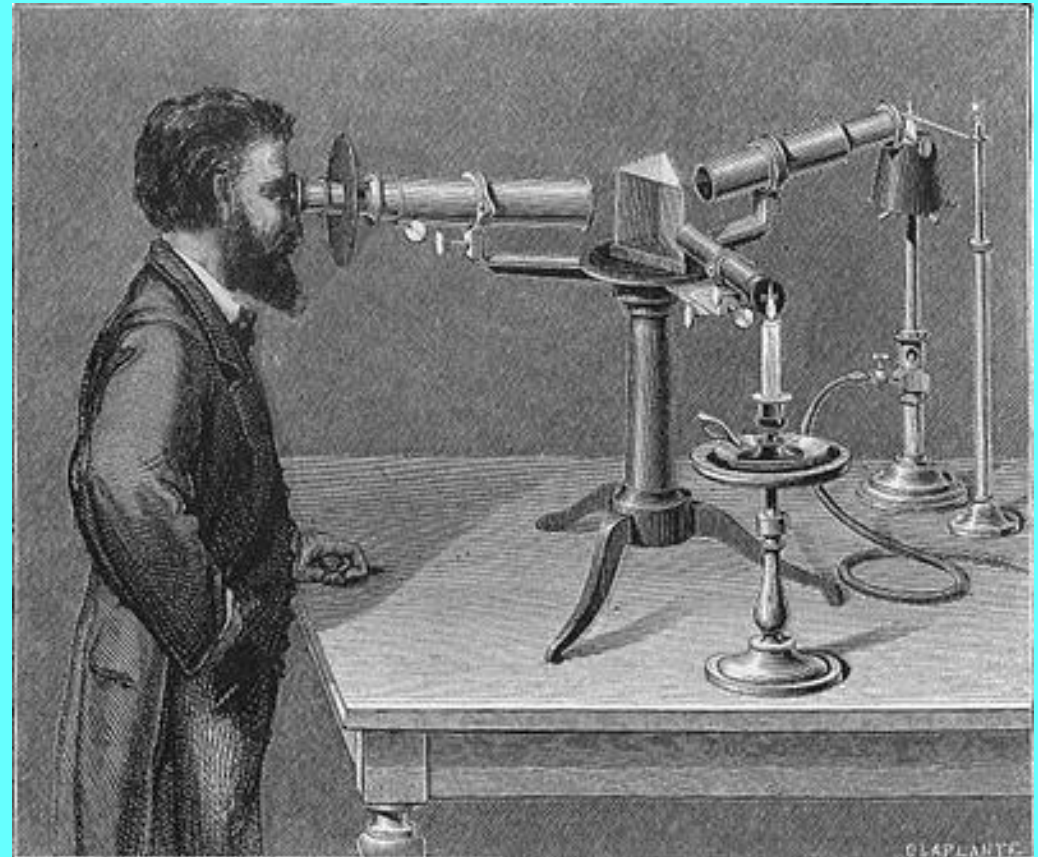


## 4. 3. ELMG. ZÁŘENÍ A SPEKTRA LÁTEK

Analýzou pásů pásového spektra se určuje přítomnost molekul v látce.

**Kvantitativní  
spektrální  
analýza:**

na základě intenzity  
lze určit množství prvku.



Obr.: 7 - Spektroskop Roberta Kirchhoffa

# 4. 4. ZÁŘENÍ ČERNÉHO TĚLESA

## Tepelné záření

- optické záření vysílané látkou v důsledku tepelné excitace atomů (atom je excitovaný, je-li alespoň jeden jeho elektron excitovaný)

## Zářivost tělesa

- závisí při dané frekvenci na jeho absorpční schopnosti
- k popisu vyzařování těles se zavádí tzv. černé těleso

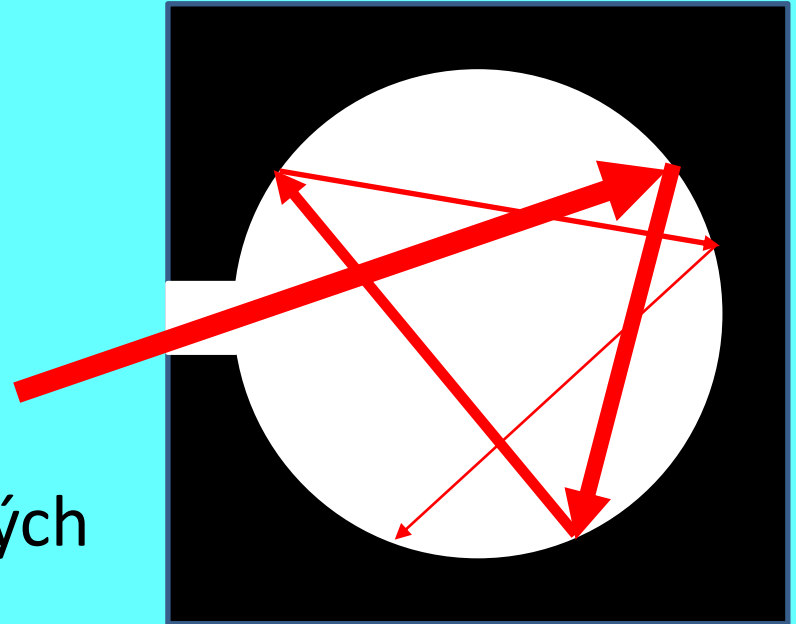
## 4. 4. ZÁŘENÍ ČERNÉHO TĚLESA

**Černé těleso** – abstraktní těleso

- dokonale pohlcuje veškerou energii, která na něj dopadá
- nedochází k žádnému odrazu
- vyzařování závisí jen na jeho termodynamické teplotě

**Realizace ČT:**

malý otvor v dutině, jejíž vnitřní povrch tvoří matná černá plocha. Záření, které dopadá dovnitř malým otvorem, se po opakovaných odrazech pohltí.



