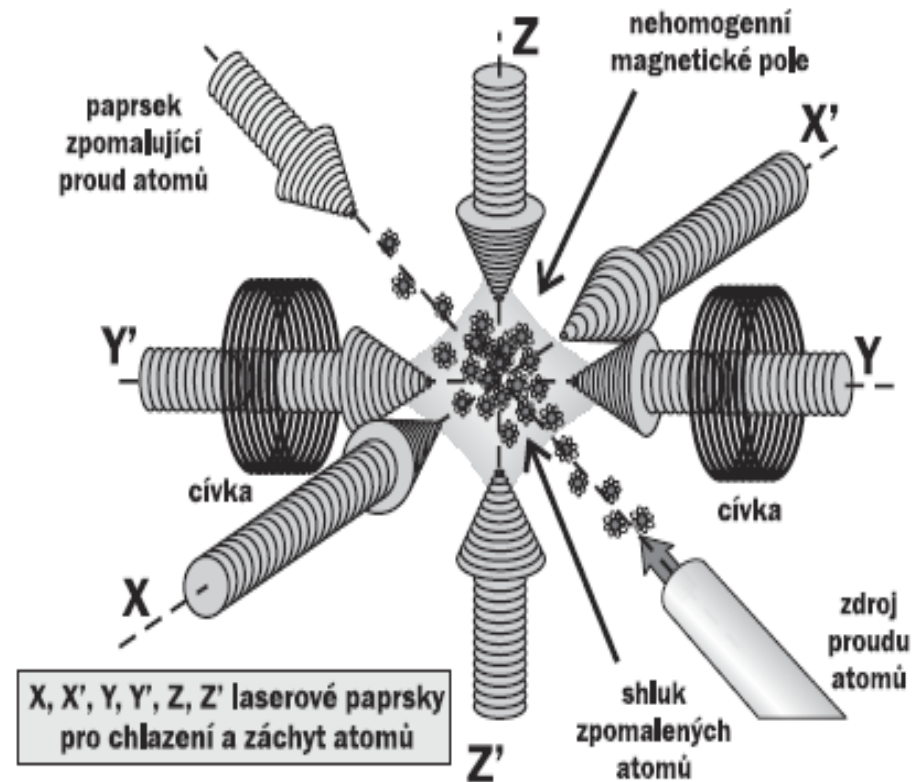


Laserové chlazení atomů

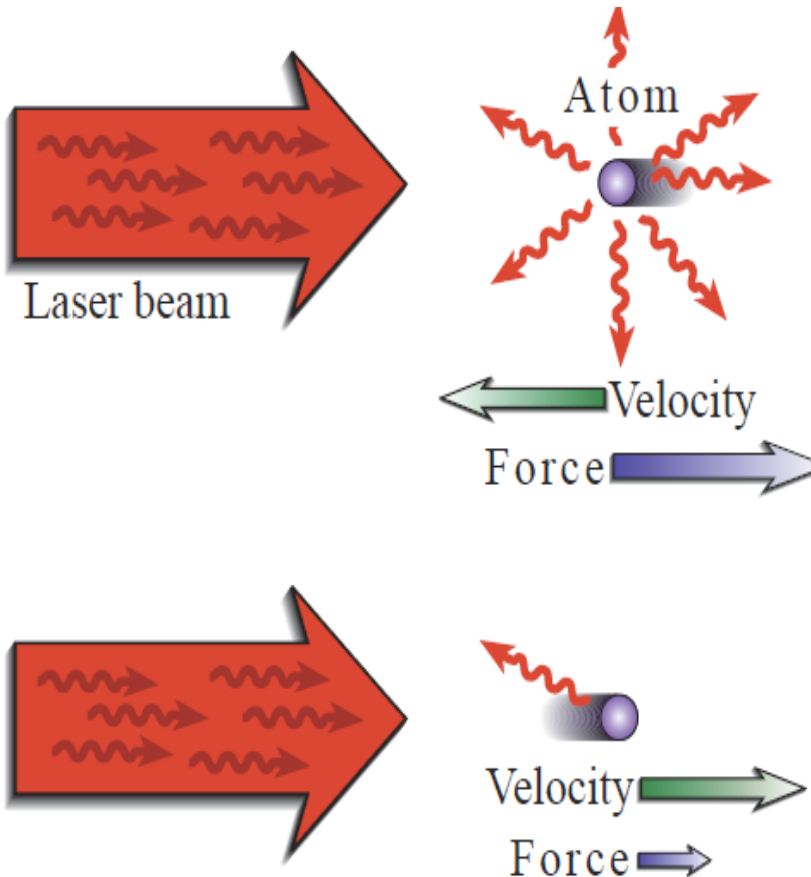
Magneto-optická past

# Atomová past

- Zařízení „držící“ chladné atomy v malé oblasti za použití elektrických a magnetických polí (zpravidla ve vakuu)

