

Ing. Libor Lenža,  
Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.

# Základy spektroskopie a její využití v astronomii

Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.  
Krajská hvezdáreň v Žiline



PROGRAM  
CEZHRANIČNEJ  
SPOLUPRÁCE  
SLOVENSKÁ REPUBLIKA  
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA  
EURÓPSKY FOND  
REGIONÁLNEHO ROZVOJA  
SPOLOČNE BEZ HRANÍC



## Vzdělávací soustředění studentů

v rámci projektu KOSOAP

Kooperující síť v oblasti astronomických odborně-pozorovatelských programů

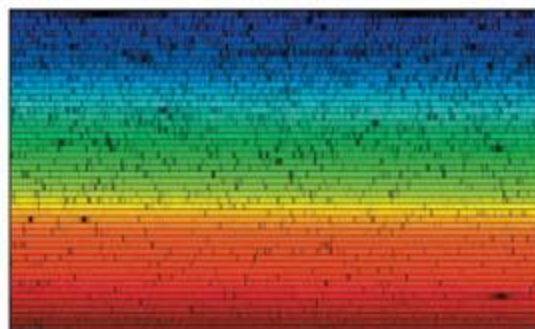


## METODICKÝ A VZDĚLÁVACÍ MATERIÁL

Hvězdárna Valašské Meziříčí 11. – 13. listopadu 2011

# ZÁKLADY SPEKTROSKOPIE

Libor Lenža, Jiří Srba

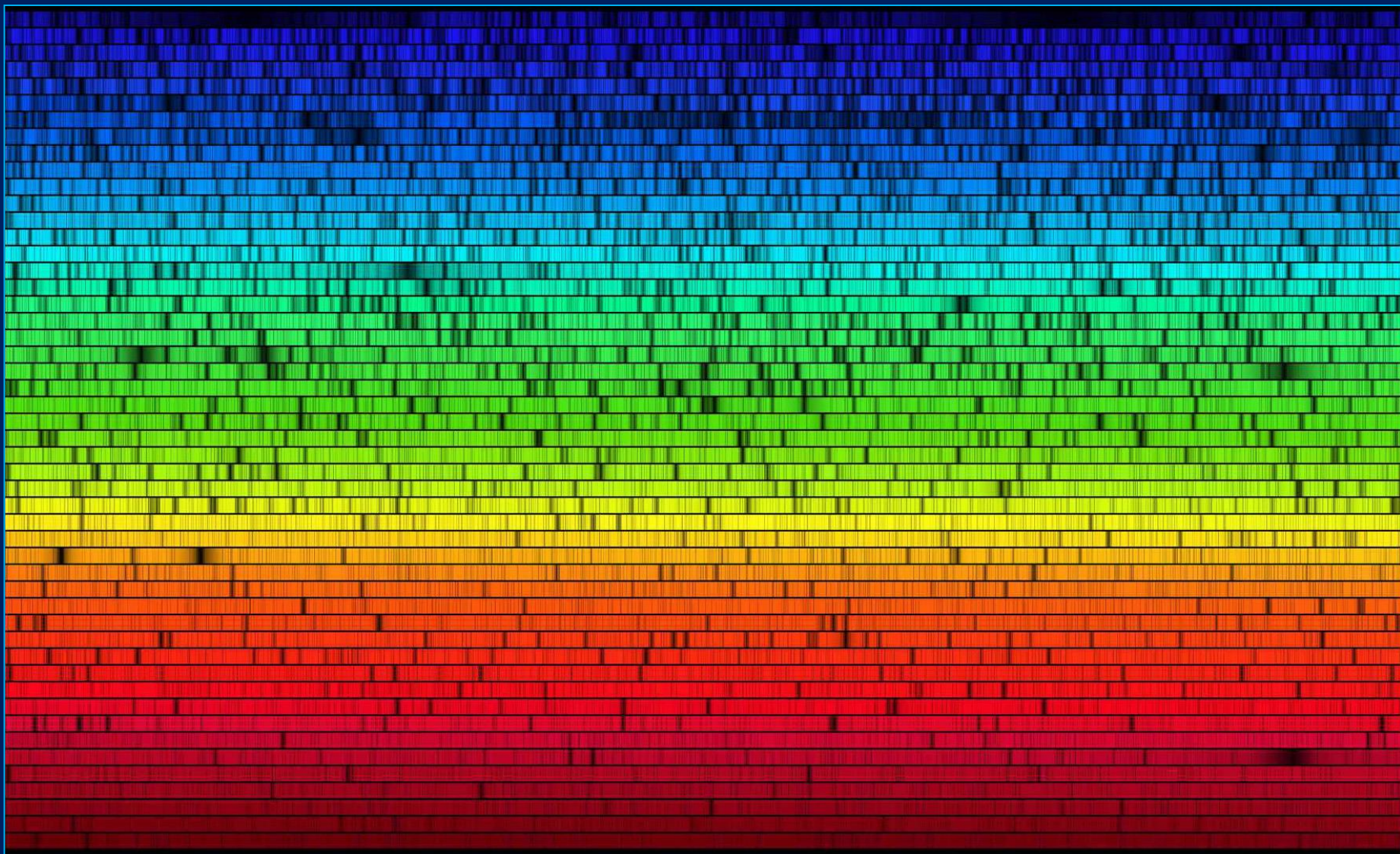


Tento mikroprojekt je spolufinancován Evropskou unií, z prostředků Fondu mikroprojektů spravovaného Regionem Bílé Karpaty



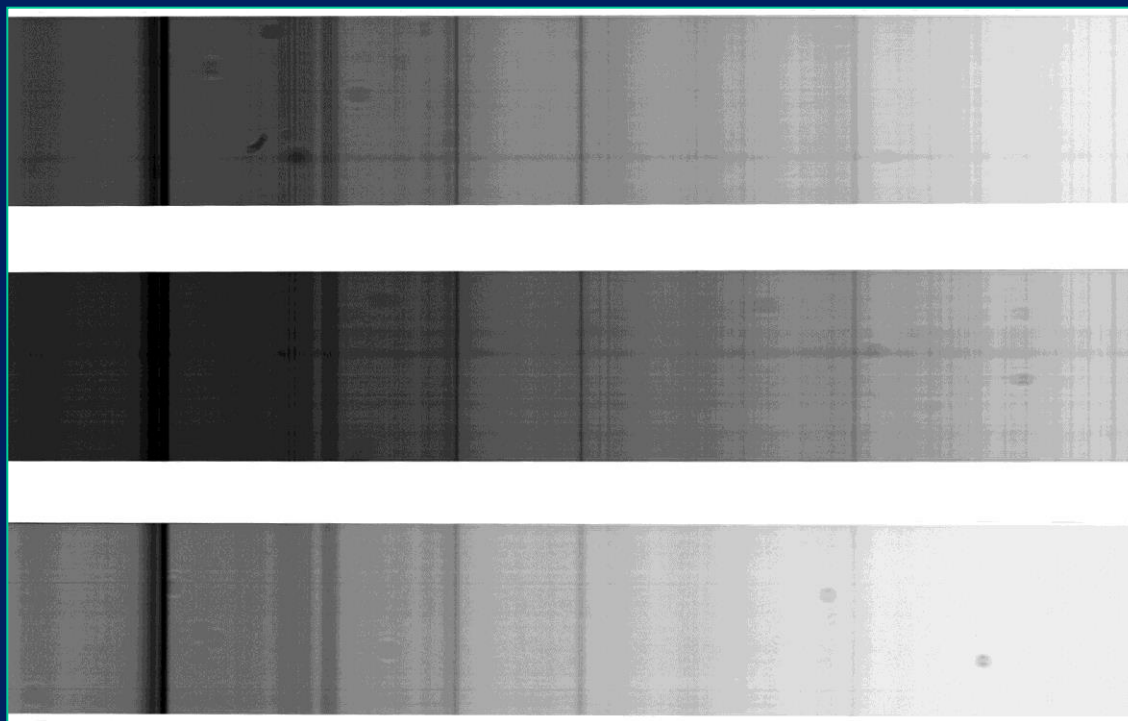
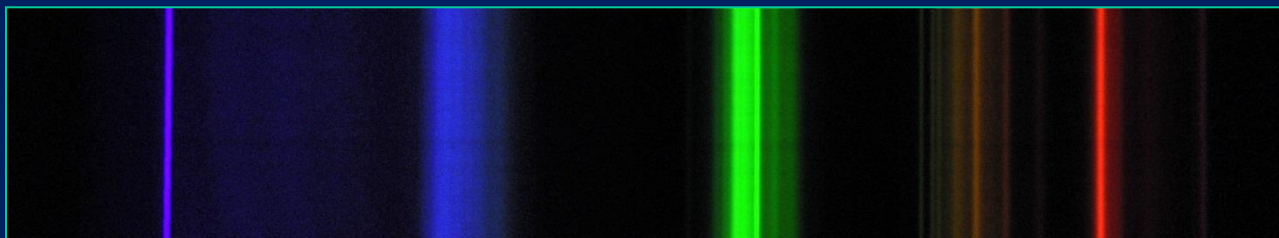


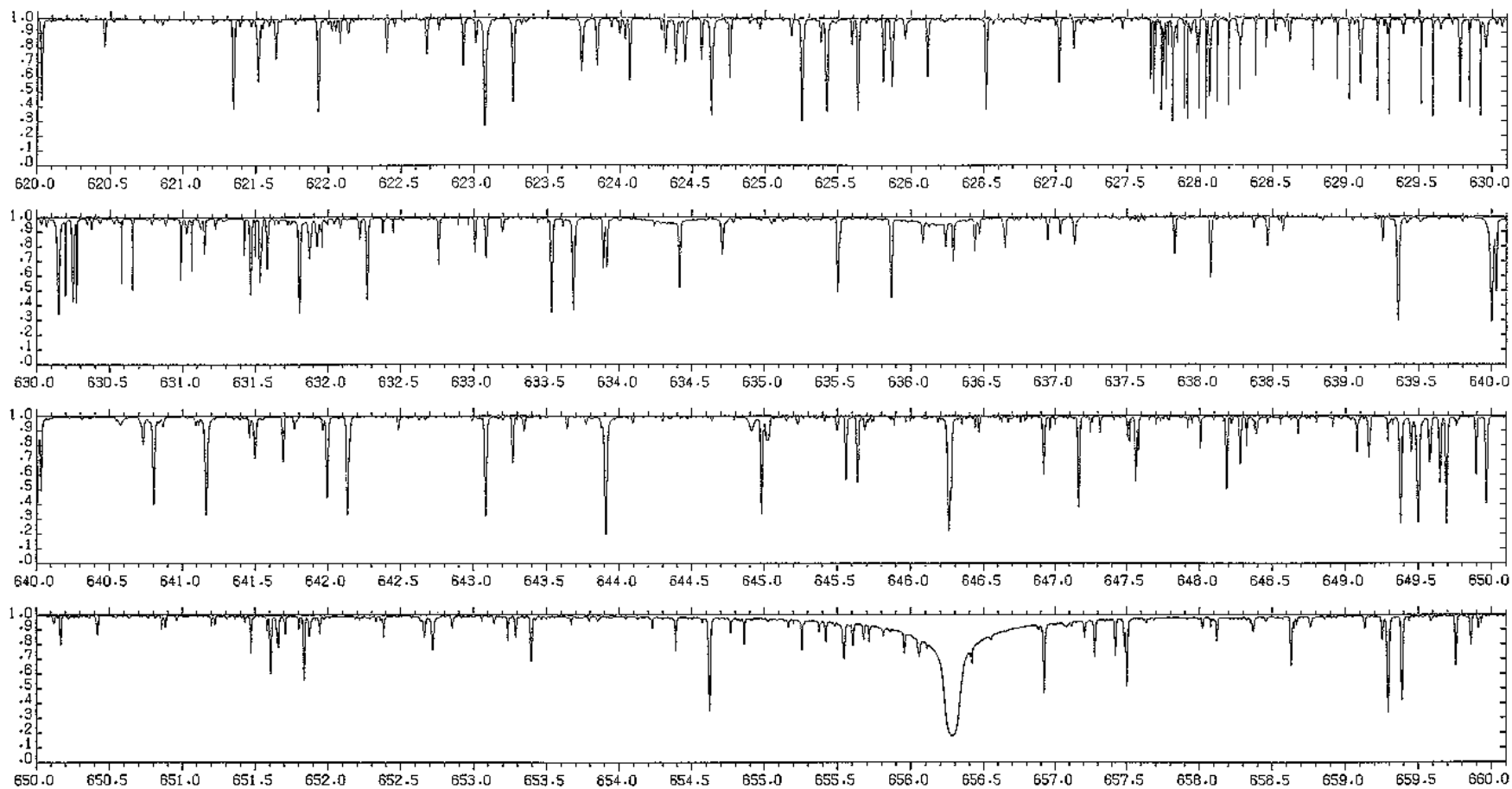
# Světlo x záření



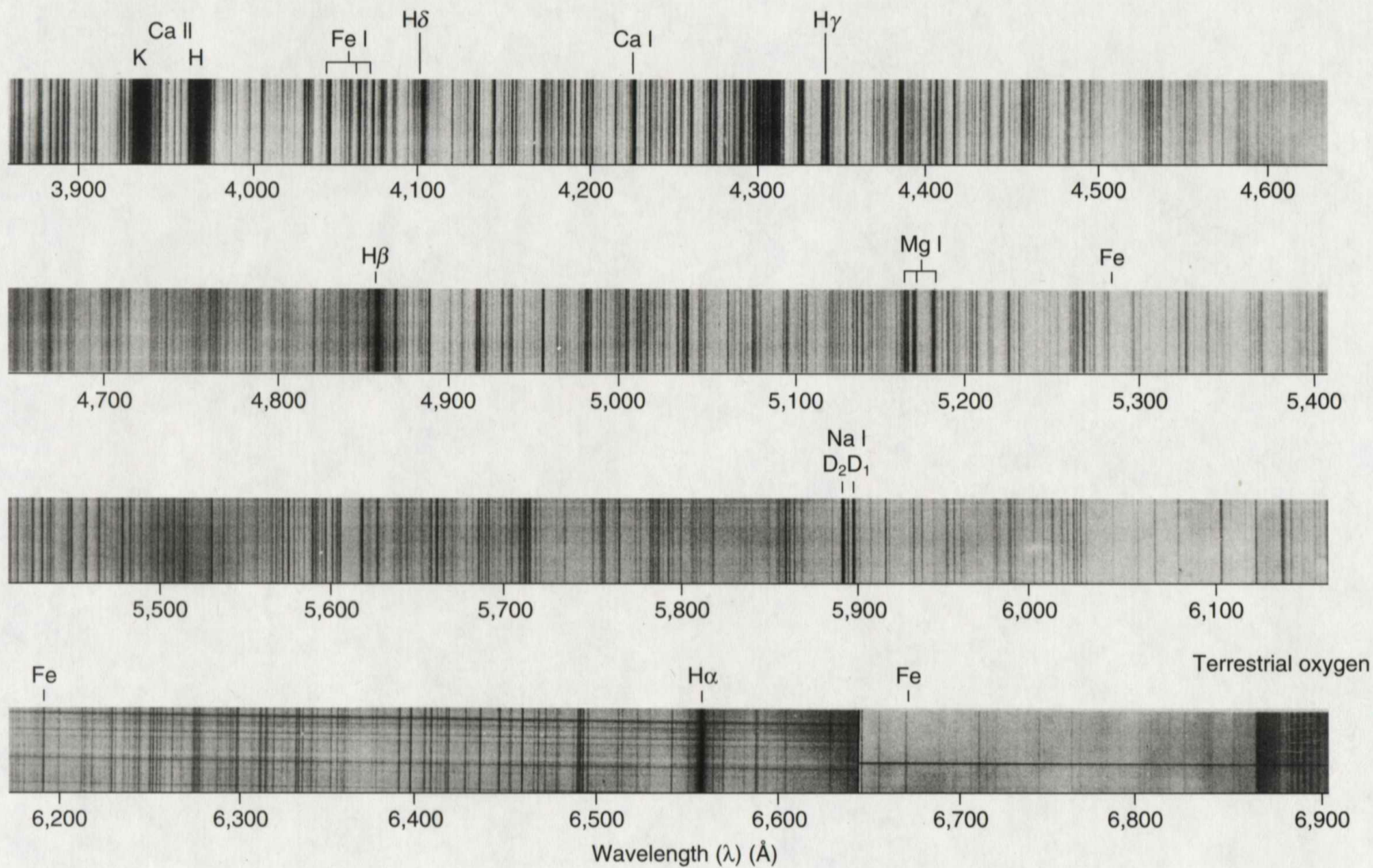
# Jak vypadá spektrum?

