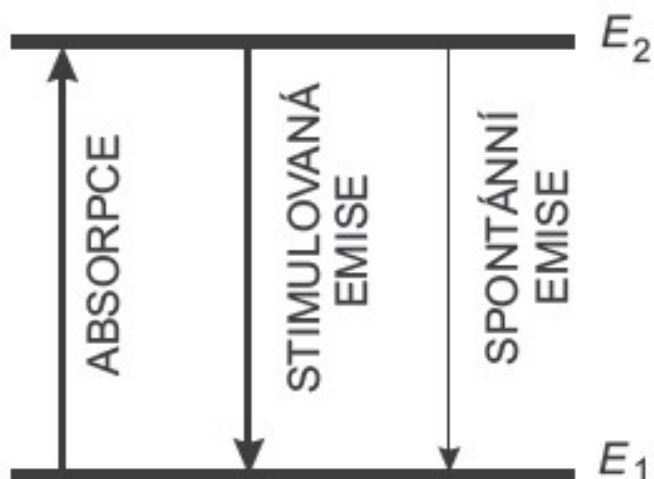


Interakce světla s látkou

Einsteinův přístup

Absorpce světla Přesnější model (než klasický oscilátor) navrhl v roce 1905 Albert Einstein.



2 energetické stavy elektronu v látce (2 hladiny)

$$\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

Světlo $\nu = \nu_{21}$

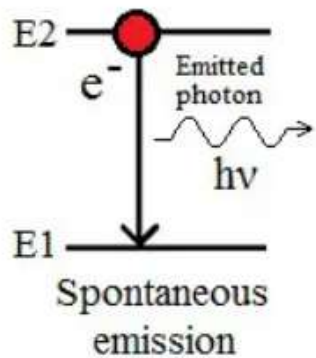
Planckova konstanta $h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J·s in SI units.

Do svého modelu zahrnul tři procesy:

1. *Absorpce*, kdy je atom z dolní hladiny excitován na horní hladinu díky absorpci (pohlcení) fotonu energie $\hbar\omega_{21}$. Přitom $\hbar\omega_{21} = E_2 - E_1$.
2. *Spontánní emise*, kdy atom z horní hladiny přechází na dolní hladinu a při tom dochází k emisi (vyzáření) fotonu s úhlovou frekvencí ω_{21} . Foton může být vyzářen v libovolném směru.
3. *Stimulovanou emisi*, kdy foton s frekvencí ω_{21} dopadající na atom na horní hladině vyvolá přechod atomu na dolní hladinu a přitom se vyzáří další foton s frekvencí ω_{21} . Tento foton je vyzářen ve stejném módu záření jako foton dopadající, má proto nejen stejnou frekvenci, ale také směr šíření a polarizaci.

Spontánní emise je proces související jen s vlastnostmi atomu a nezávisí na intenzitě světla dopadajícího na atom. Rychlost přechodů vyjádřená jako časová změna koncentrace atomů (tzv. populace hladiny 2) N_2 , které jsou na hladině 2, $\frac{dN_2}{dt}$, je rovna $A_{21}N_2$ (až na znaménko, populace ubývá, časová derivace je záporná).

Naopak pro absorpci je rozumné předpokládat, že rychlost přechodů ze stavu 1 do stavu 2 bude záviset na počtu dopadajících fotonů, tedy na hustotě energie dopadajícího světla. Einstein zavedl předpoklad, že tato závislost je lineární, tj.