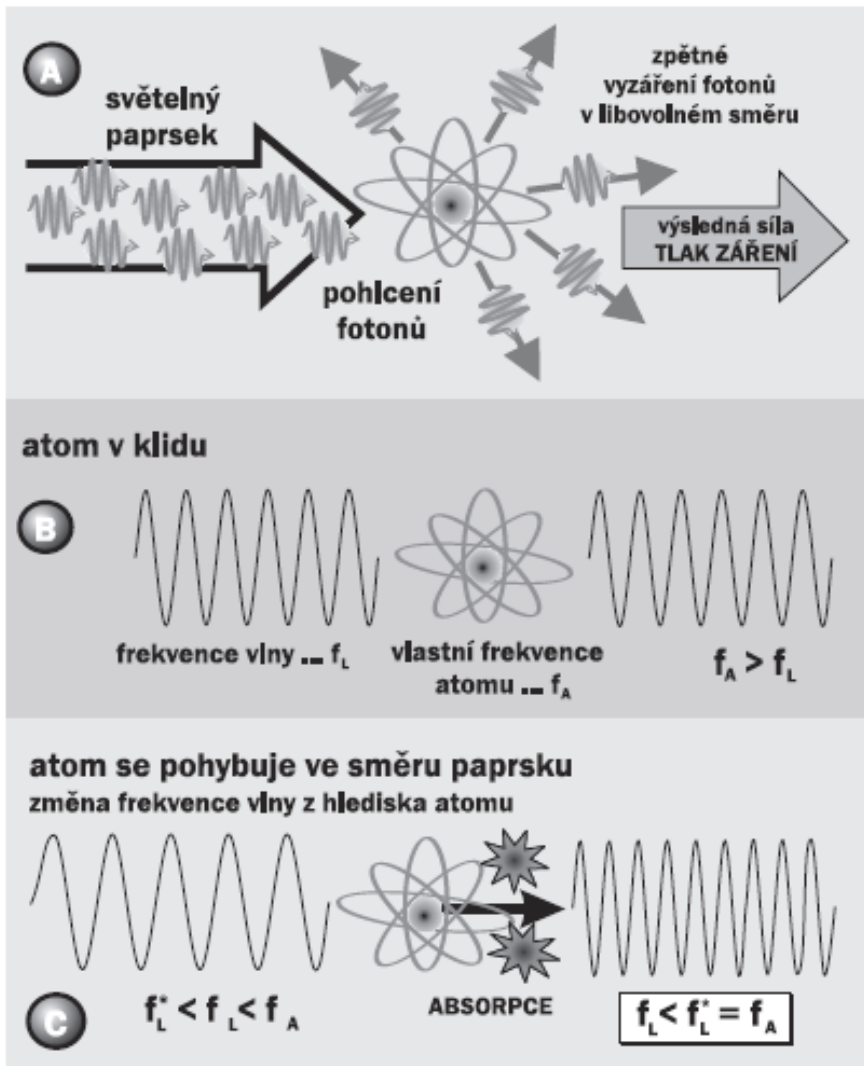


# Laserové chlazení



- Způsob jak chladit atomy
- Nejběžnější metoda: Dopplerovské chlazení
- [Internetová animace](#)

# Dopplerovské chlazení



- Dopadající fotony předávají svou hybnost atomu – tlak záření
- Atom vyzáří fotony do všech směrů
- Fotony musejí mít energii potřebnou pro excitaci atomu

# Tlak záření v závislosti na frekvenci I

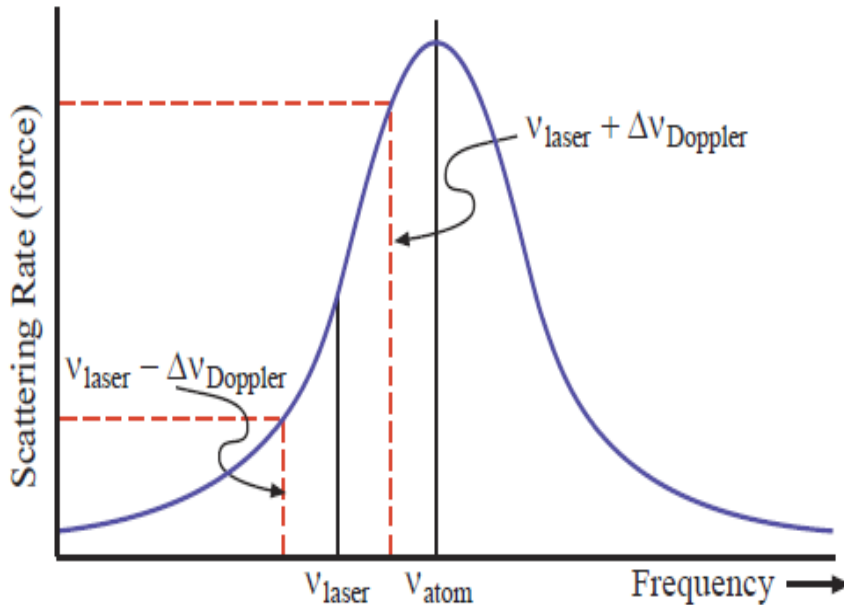


Figure 1. Atomic scattering rate versus laser frequency.

- Frekvenci fotonů je nutné nastavit mírně pod frekvenci absorpce
- Dopplerovské posunutí frekvencí umožňuje vyšší absorpci fotonů pohybujících se proti směru pohybu atomu, snižuje počet absorpcí fotonů se shodným směrem s pohybem atomu