Různě, ale vlastně vždy stejně





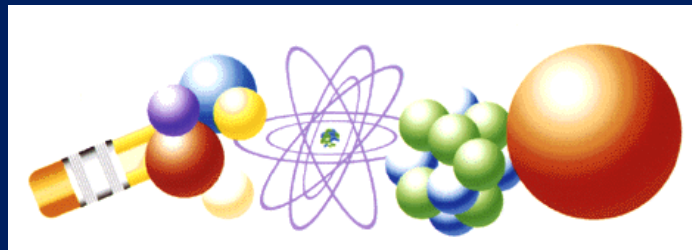




# Jak vzniká „světlo“ (záření)?

Existují dva základní mechanismy vzniku elektromagnetického záření

## TEPELNÉ - NETEPELNÉ



# Jak vzniká záření

Změnou hybnosti nabitých částic!

Čím je částice lehčí, tím lépe mění svou hybnost. Proto se bavíme většinou jen o záření elektronů.

- Záření:
- volných elektronů;
  - vázaných v atomu;
  - při anihilaci;
  - při některých jaderných reakcích.



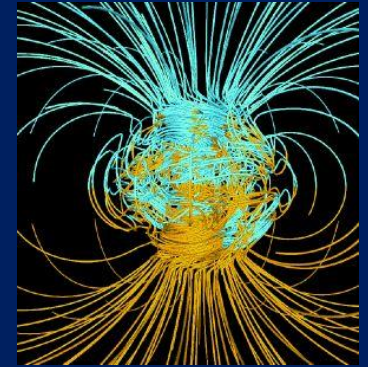
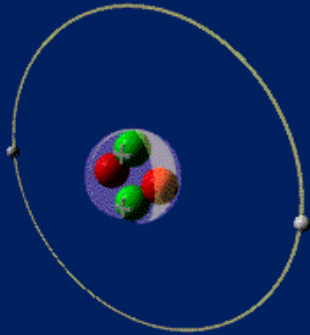
# Tepelné záření

Elektromagnetické záření vzniká přeměnou energie tepelného pohybu částic na energii záření.



Tepelné záření vyzařuje každé těleso s teplotou nad 0 K (-273 °C).

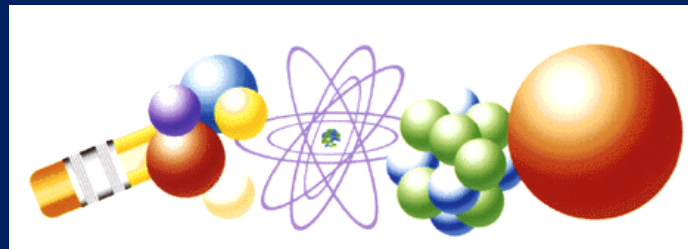
# Netepečné záření



Brzdné záření

Magnetické brzdné záření

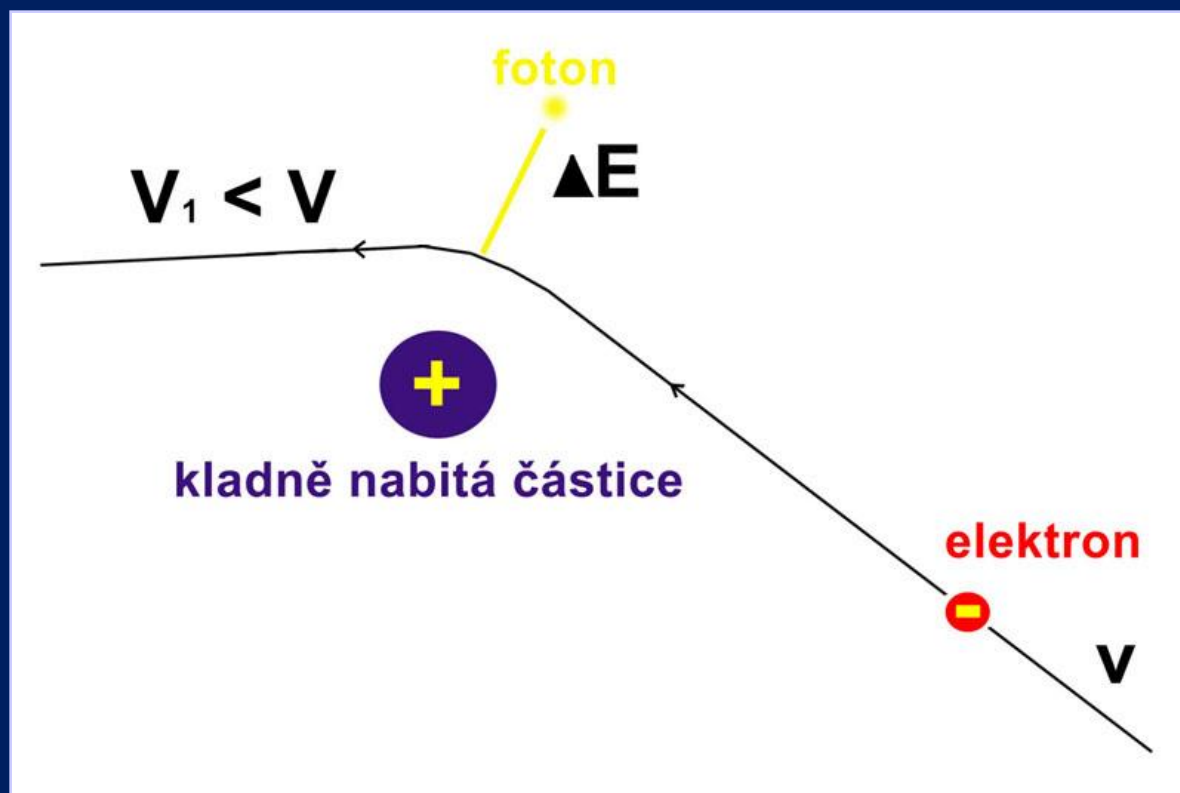
Comptonovy jevy



# Brzdné záření

Změna hybnosti částic je vyrovnána vyzářením fotonového kvanta (fotonu).

Nabitá částice jejíž hybnost se mění.



# Magnetické brzdné záření

Působením Lorentzovy síly se dráha elektronu v magnetickém poli zakřivuje, elektron mění hybnost – musí vyzařovat.

Záření je polarizované.

Cyklotronové  $v \ll c$

Synchrotronové  $v \leq c$

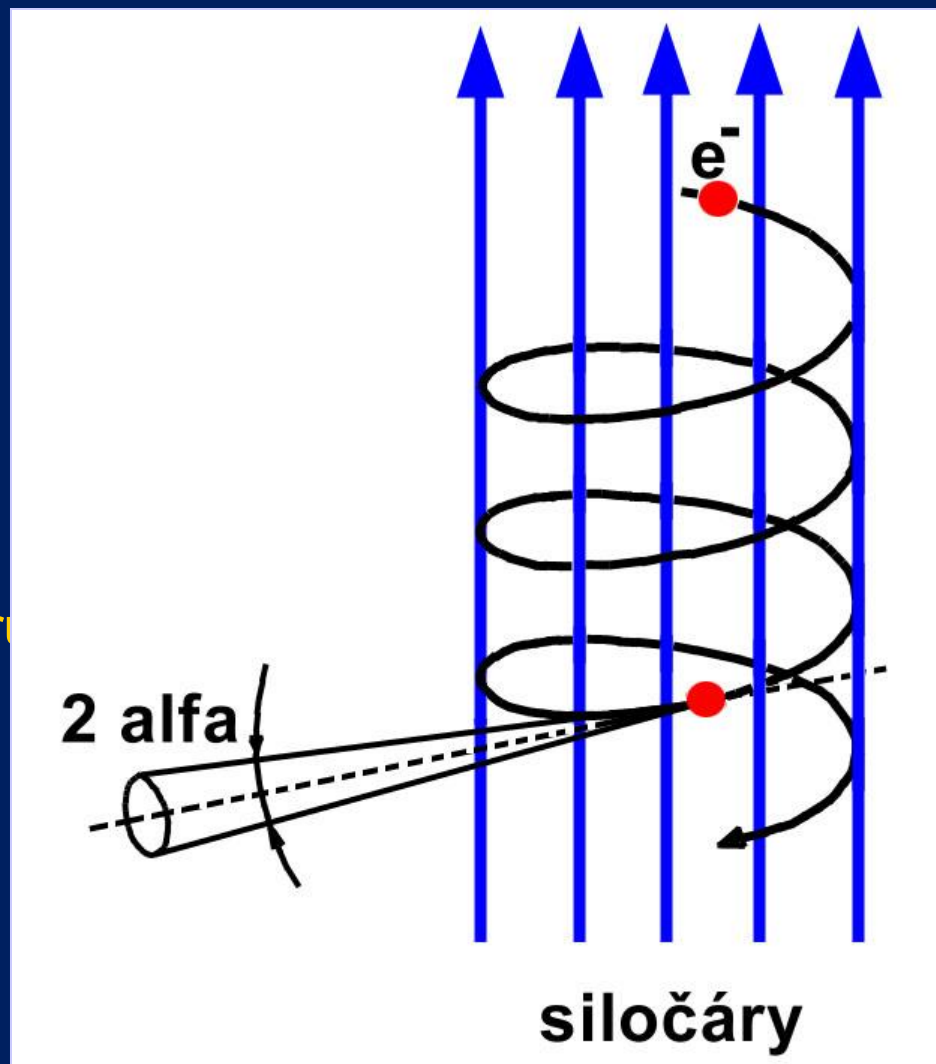


# Magnetické brzdné záření

## Synchrotronové

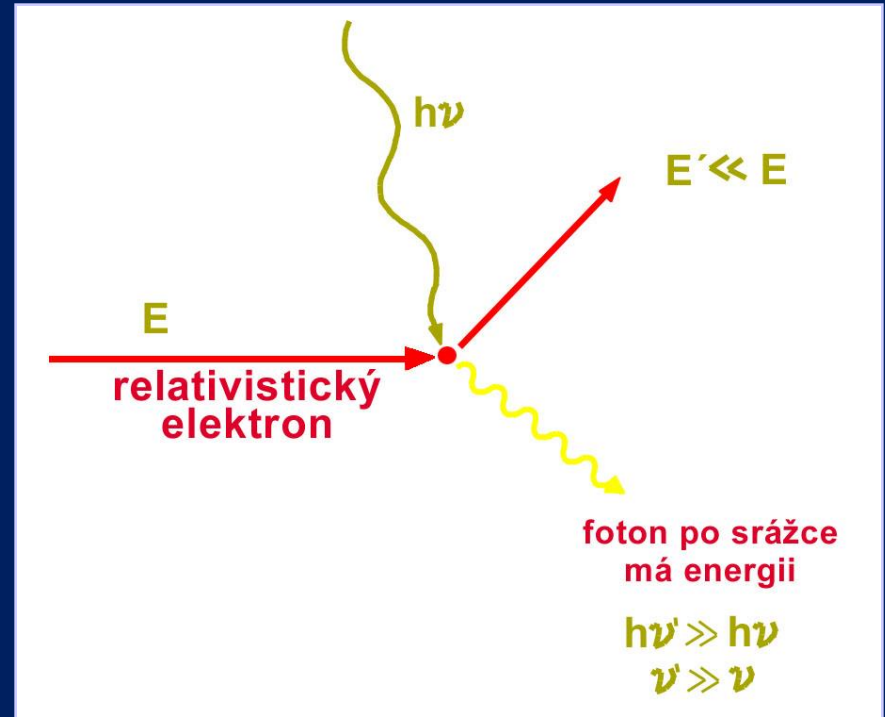
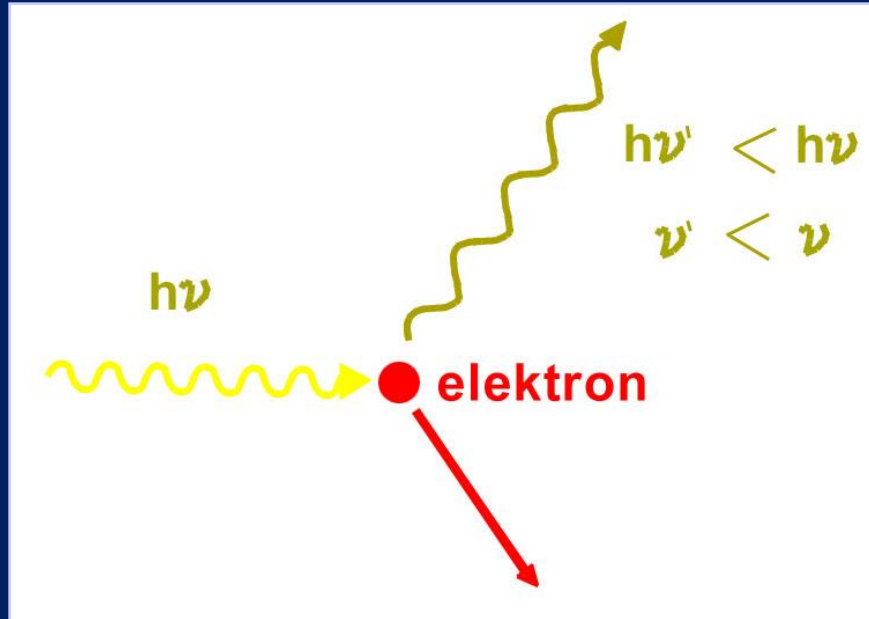
$$v < c$$

- $E_k$  elektronu  $> E_0$
- Elektron září úzce směrově (ve směru pohybu).
- Vrcholový úhel kuželu je tím menší čím větší je energie elektronu.
- Vliv relativistických efektů.
- Základní frekvence, násobky frekvence, spojité spektrum (s růstem energie).