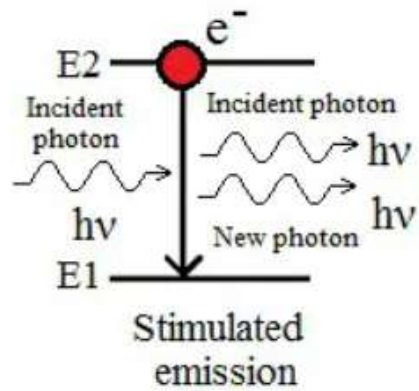
$$\frac{dN_2}{dt} = -A N_2, \quad A \text{ je Einsteinův koeficient spontánní emise.}$$

$$N_2(t) = N_2(0) \exp[-At] = N_2(0) \exp\left[-\frac{t}{\tau_r}\right]$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -A N_2 - A_{nr} N_2, \quad N_2(t) = N_2(0) \exp[-(A + A_{nr}) t] = N_2(0) \exp\left[-\frac{t}{\tau_2}\right],$$

τ_2 se nazývá *dobou života* hladiny 2.

$$\frac{1}{\tau_2} = \frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_{nr}}$$

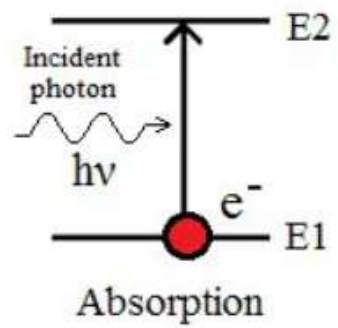


$$\frac{dN_2}{dt} = -B_{21} \rho(\nu) N_2$$

Einsteinův koeficient stimulované emise.

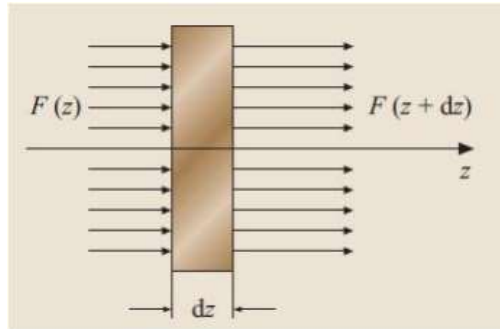
$\rho(\nu)$ je spektrální hustota energie elektromagnetického záření

Joule/(Hertz m^3)



$$\frac{dN_1}{dt} = -B_{12} \rho(\nu) N_1$$

Platí $B_{21} = B_{12}$: Pro ostré hladiny



ládat světelný svazek průřezu S a budeme se zajímat o změnu výkonu mezi souřadnicemi $z, z + \delta z$, je změna výkonu rovna

Přírůstek intenzity světla je tedy roven rozdílu počtu přechodů dolů a přechodů nahoru za jednotku času v objemu dV vynásobenému energií fotonu. V rovinné vlně je spektrální hustota energie ρ a intenzita I světelného signálu (malé) spektrální šířky $\Delta\nu$ spojena jednoduchým vztahem

v elementu objemu $dV = A dz$.

$$I = c \rho(\nu) \Delta\nu$$

$$dI = B_{21} (N_2 - N_1) \frac{I}{c \Delta \nu} h \nu dz$$

$$I(z) = I(0) \exp \left[B_{21} (N_2 - N_1) \frac{h \nu}{c \Delta \nu} z \right]$$

Pokud je látka ve stavu termodynamické rovnováhy, je poměr populací hladin 1 a 2 dán Boltzmannovým zákonem

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp \left[-\frac{h \nu}{k_B T} \right], \quad (15.14)$$

$$I(z) = I(0) \exp \left[-B_{21} N_1 \frac{h \nu}{c \Delta \nu} z \right] = I(0) \exp \left[-a_0 z \right].$$

Absorpční zákon

Zeslabování světla

$$I(z) = I(0) \exp \left[B_{21} (N_2 - N_1) \frac{h\nu}{c \Delta\nu} z \right]$$

$$N_2 = N_1: \quad I(z) = I(0).$$

Průhlednost ...