# Tlak záření v závislosti na frekvenci II

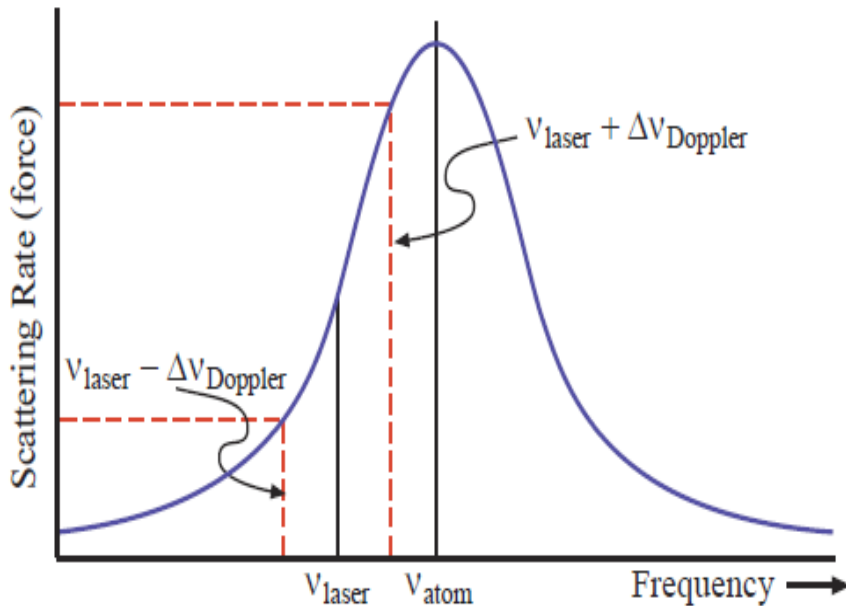
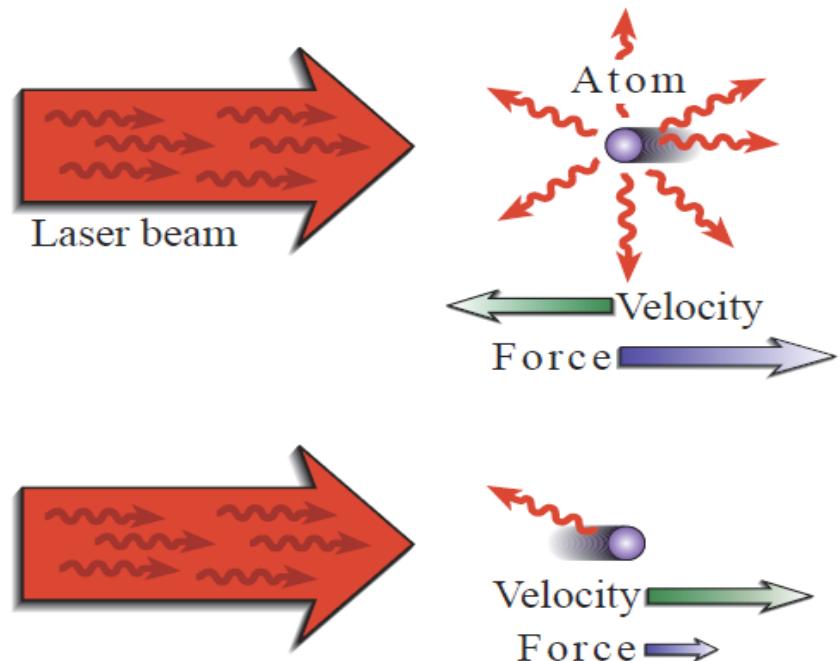


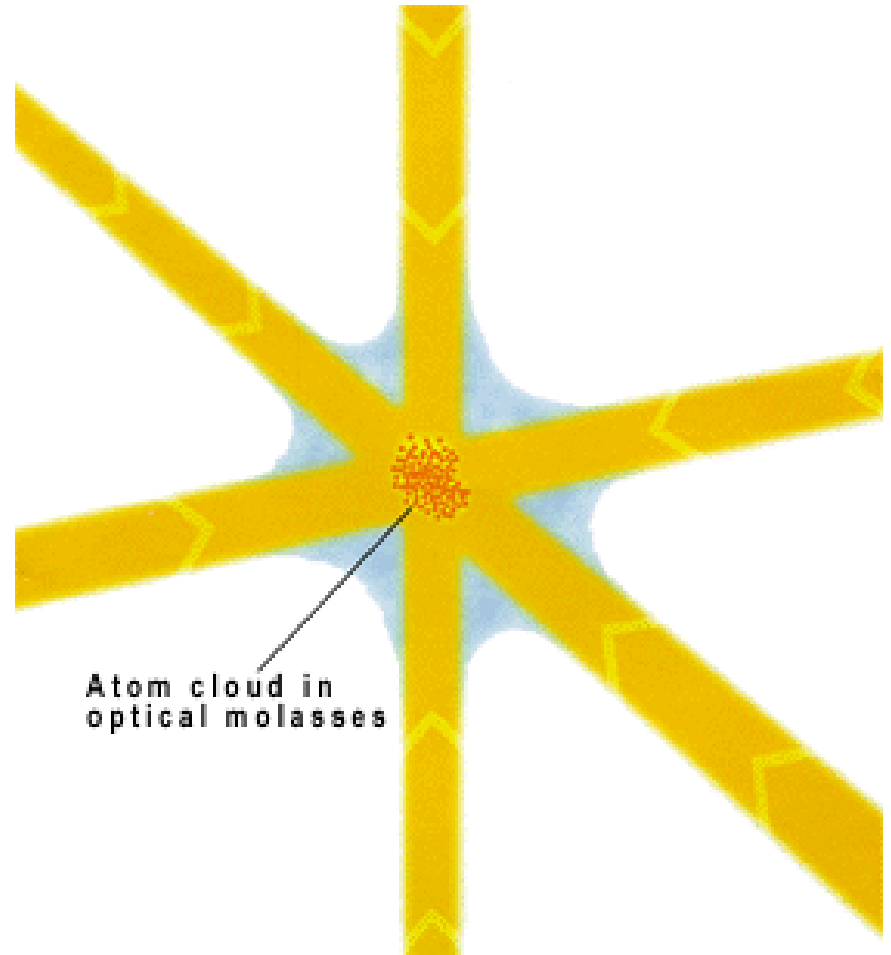
Figure 1. Atomic scattering rate versus laser frequency.