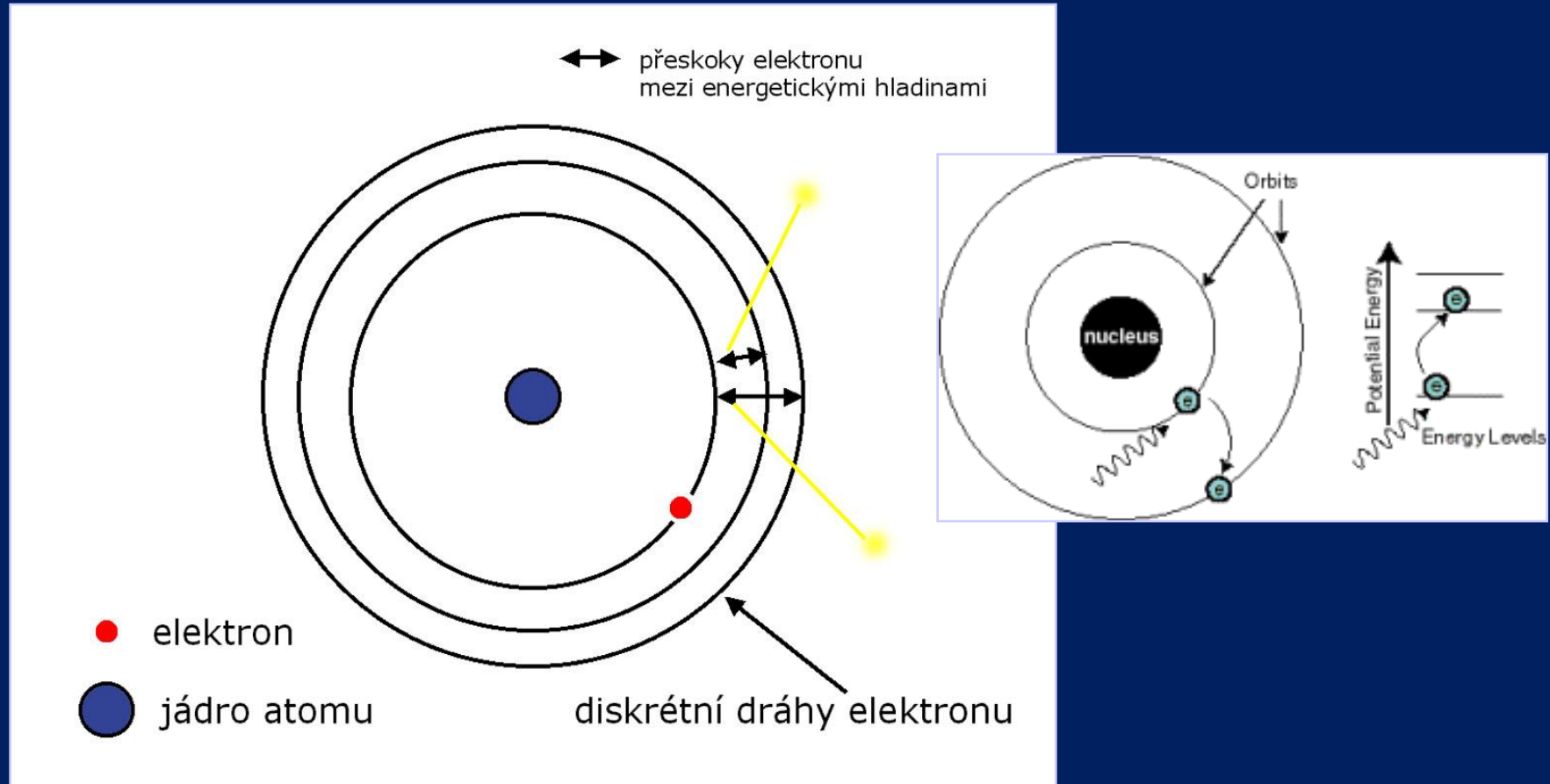
# Comptonovy jevy

## Comptonův jev versus inverzní Comptonův jev



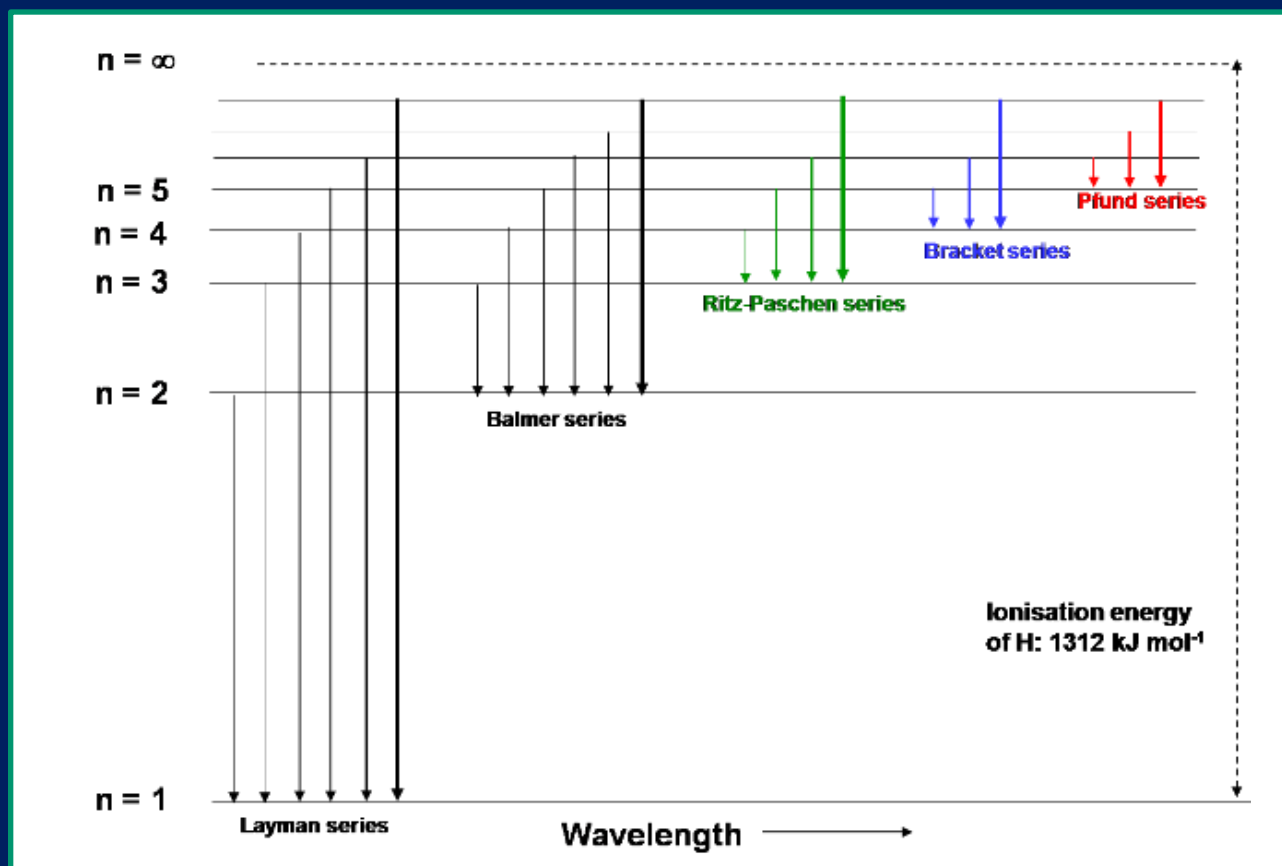
# Atomy a záření, spektra atomů

Elektrony září při přeskoku mezi jednotlivými energetickými hladinami (drahami). Impulsy pro přechod do vyšších energetických hladin – různé.



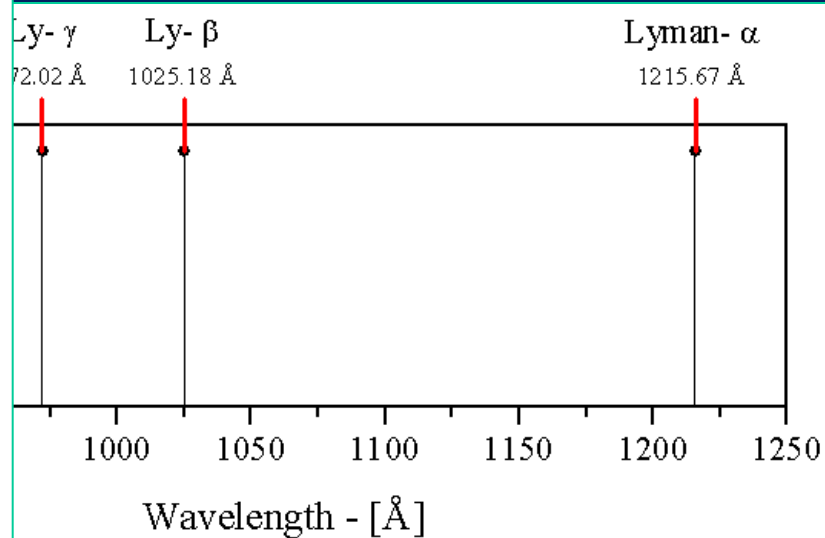
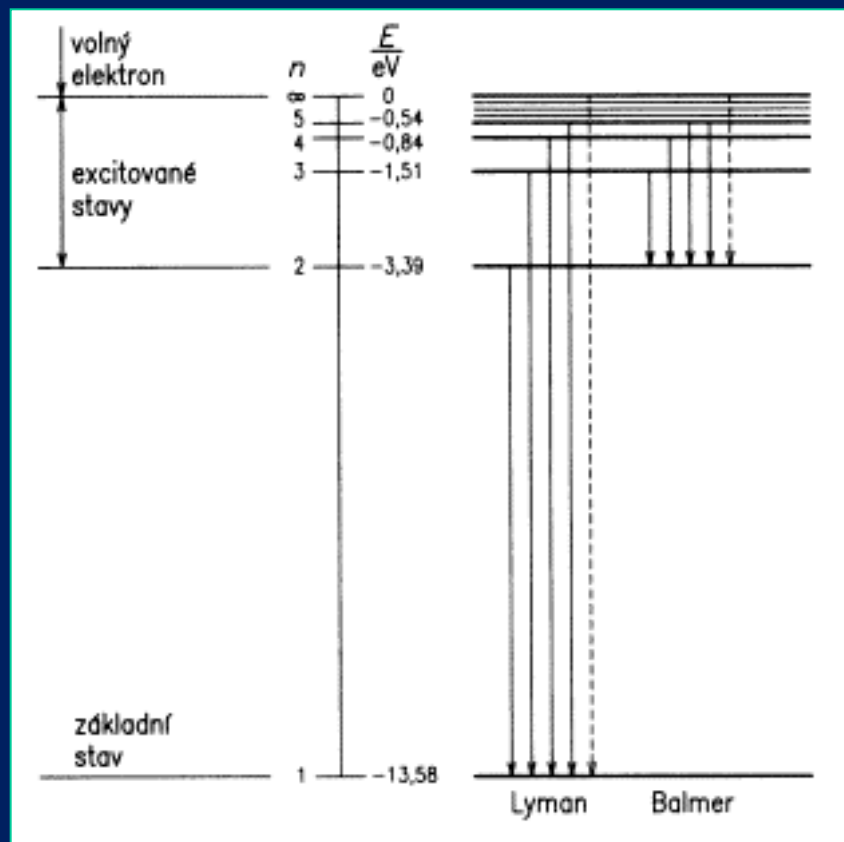
# Záření atomů

Přeskoky elektronů mezi energetickými hladinami („drahami“).



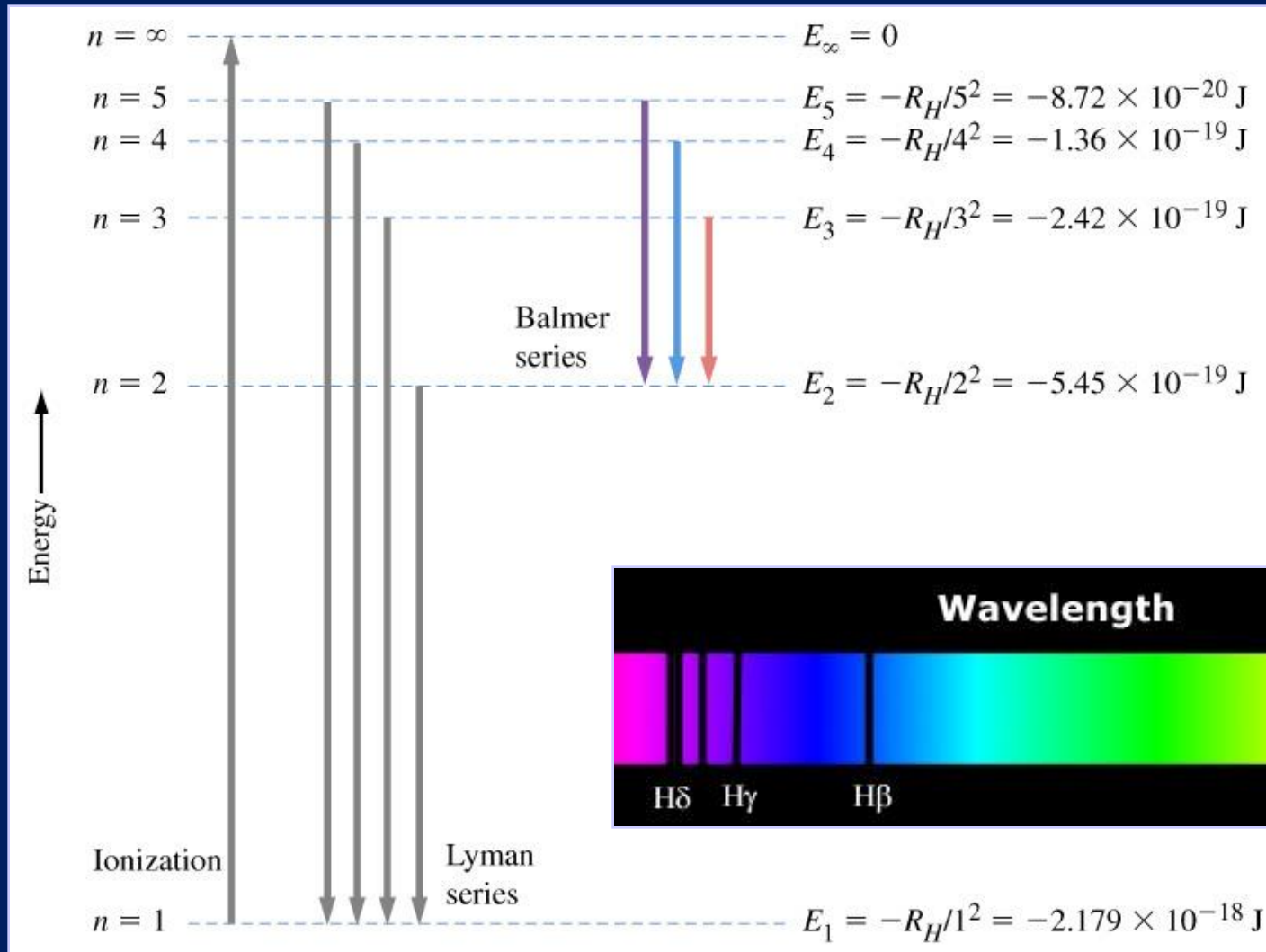
# Záření atomů

Přeskoky elektronů mezi energetickými hladinami („drahami“).