# Pro vyzařování ČT platí zákony:

## Stefan–Boltzmannův zákon

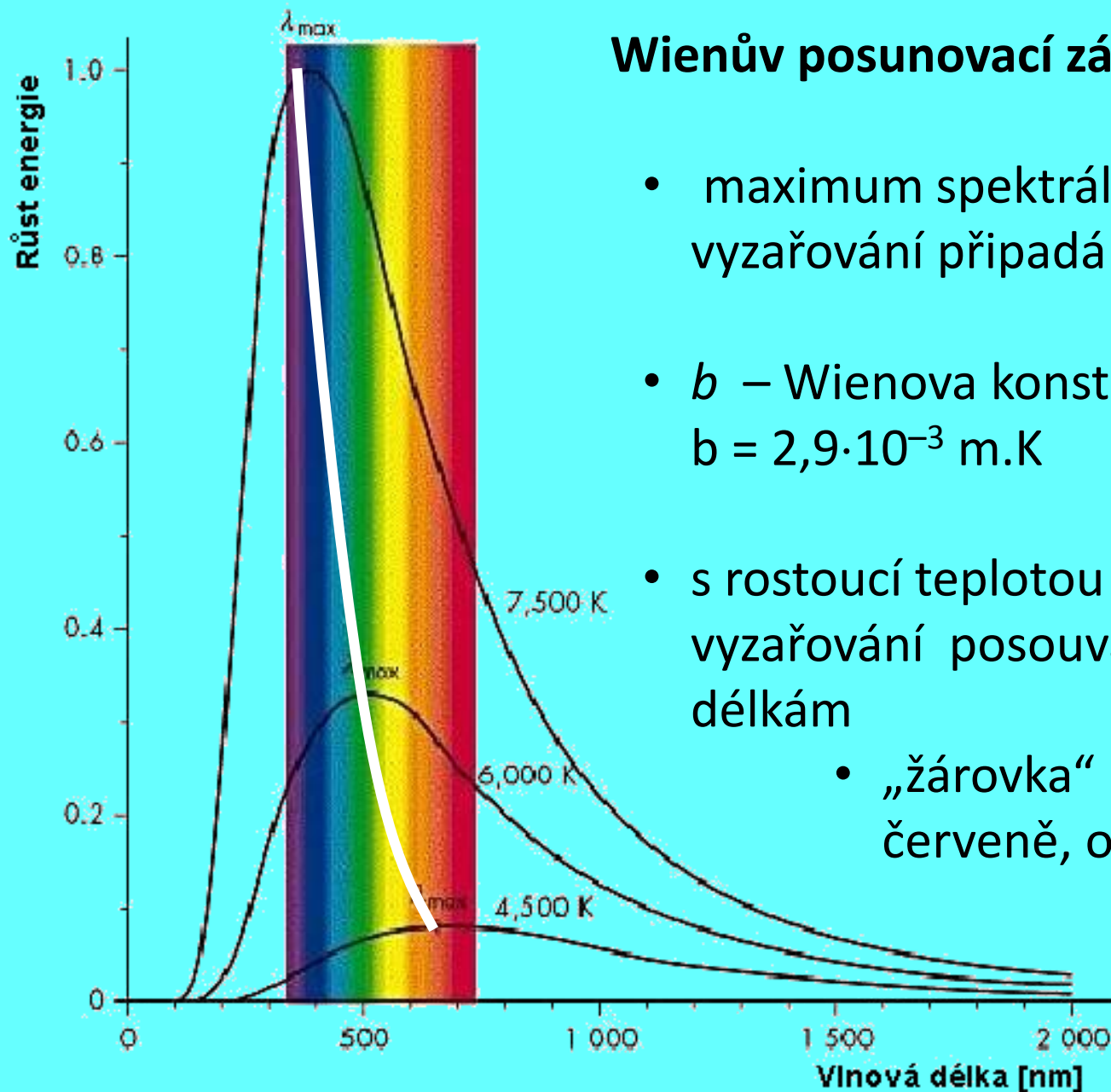
intenzita vyzařování je úměrná čtvrté mocnině termodynamické teploty.

$$M_e = \sigma T^4$$

$\sigma$  – Stefan–Boltzmannova konstanta

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$

# Pro vyzařování ČT platí zákony:



## Wienův posunovací zákon

- maximum spektrální intenzity vyzařování připadá na vlnovou délku
- $b$  – Wienova konstanta  
 $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$
- s rostoucí teplotou se maximum vyzařování posouvá ke kratším vlnovým délkám
  - „žárovka“ s  $\uparrow T$  svítí červeně, oranžově...až fialově

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

Obr.: 6

# Pro vyzařování ČT platí zákony:

## Planckova teorie

Energie elektromagnetického záření může být vyzařována nebo pohlcována jen po celistvých kvantech energie  $E$ .

$h$  – Planckova konstanta  $6,626 \cdot 10^{-34}$  J.s.

$$E = hf$$

## Spektrální hustota intenzity vyzařování:

Lidské oko nejlépe vnímá světlo o vlnové délce, která odpovídá maximu vyzařování Slunce.

$\lambda_{\max} = 500 \text{ nm} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ .

Povrchová teplota Slunce: ...

$$H_{\lambda} = \frac{\Delta M_e}{\Delta \lambda}$$