- Tlak záření v důsledku dopplerova posunutí vrací atomy do středu pasti

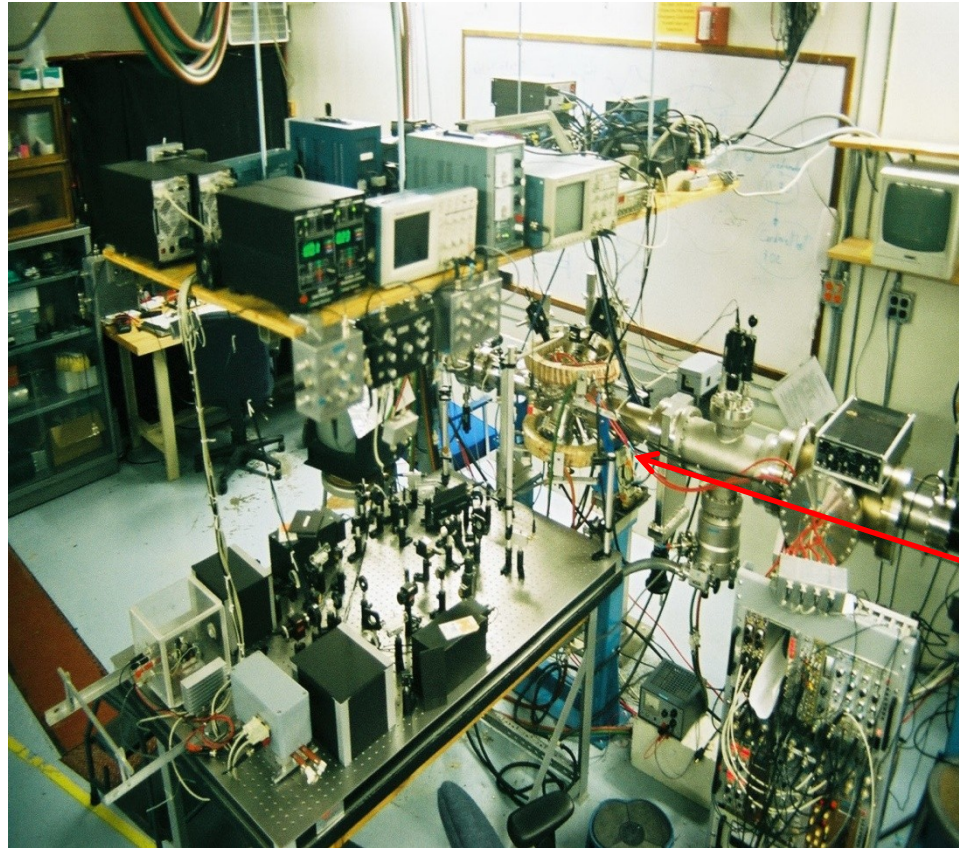


# Optický sirup

- V průsečíku laserů se atomy pohybují jako v hustém sirupu, proto název optický sirup
- Rychlost atomů v řádu cm/s



# Zachycení atomů do pasti

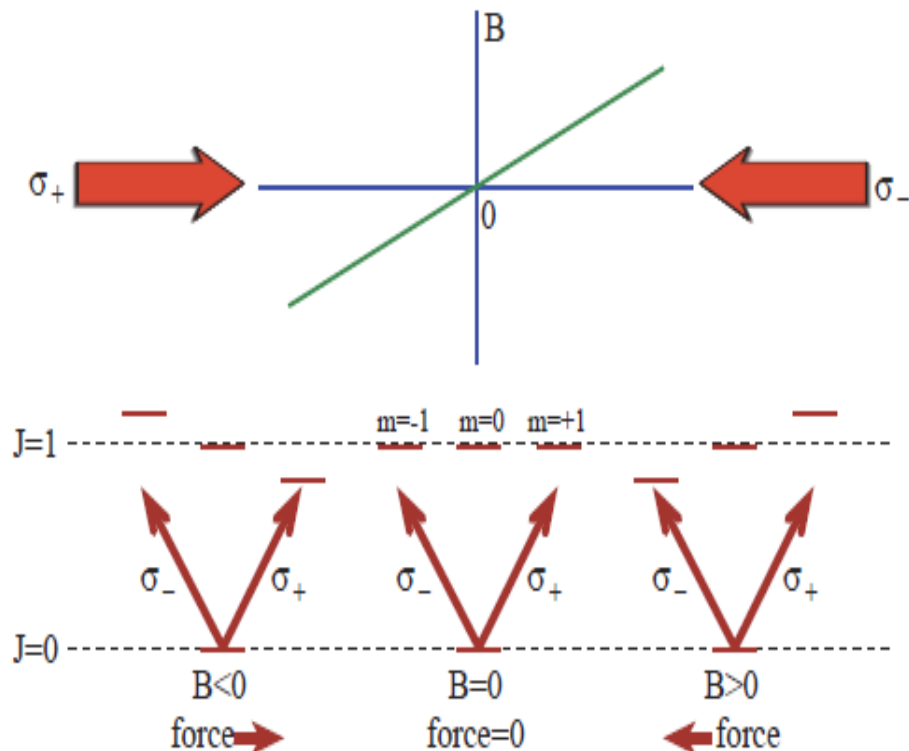


- Samotné použití laserů nestačí k udržení atomů v malé oblasti
- Je nutné přidat nehomogenní magnetické pole
- Kombinaci těchto dvou prvků se říká Magneto-optická past