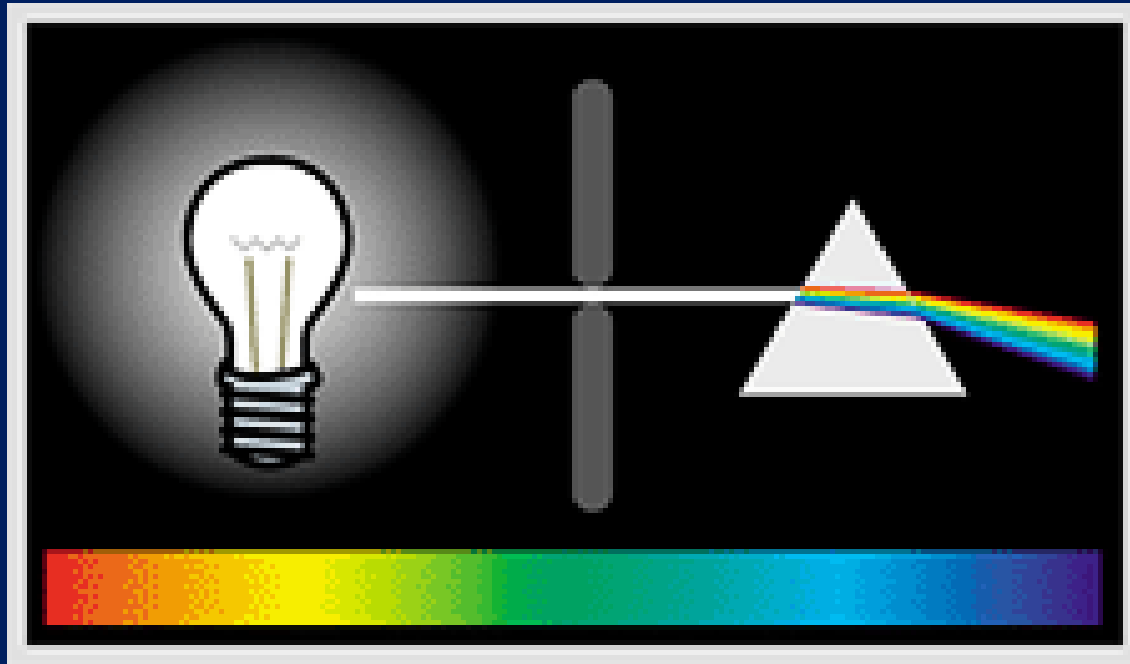




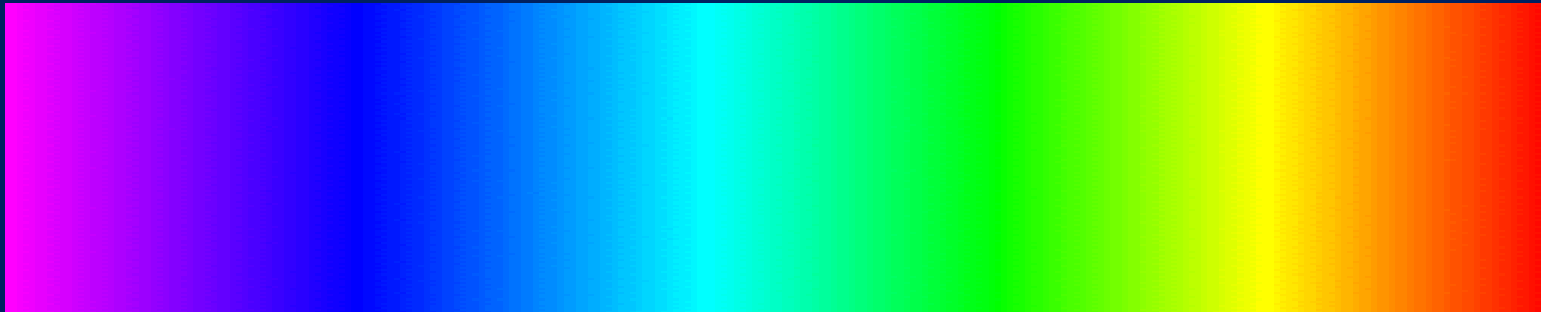
# Série spektrálních čar prvků



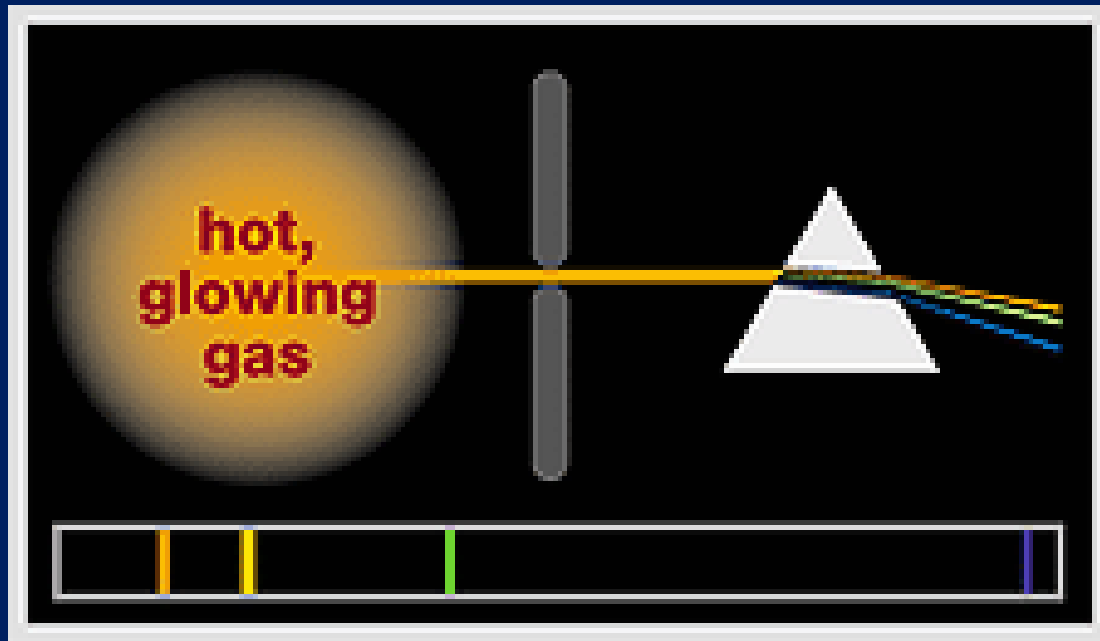
# Spojité spektrum



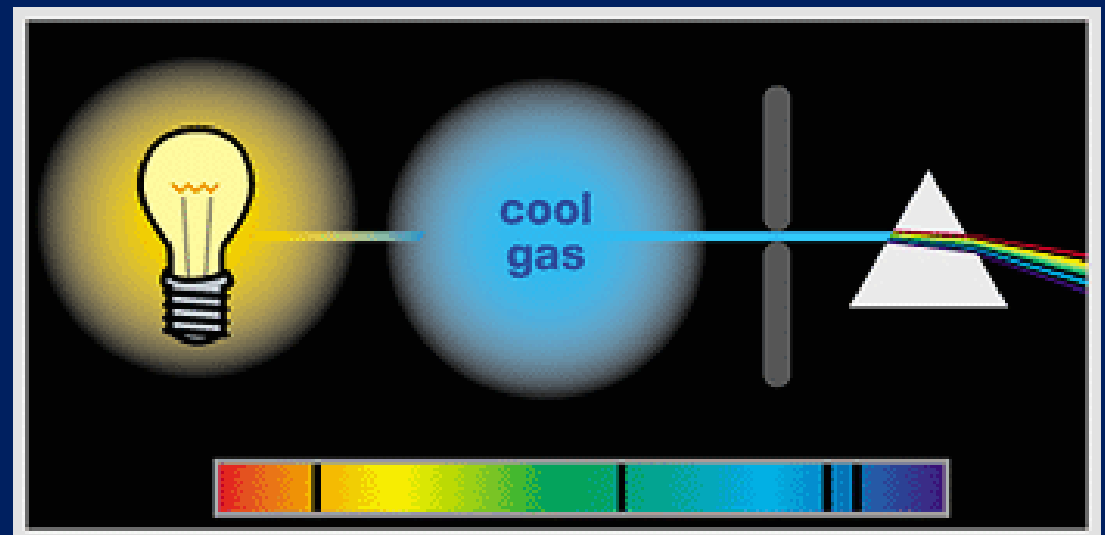
Uplatňuje se zde Planckův vyzařovací zákon, který vyjadřuje závislost intenzity záření  $I$  absolutně černého tělesa na frekvenci  $\omega$ .



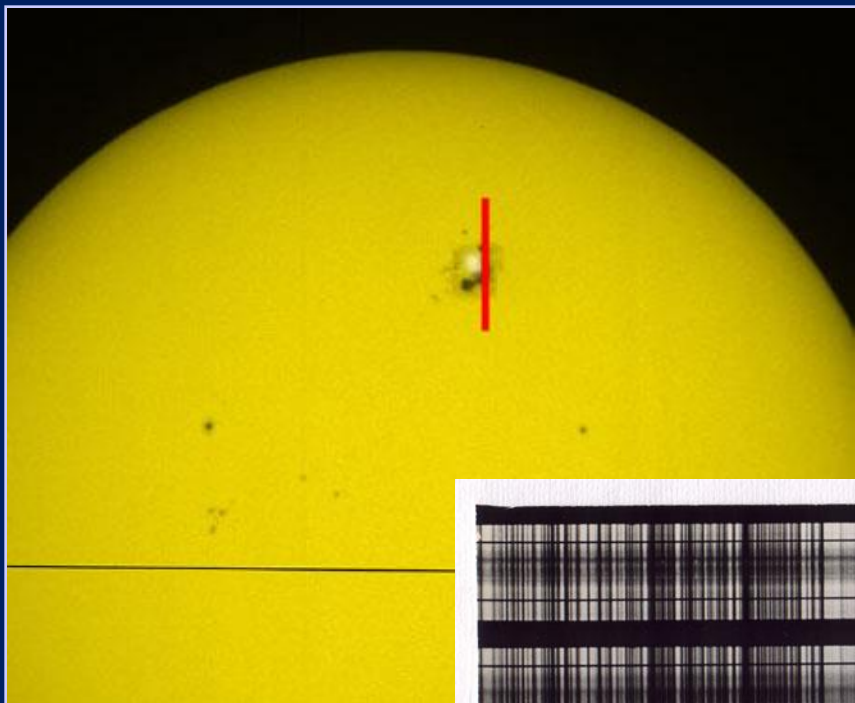
# Emisní...



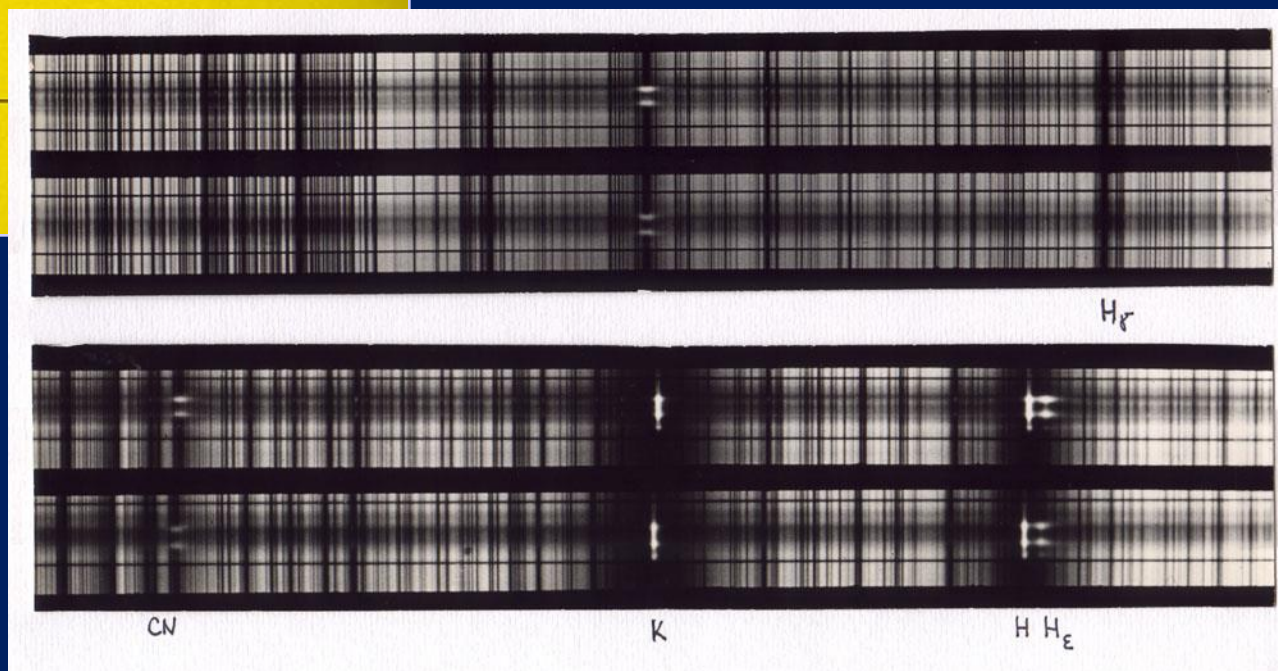
# ...a absorpční spektrum



# Sluneční spektrum



Pozorování  
nejrůznějších jevů  
ve sluneční  
atmosféře.