$$N_2 > N_1 \quad I(z) = I(0) \exp[g z].$$

Koeficient zesílení

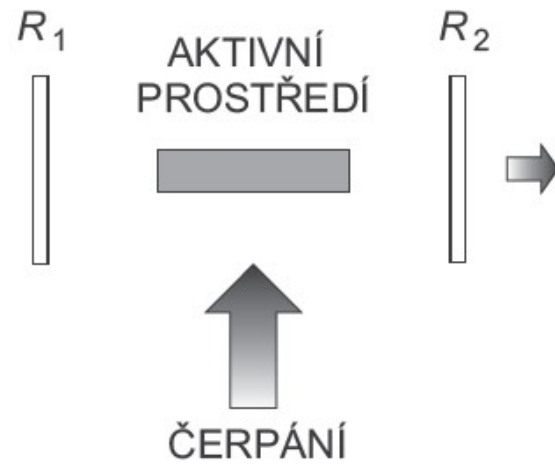
$$g = B_{21} (N_2 - N_1) \frac{h\nu}{c \Delta\nu}$$

$g > 0$

Zesílení !

Zesílení světla stimulovanou emisí záření, angl. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Laser



Pro „výrobu“ $N_2 > N_1$

ČERPÁNÍ – DODÁVÁNÍM ENERGIE (SVĚTLO, EL. PROUD, CHEMICKÁ REAKCE,...)

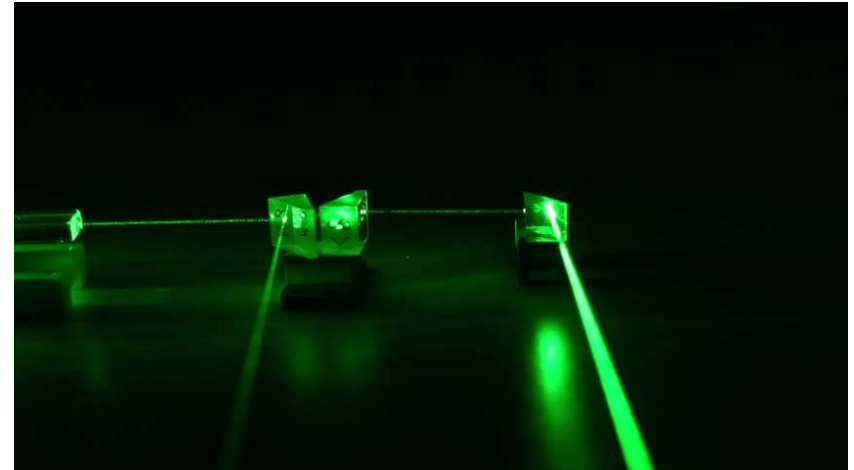
ZRCADLA VÍCENÁSOBNÉ OBĚHY DOKOLA
... větší zesílení, optické vlastnosti spektrální : Fabry-Perot

Aby laser svítil, musí být překročena **prahová podmínka**:

$$I' = I R_1 R_2 \exp[2 g l]$$

$$R_1 R_2 \exp[2 g l] \geq 1$$

Odtud plyne podmínka pro minimální g , tedy rozdíl populací, tj. čerpání



Součásti laseru Nd:YAG

Lambda 1064 nm , nelineární optika:532 nm

Tabulka 15.1 Vybrané důležité lasery⁵ a jejich vlnová délka

Laser podle aktivního prostředí	Typ laseru	Vlnová délka [nm]
ArF	excimerový laser	193
KrF	excimerový laser	248
XeCl	excimerový laser	308
HeCd	plynový laser (páry Cd)	325, 442
N ₂	plynový laser	337
Barvivové lasery	barvivový laser	330–740
GaN	polovodičový laser	415
Cu	páry Cu	510
HeNe	plynový laser	544, 594, 612, 633, 1152, 3391
Ti:Al ₂ O ₃ (titan-safírový laser)	pevnolátkový laser	675–1100
GaAs/GaAlAs	polovodičový laser	750–910
GaInP	polovodičový laser	670
InGaAs	polovodičový laser	980
Ar-iontový	plyn (ionty Ar)	351, 488, 515
Nd:YAG	pevnolátkový laser	1064
CO ₂	plynový laser	9600–10600
CO	plynový laser	5100–6500