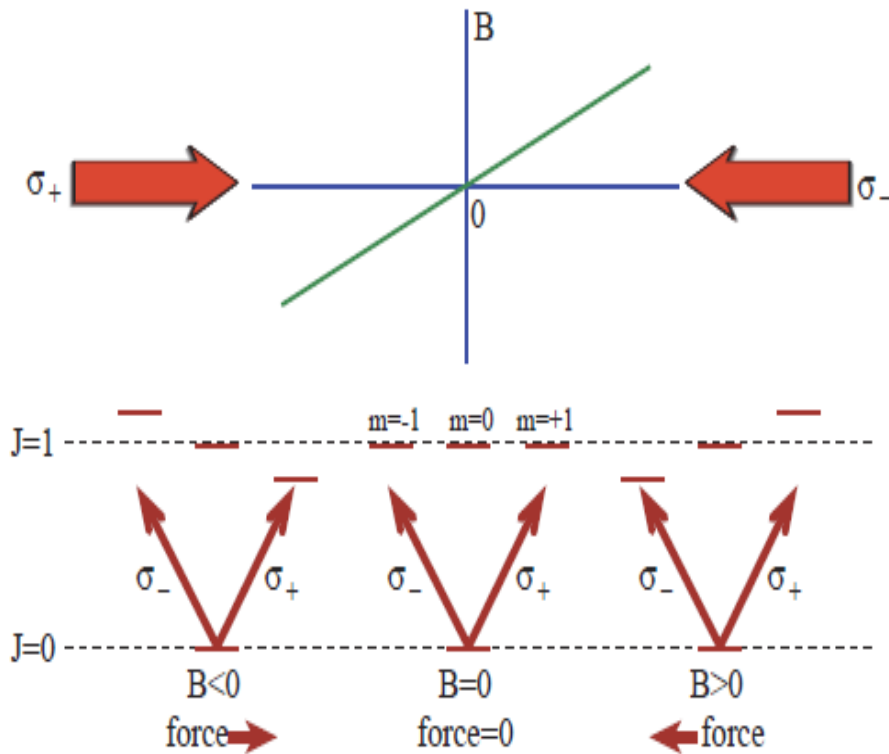


# Magneto-optická past II



- Jednodimenzionální případ
- Lineárně polarizované paprsky excitují pouze atomy s příslušnými magnetickými momenty
- Levý paprsek ex.  $m=+1$
- Pravý paprsek ex.  $m=-1$

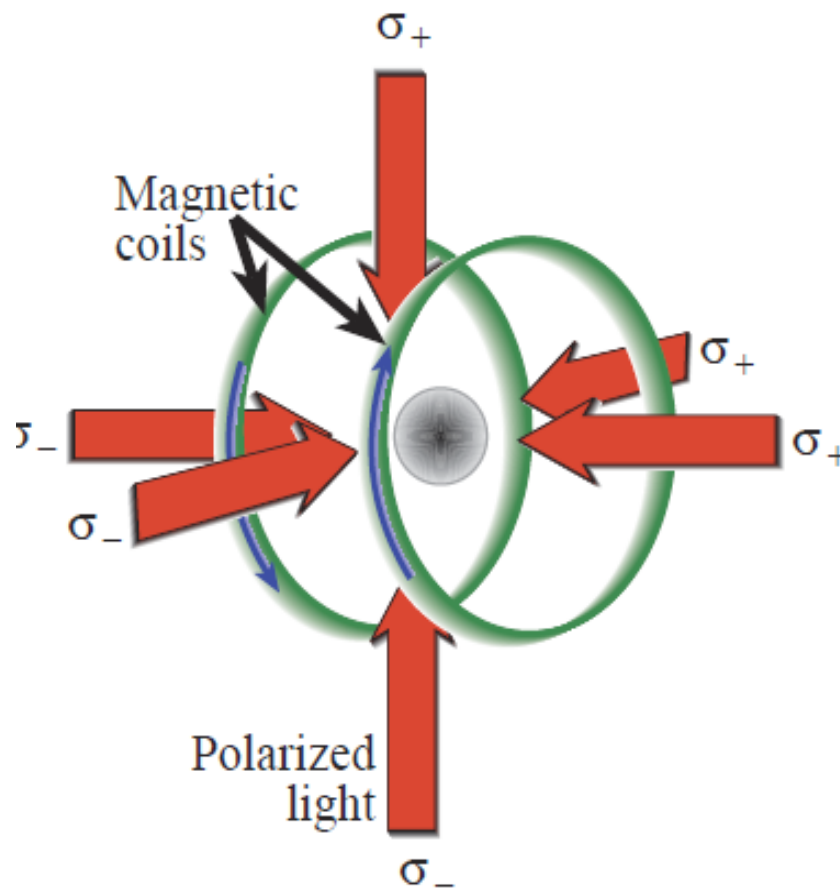
# Magneto-optická past III



- Magnetické pole posouvá energetické hladiny příslušející magnetickému momentu atomu
- Výsledek: Síla, která vrací atomy do středu pasti

# Jednoduché schéma MOT

- 6 laserových paprsků realizuje tlak záření
- 2 kruhové cívky vytváří nehomogenní magnetické pole, které posouvá energetické hladiny