# Opakování – zdroje záření

Tepelné

Netepelné

- brzdné záření
- magnetické brzdné záření
  - \* cyklotronové (nerel.)
  - \* synchrotronové (rel.)
- Comptonovy jevy
  - \* normální
  - \* inverzní

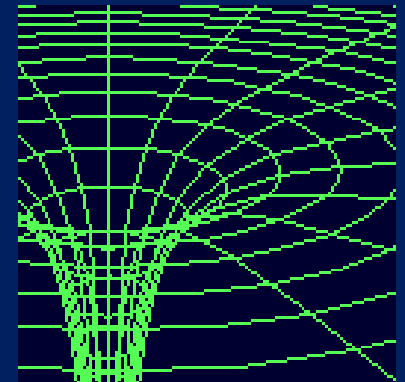
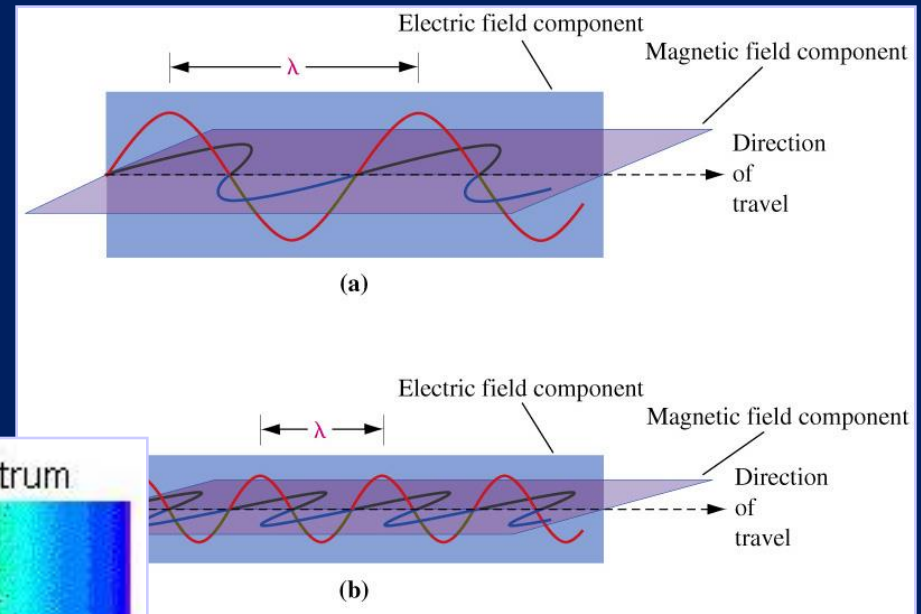
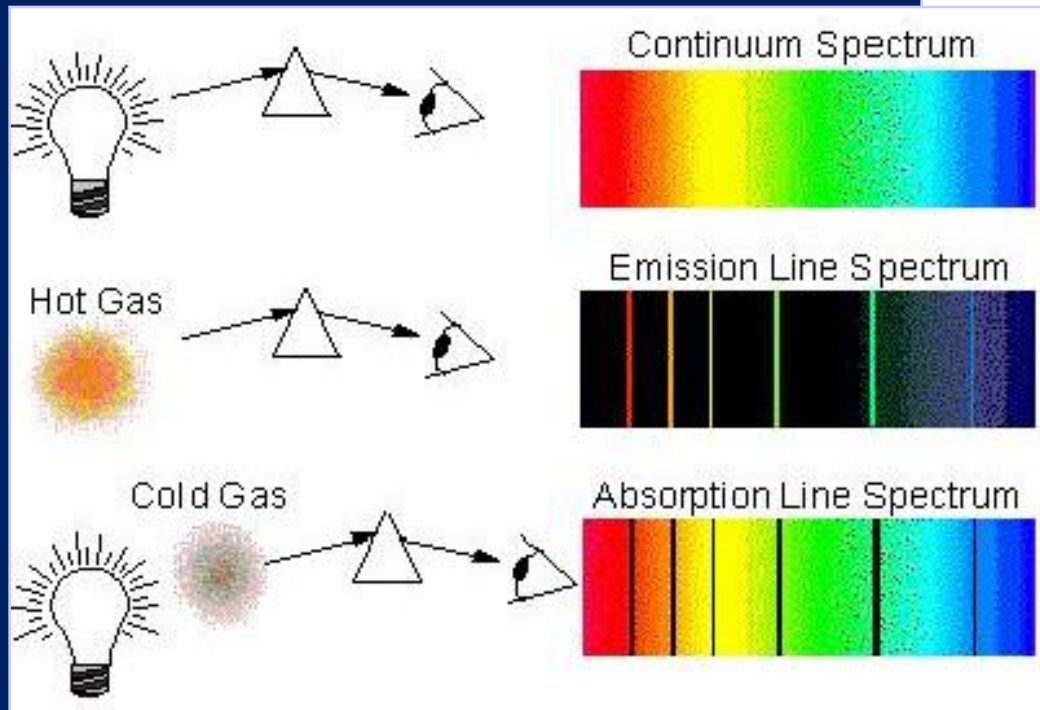
Specifika záření atomů!!



# Stopy prvků a podmíněk

Spektrální čáry – intenzita kontinua

Polarizace, energie, gravitační pole apod.

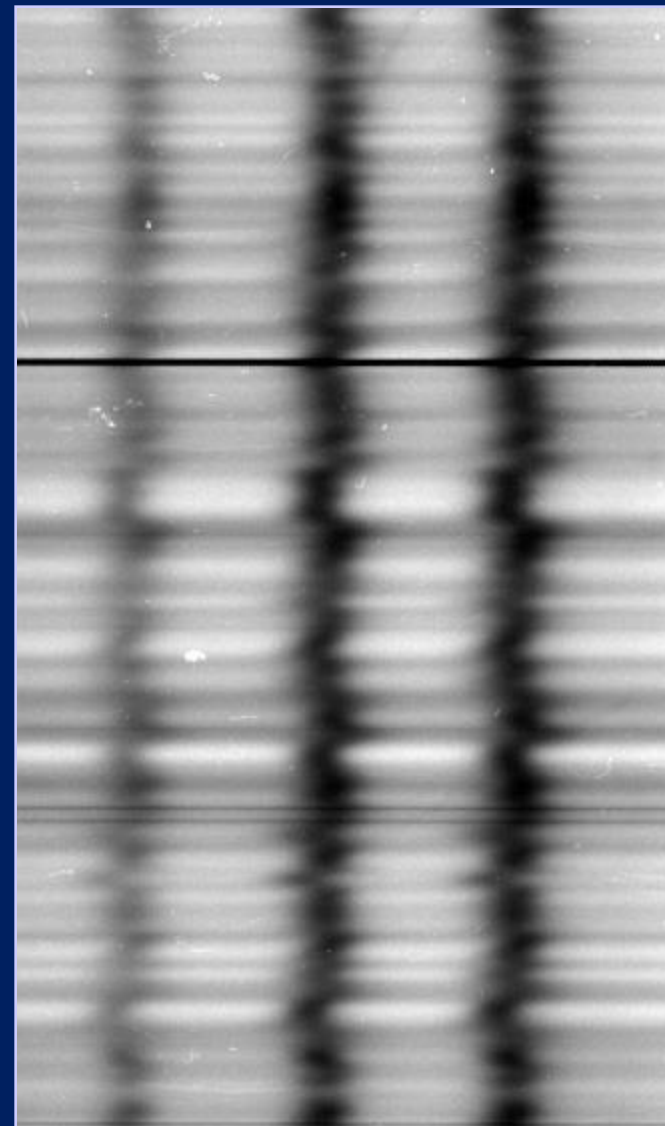
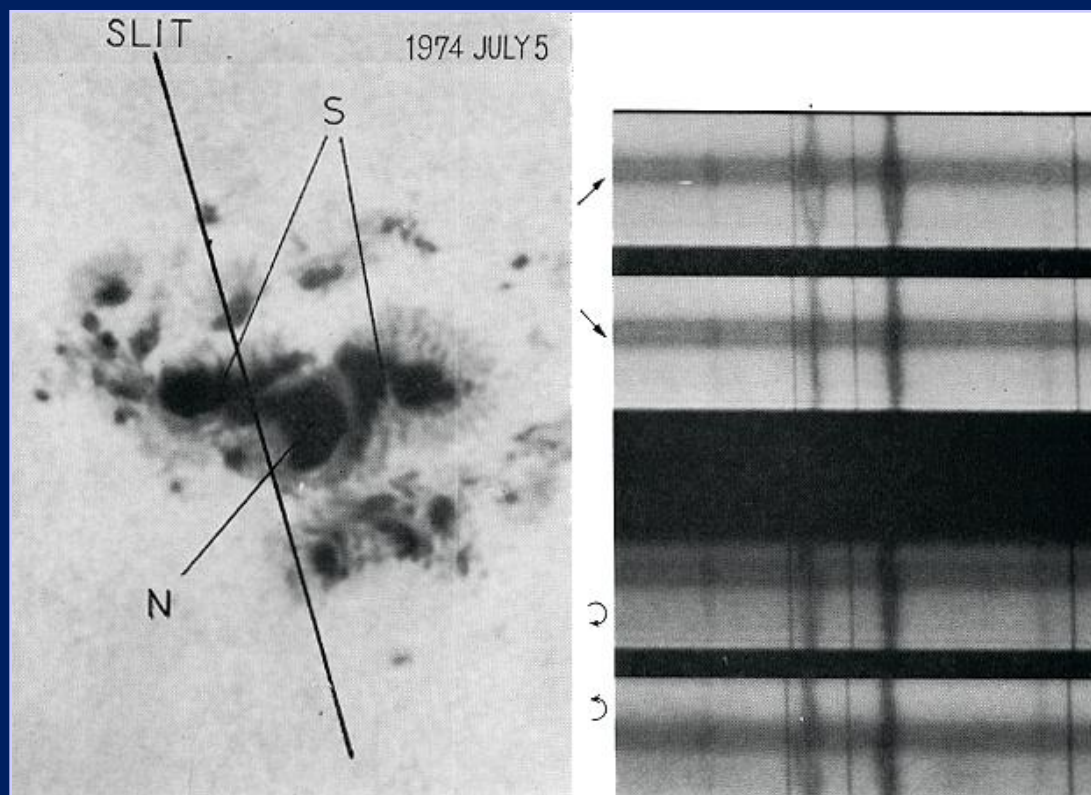




# Stopy prvků a podmínek

Radiální rychlosti

Přítomnost magnetických polí

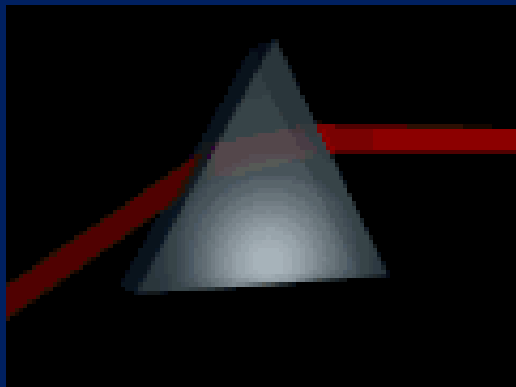


# Světlo – zdroj našeho poznání

Lom a ohyb světla – spektroskopie.

Možnost chemické a fyzikální analýzy zářících těles na dálku (analýza záření).

Potřebná teorie.

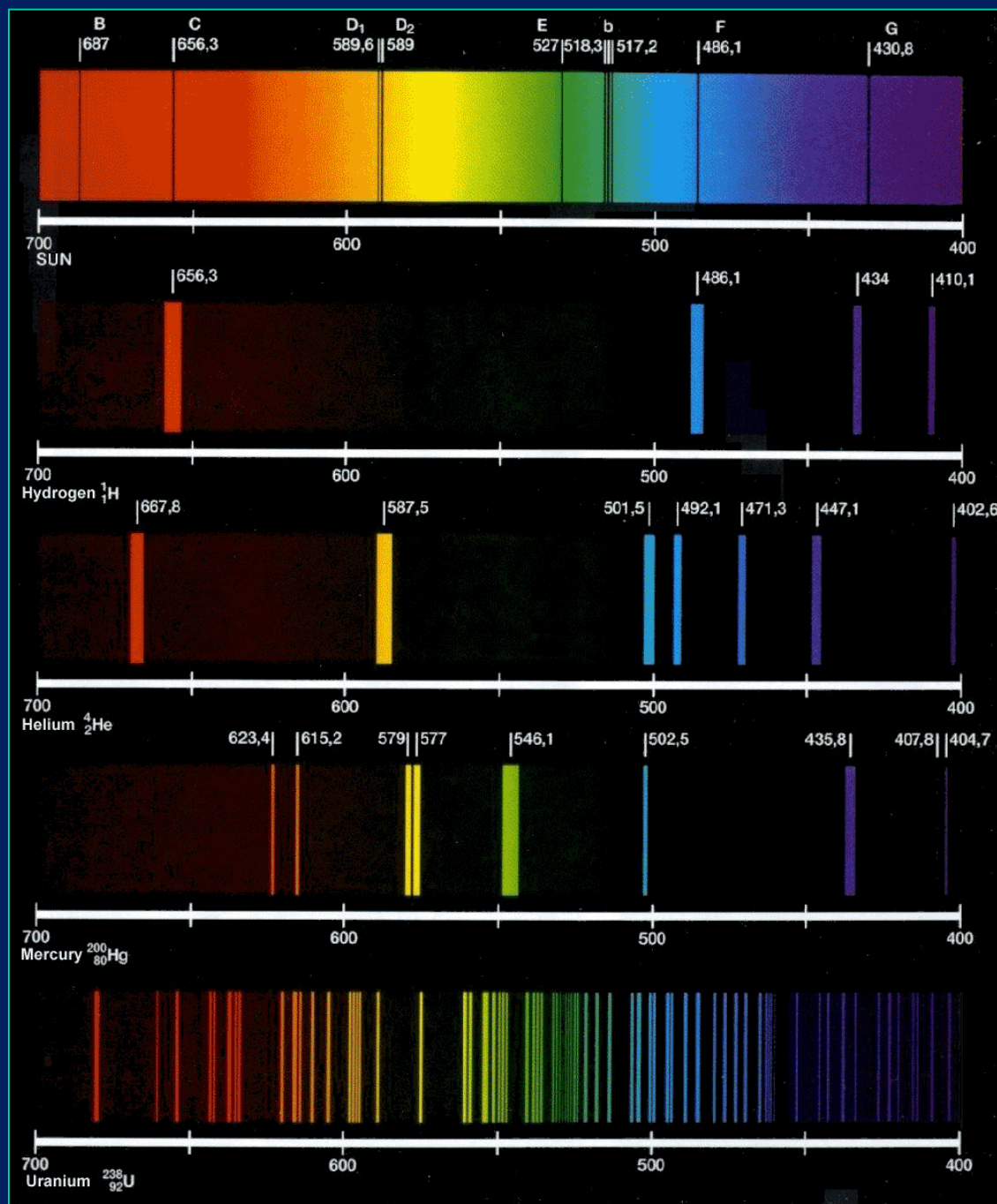


# Periodic Table of Elements

|    |    |    |    |      |     |     |     |     |       |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| IA |    |    |    |      |     |     |     |     |       |     |    |     |    |     |    | 0   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1  | H  |    |    |      |     |     |     |     |       |     |    |     |    |     |    | 2   | He |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3  | Li | 4  | Be |      |     |     |     |     |       |     |    |     |    |     |    | 5   | B  | 6   | C  | 7  | N  | 8  | O  | 9  | F  | 10 | Ne |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 11 | Na | 12 | Mg | IIIB | IVB | VB  | VIB | VII | VIIIB | IB  | IB | 31  | Al | 14  | Si | 15  | P  | 16  | S  | 17 | Cl | 18 | Ar |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 19 | K  | 20 | Ca | 21   | Sc  | 22  | Ti  | 23  | Y     | 24  | Cr | 25  | Mn | 26  | Fe | 27  | Co | 28  | Ni | 29 | Cu | 30 | Zn | 31 | Ga | 32 | Ge | 33 | As | 34 | Se | 35 | Br | 36 | Kr |
| 37 | Rb | 38 | Sr | 39   | Y   | 40  | Zr  | 41  | Nb    | 42  | Mo | 43  | Tc | 44  | Ru | 45  | Rh | 46  | Pd | 47 | Ag | 48 | Cd | 49 | In | 50 | Sn | 51 | Sb | 52 | Te | 53 | I  | 54 | Xe |
| 55 | Cs | 56 | Ba | 57   | La* | 72  | Hf  | 73  | Ta    | 74  | W  | 75  | Re | 76  | Os | 77  | Ir | 78  | Pt | 79 | Au | 80 | Hg | 81 | Tl | 82 | Pb | 83 | Bi | 84 | Po | 85 | At | 86 | Rn |
| 87 | Fr | 88 | Ra | 89   | Ac* | 104 | Rf  | 105 | Ha    | 106 |    | 107 |    | 108 |    | 109 |    | 110 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

|                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |     |    |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| *Lanthinide Series | 58 | Ce | 59 | Pr | 60 | Nd | 61 | Pm | 62 | Sm | 63 | Eu | 64 | Gd | 65 | Tb | 66 | Dy | 67 | Ho | 68  | Er | 69  | Tm | 70  | Yb | 71  | Lu |
| *Actinide Series   | 90 | Th | 91 | Pa | 92 | U  | 93 | Np | 94 | Pu | 95 | Am | 96 | Cm | 97 | Bk | 98 | Cf | 99 | Es | 100 | Fm | 101 | Md | 102 | No | 103 | Lr |