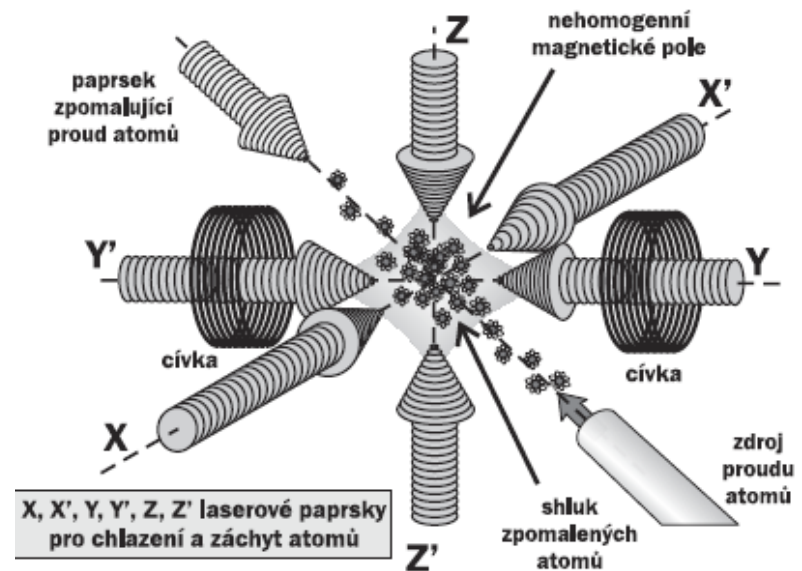


# Limity MOT

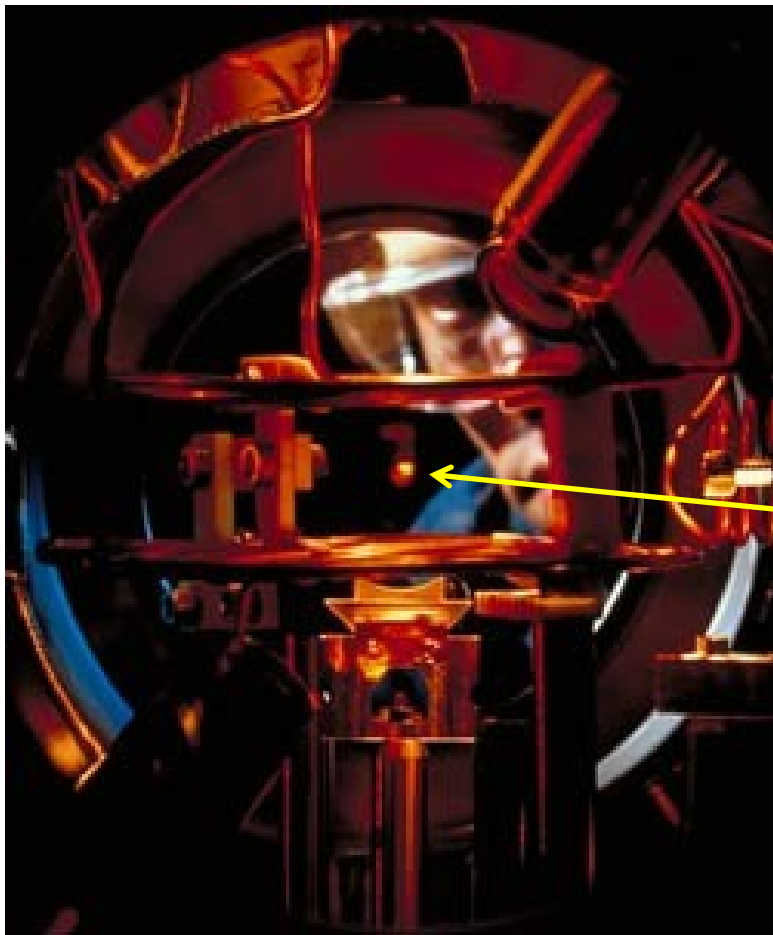
- Úspěšně chladit a zachytávat lze jen atomy s vhodnou strukturou energetických stavů
- Nutné je vysoké vakuum, aby atomy nebyly ovlivňovány atomy z okolí
- Chladit lze jen na jistou mez, pak atomy unikají (několik mK)

# Typická MOT

- Vakuová komora s okénky
- Chladící lasery a cívky
- Atomová tryska
- Atomová fontána
- Pulzní laser



# Využití atomové pasti

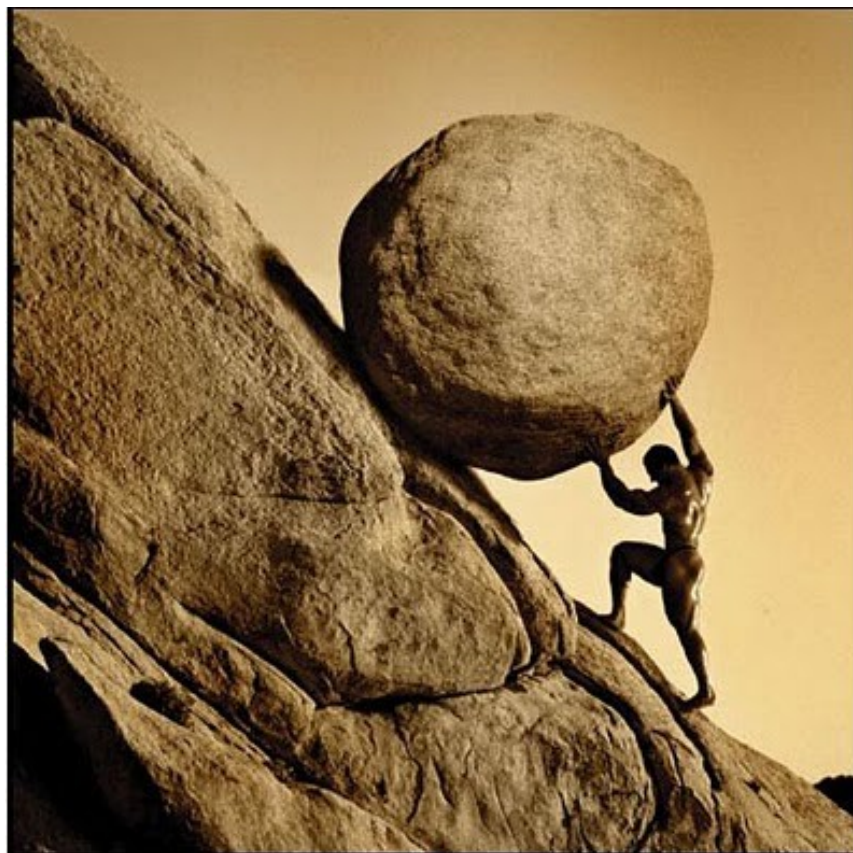


- Umožňuje zachytit miliardy atomů při hustotě miliarda atomů na krychlový milimetr

Atomy sodíku

# Sisyfovo chlazení I

- Původně nečekaný jev, který zefektivňuje laserové chlazení
- Atom se dostává do situace, ve které se stále „pohybuje do kopce“
- Připodobnění k bájnému Sisyfovi

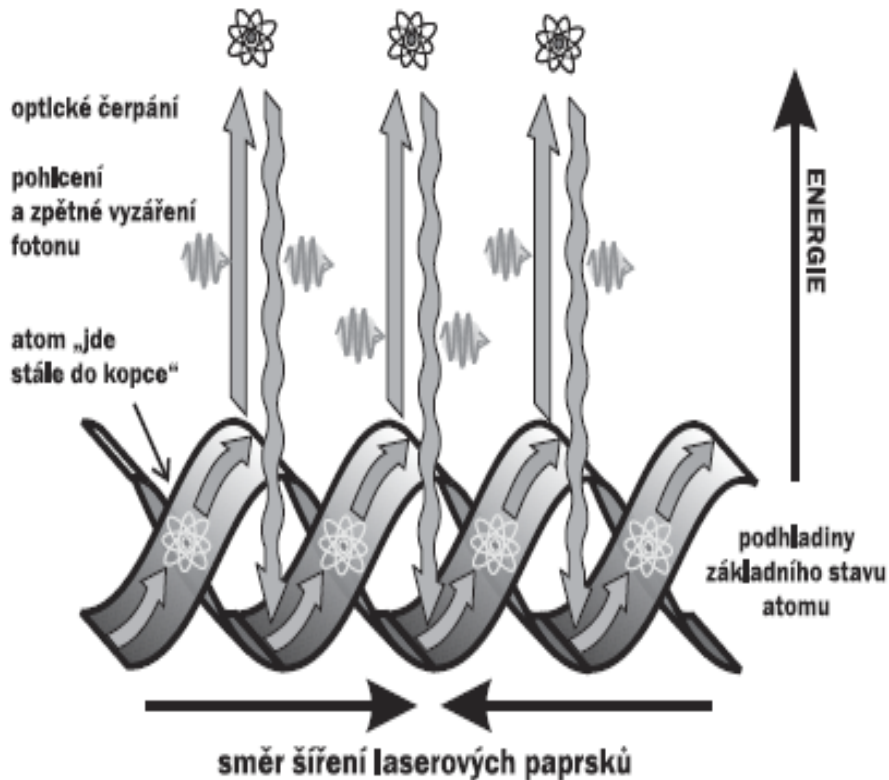




# Sisyfovo chlazení II

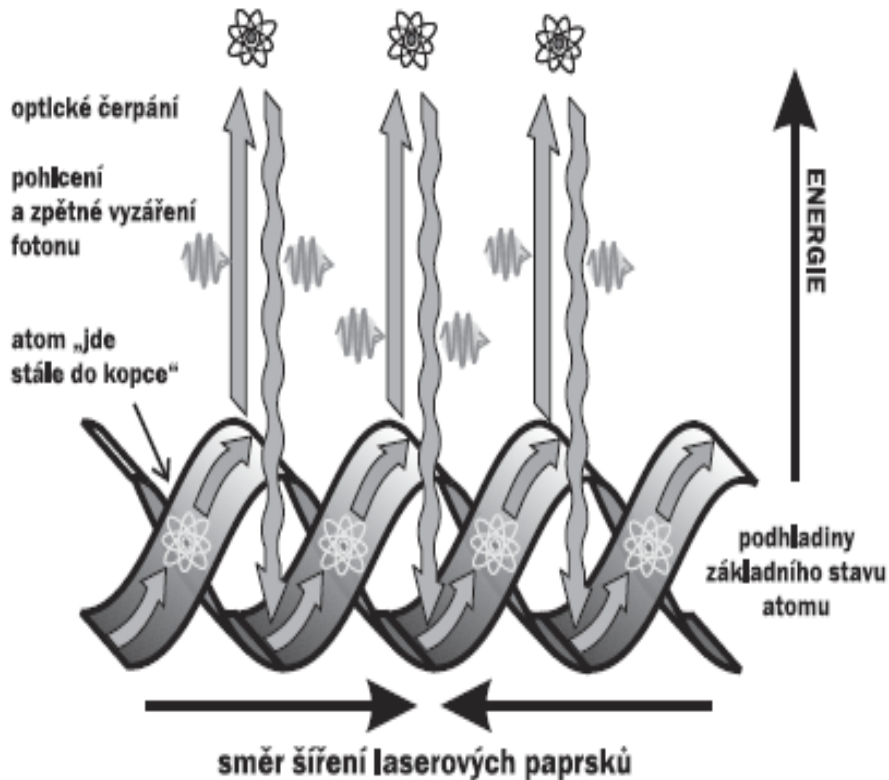
- Laserové paprsky – rovinné vlny
- Složením vznikne jedna stojatá vlna s kmitnami a uzly
- Různá polarizace paprsků -> pole s prostorově proměnnou polarizací
- Dochází k štěpení základních hladin atomu na podhladiny