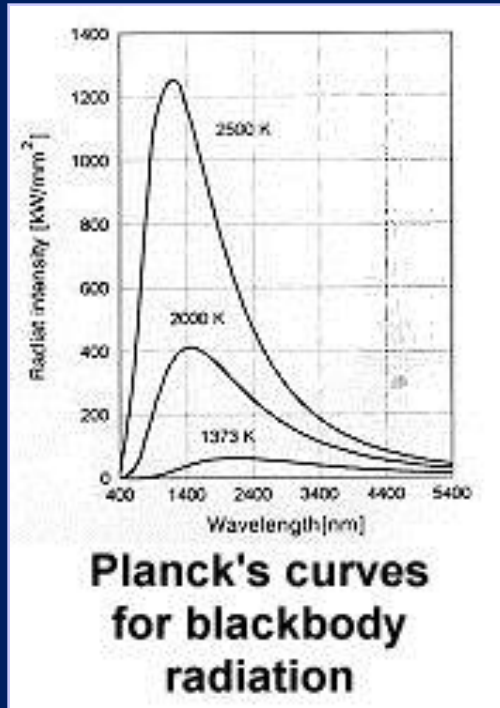
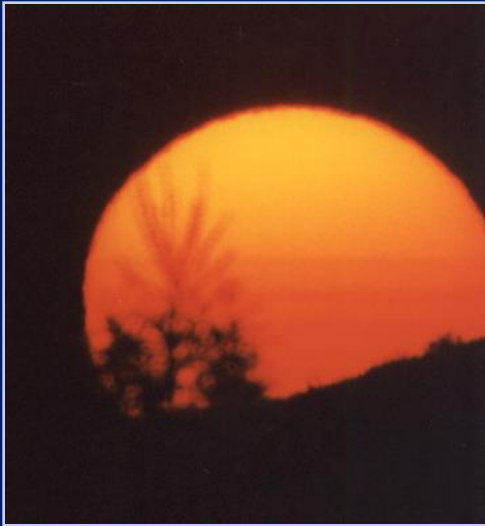


# Spektroskopie – studna poznání

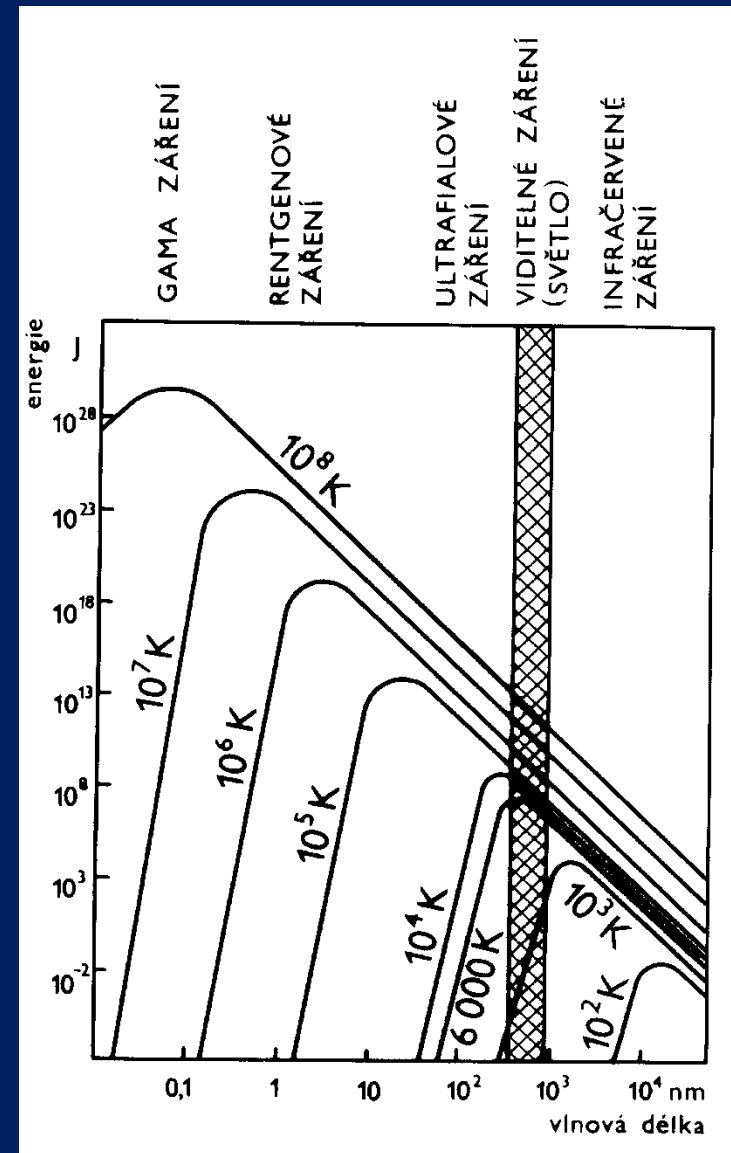




# Spektroskopie – studna poznání

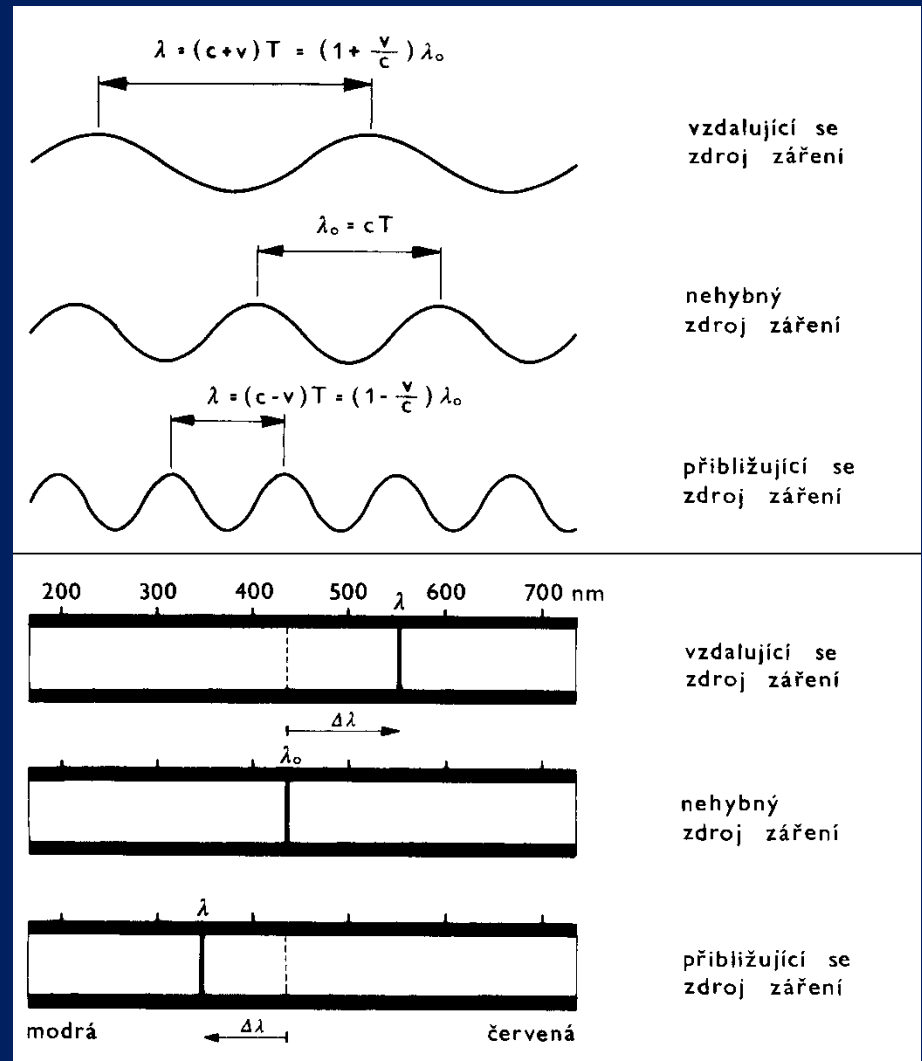


Wienův posunovací zákon je fyzikální zákon, který konstatuje, že v záření absolutně černého tělesa je maximální energie vyzařována na vlnové délce, která se s rostoucí termodynamickou teplotou snižuje (tj. čím teplejší je těleso, tím vyzařuje na kratších vlnových délkách, tj. vyšších frekvencích):



# Spektroskopie – studna poznání

Dopplerův jev  
nám odhaluje  
radiální rychlosti  
těles.



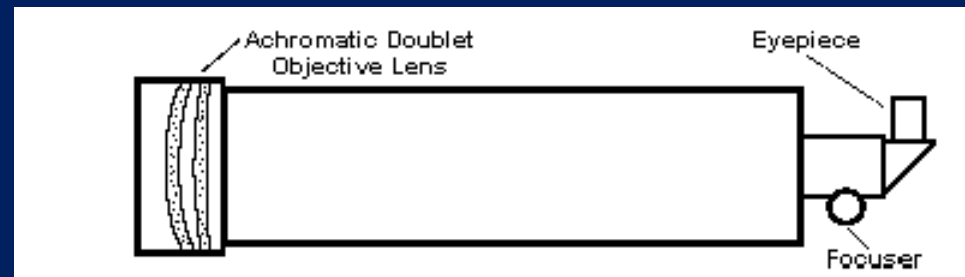
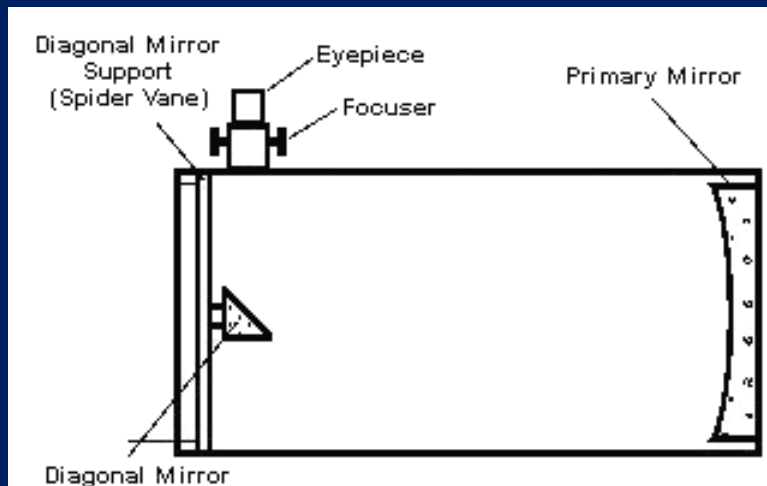
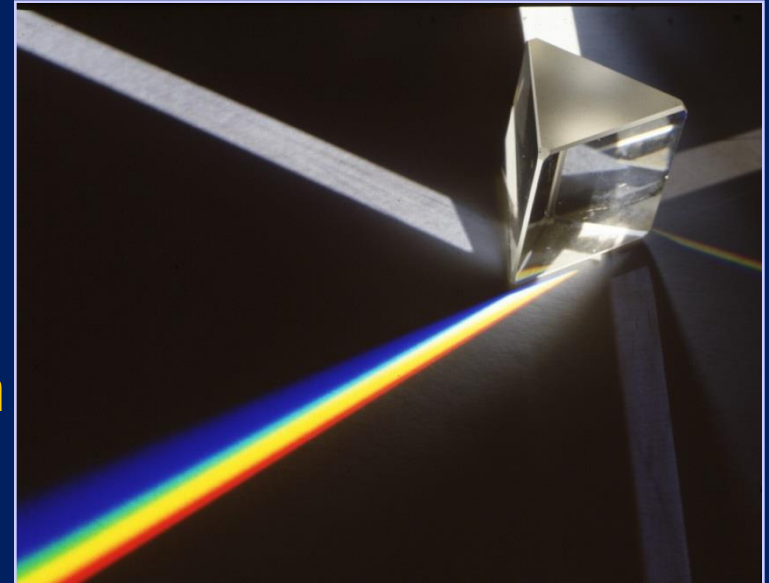


# Spektroskopie – studna poznání

## Rozbor spektra:

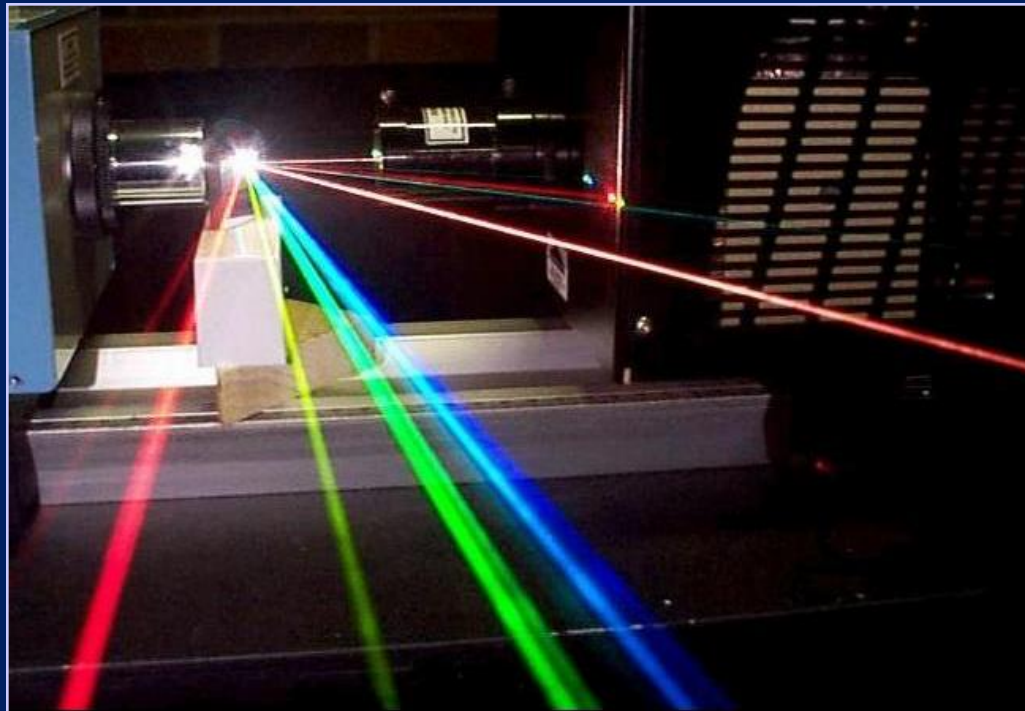
- zjištění fyzikálních a chemických podmínek

- na zářícím tělese,...
- ale i v prostředí mezi zdrojem a pozorovatelem

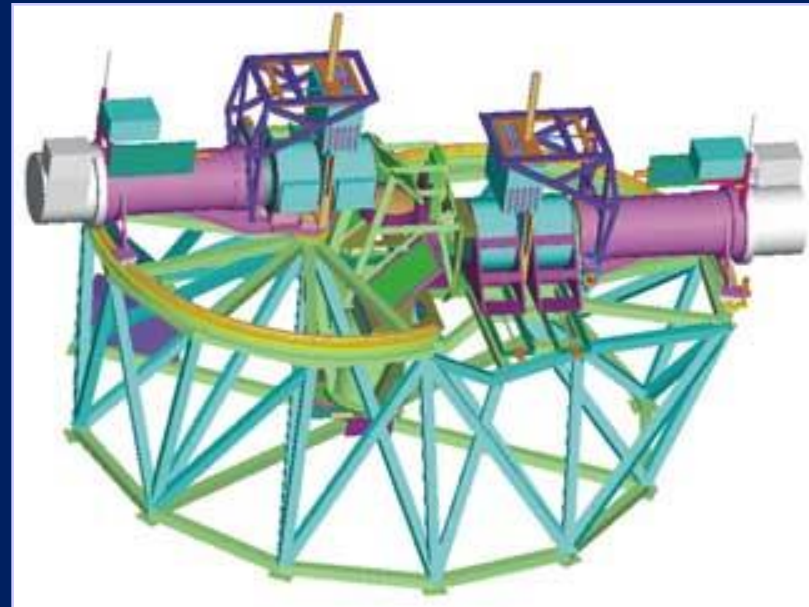


# Spektroskopy

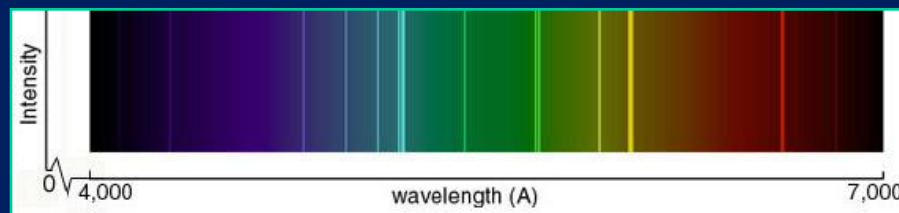
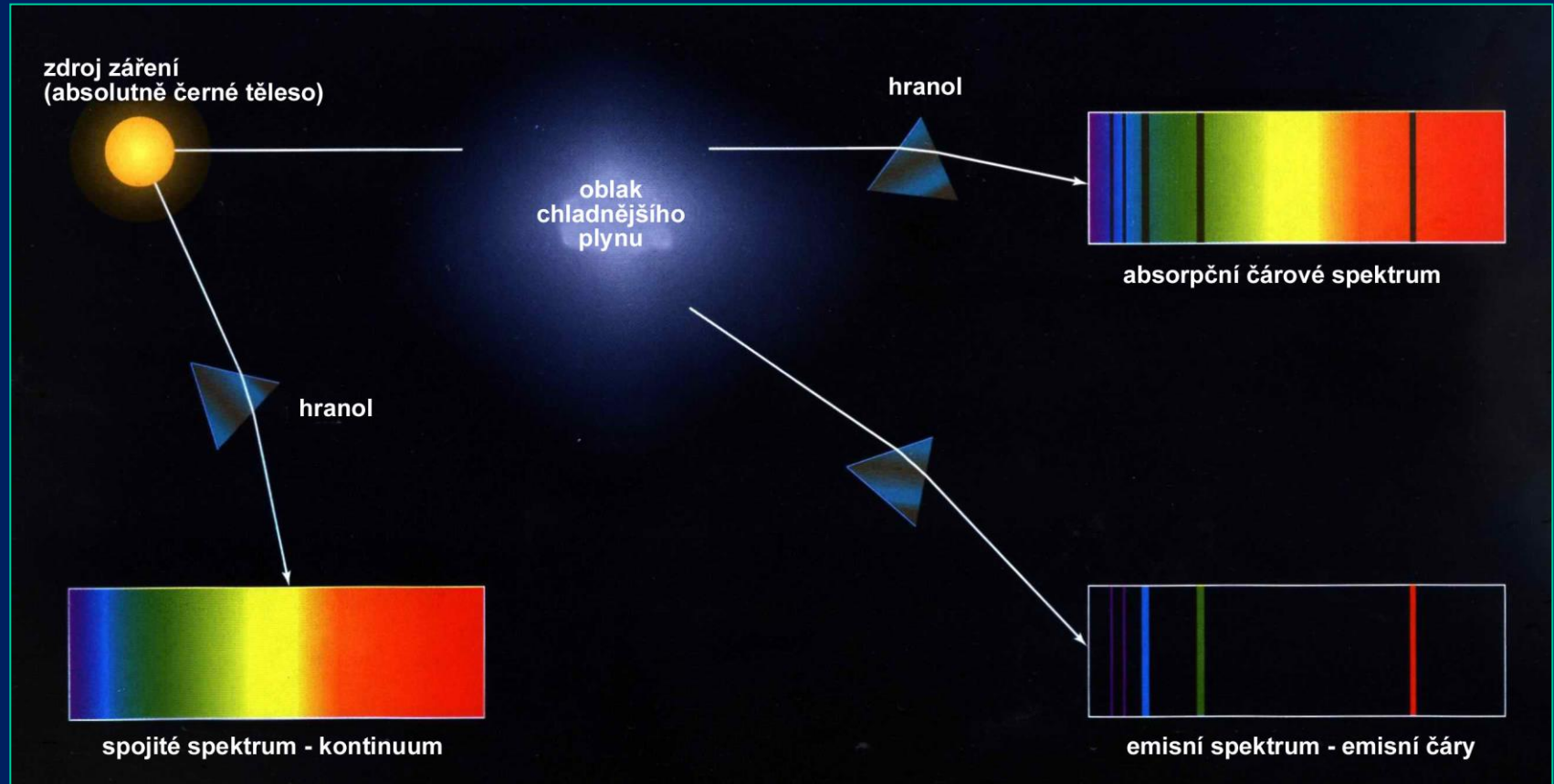
Složitá a nákladná zařízení.  
Různé velikosti a možnosti.



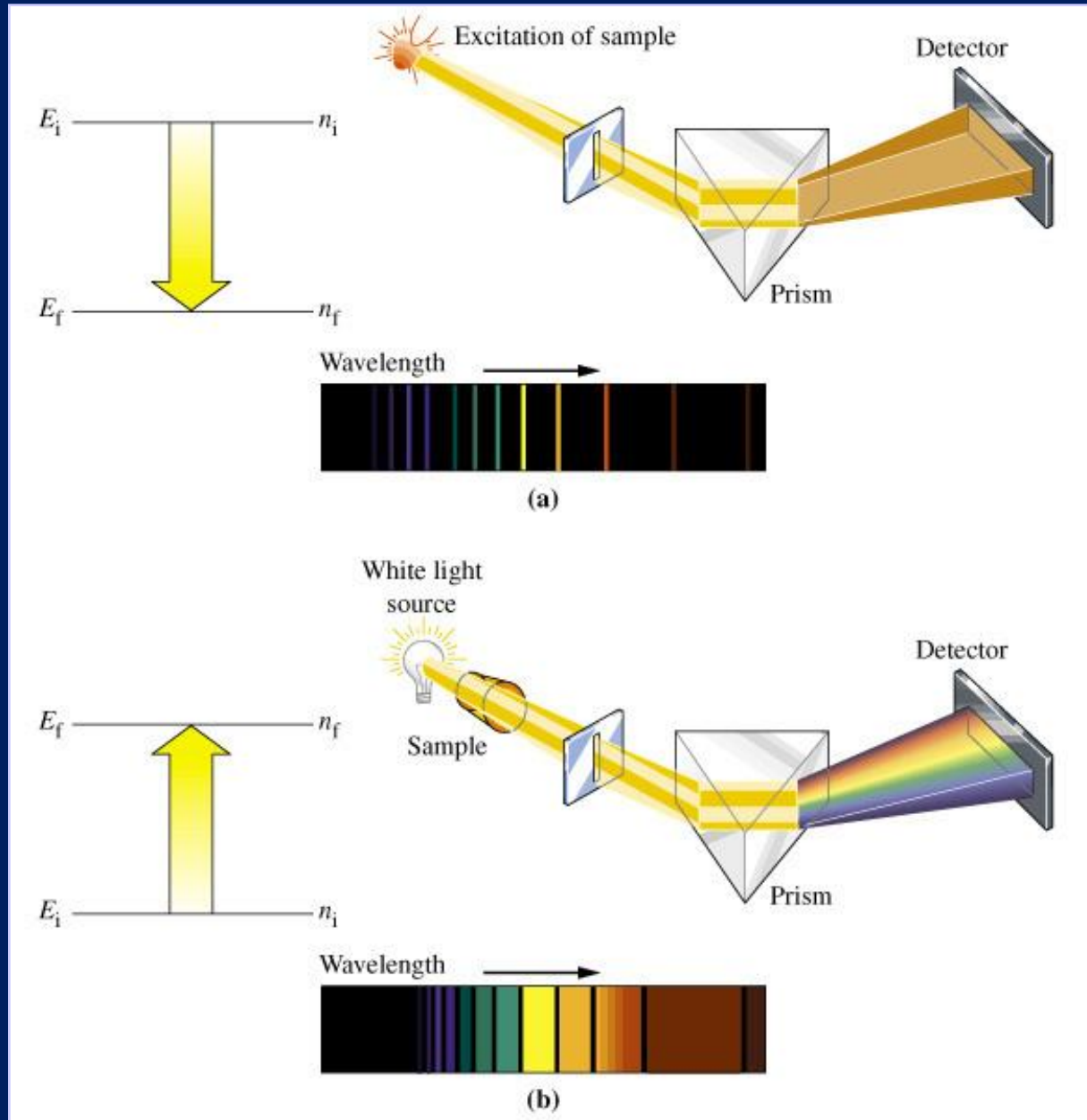
Whitelight Ar/Kr Ion Laser Spectral Lines



# Studium spektra

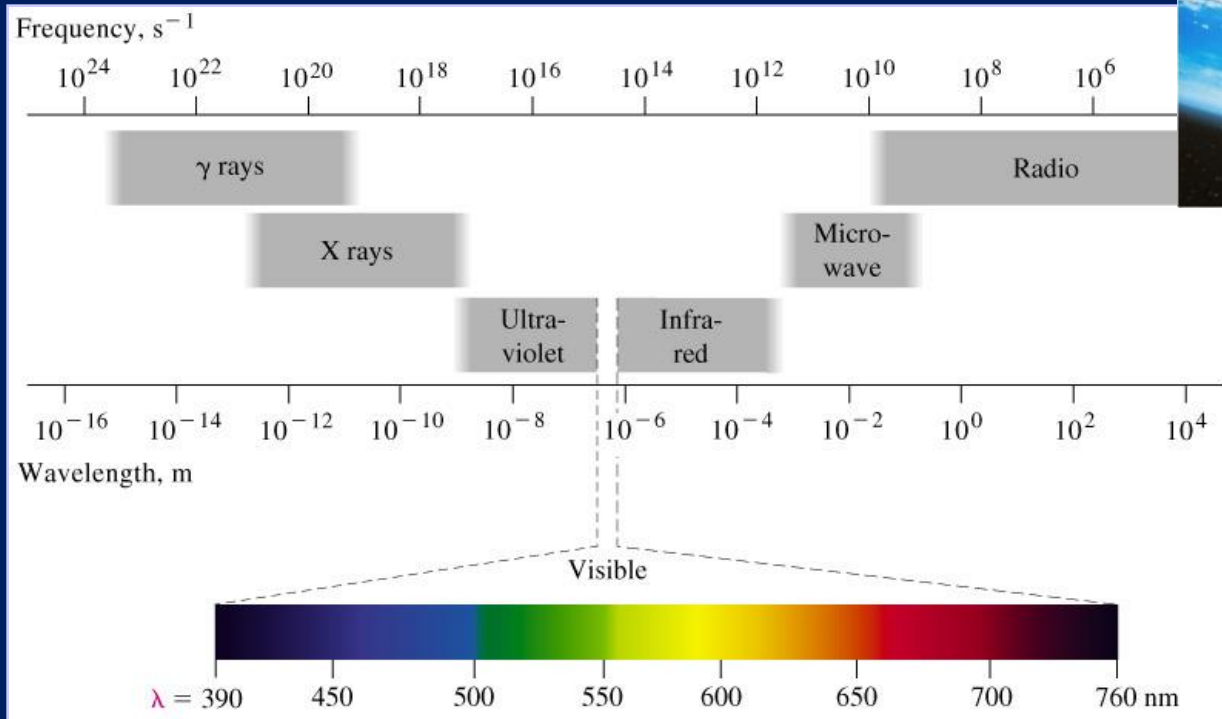


# Princip detekce a vzniku emisních a absorpčních čar



# Omezení atmosféry

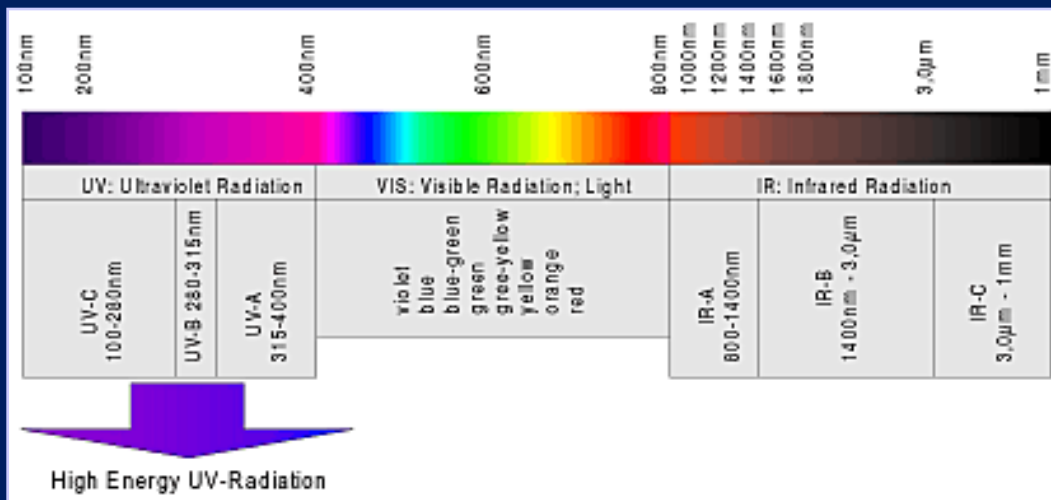
Pro výzkum a měření v celém rozsahu spektra  
nutno mít přístroje i nad zemskou atmosférou



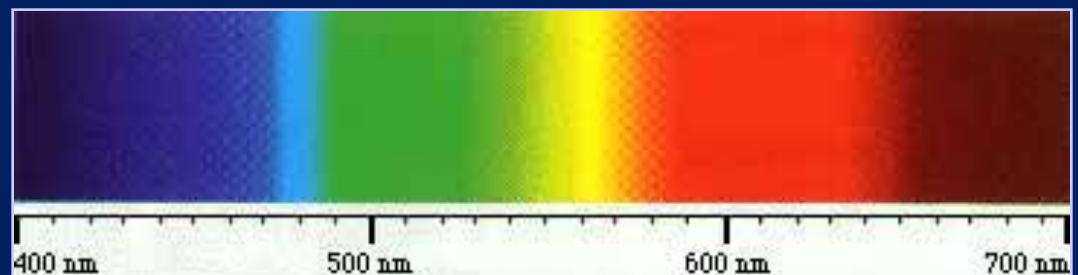


# Spektroskopie

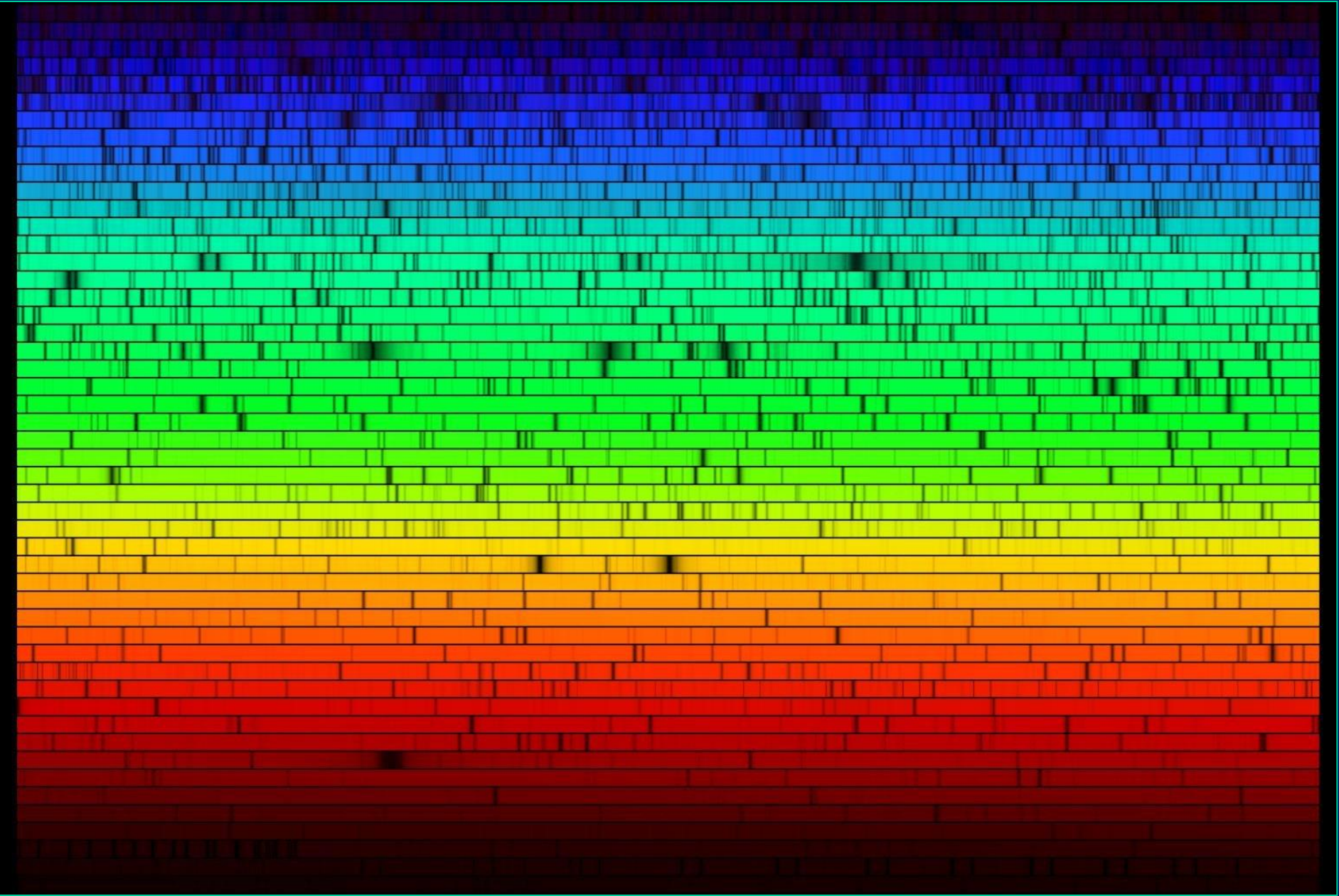
Počátky spektroskopie byly logicky spojeny se Sluncem.



Sluneční spektrum.

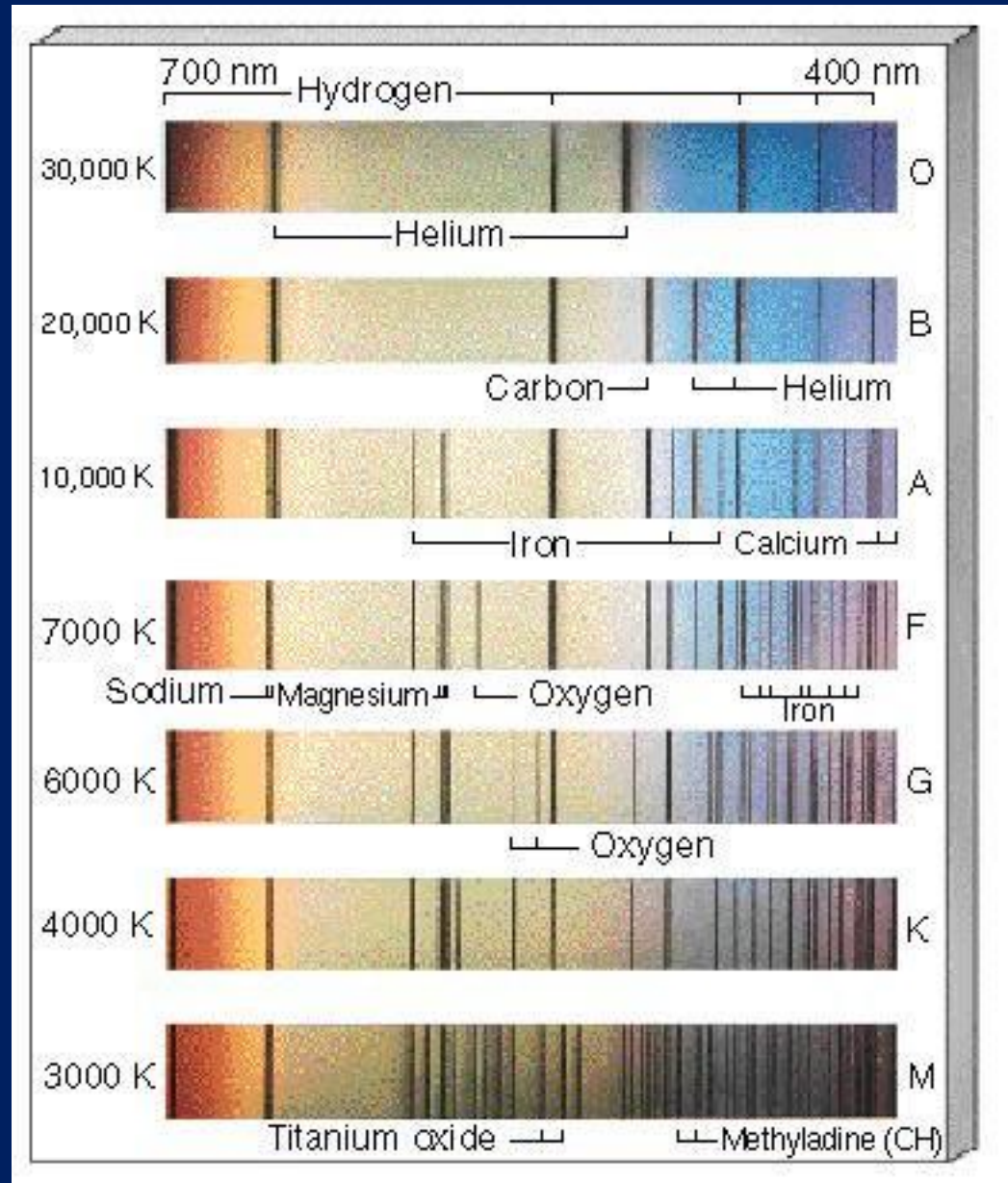




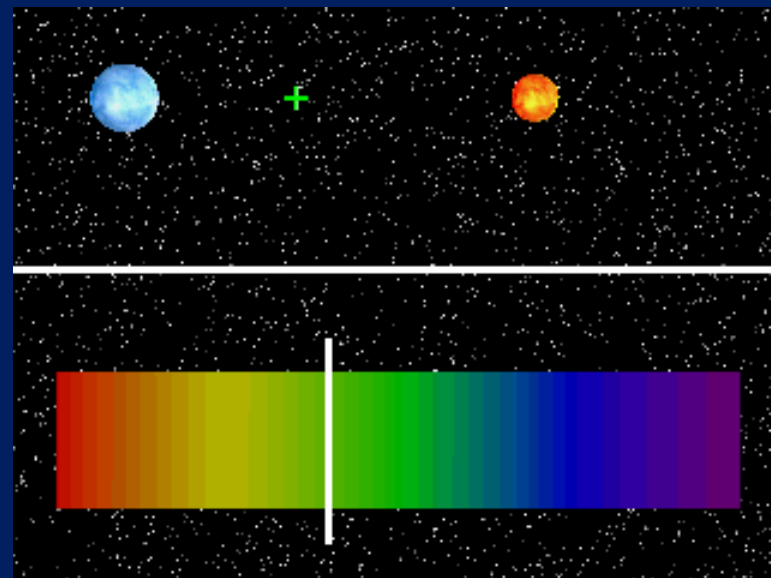
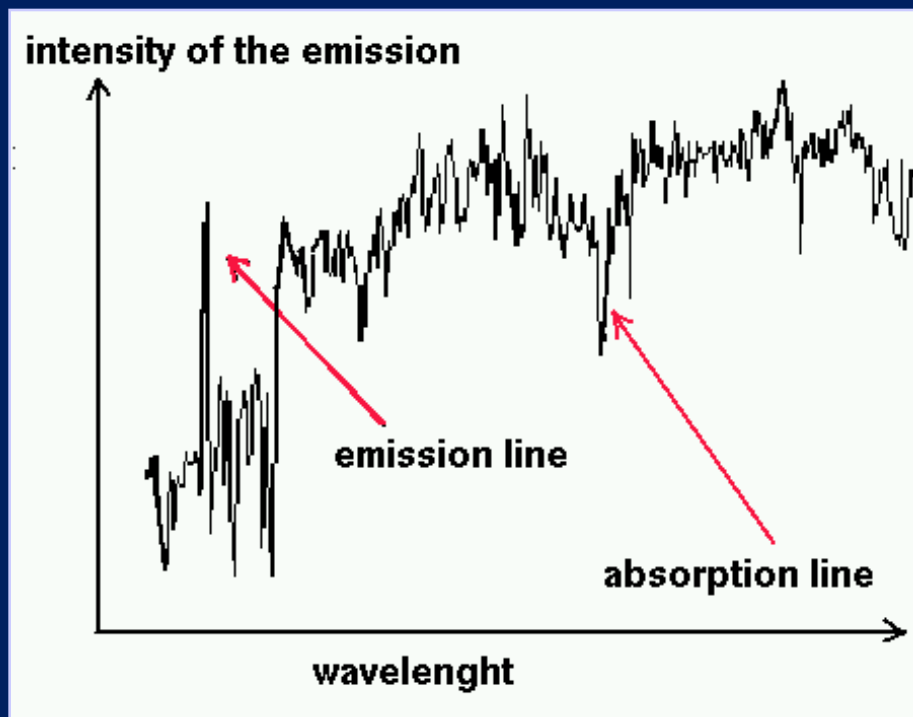


# Spektrální klasifikace hvězd

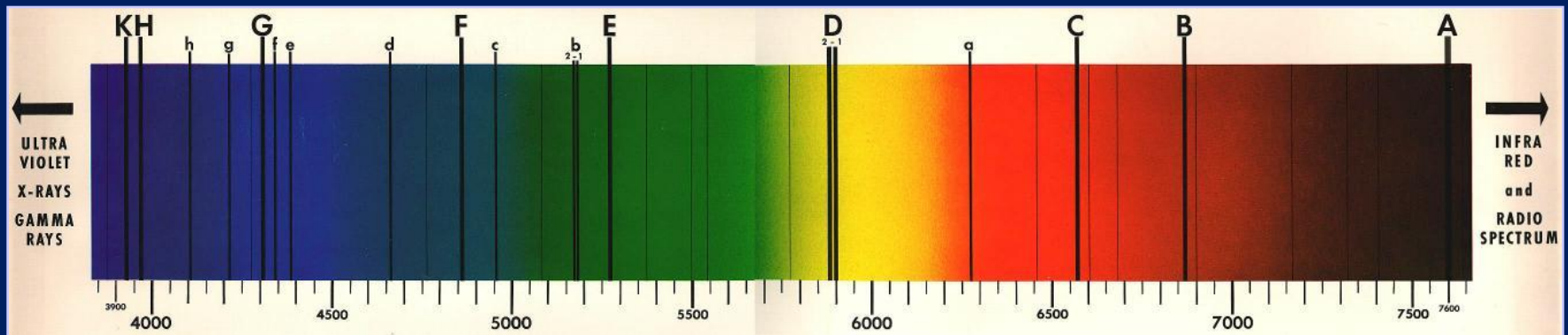
Jeden ze  
základních  
kamenů  
moderní  
astrofyziky!



# Analýza spektra



# Světlo prozrazuje tajemství přírody



Spektroskopie přinesla ojedinělý rozvoj  
vědy, techniky a našeho poznání.



# Děkuji za pozornost!



Dotazy, komentáře, připomínky...