# Sisyfovo chlazení III



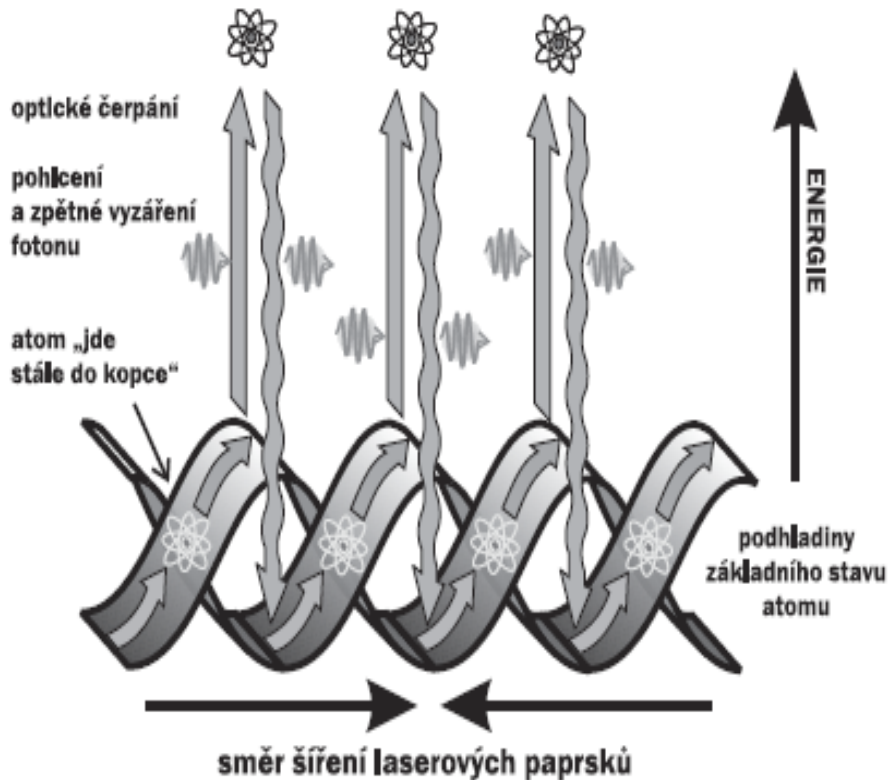
- Při svém pohybu atom „vidí“ vyšší a nižší hladiny potenciální energie
- Atom v oblasti s vysokou potenciální energií, má zároveň nízkou kinetickou energii (ZZME)

# Sisyfovo chlazení IV



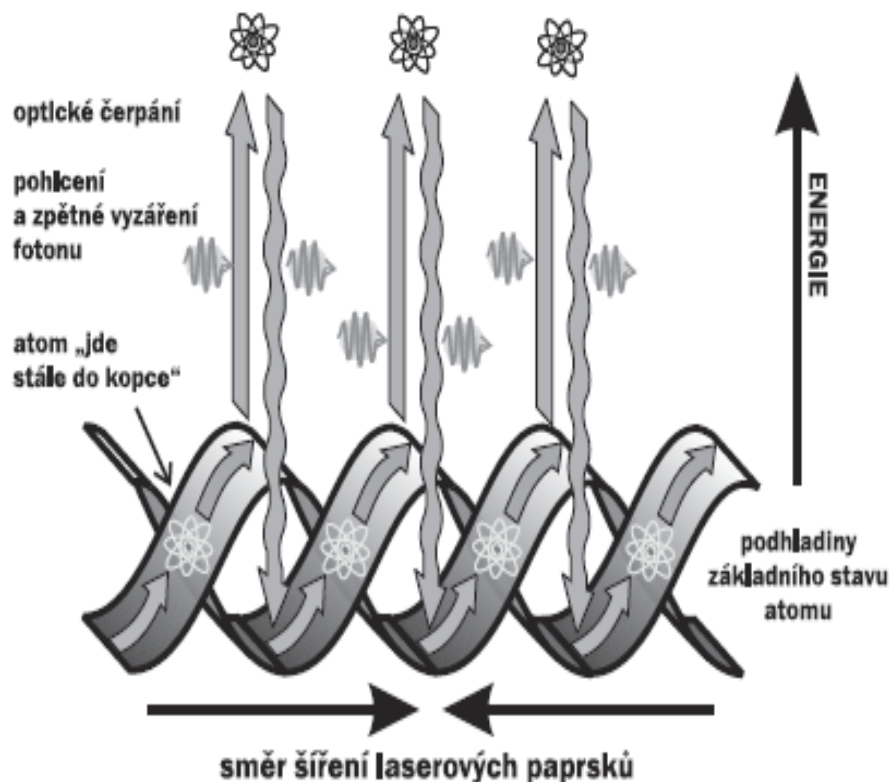
- Atom vyzáří foton a ten odnáší přebytek energie, kinetická energie zůstává nízká
- Energiová podhladina se změní, potenciální hladiny se převrátí -> atom je v místě s nízkou potenciální energií

# Sisyfovo chlazení V



- Pokud má atom dostatečnou kinetickou energii, pokusí se vystoupit na další potenciálovou horu
- Cyklus se opakuje, dokud má atom dostatečnou kinetickou energii

# Sisyfovo chlazení VI



- Až atom nebude mít dostatek energie, bude chycen v potenciálové jámě
- Tímto mechanismem lze dosáhnout teploty v řádu  $\mu\text{K}$

# Hranice Sisyfova chlazení

- Atom se nemůže zastavit víc, než odpovídá jednotlivým impulsům při emisi a absorpci fotonu
- V důsledku toho stále koná chaotický pohyb

# Temný stav

- Pokud zabráníme atomům v další absorpci a emisi -> dosáhneme ještě většího ochlazení
- Tomuto stavu atomu se říká „temný stav“
- Tento stav umožňuje kvantová interference
- Ochlazení až na stovky nK

# Přínos atomových pastí

- Vytvoření a studium Bose-Einsteinova kondenzátu
- Vytvoření atomových hodin se zvýšenou přesností
- Zdokonalení atomové litografie – pro tvorbu dokonalejších mikroelektronických součástek



# Děkuji za pozornost

IMΦ

Thank you  
for your attention !  
for your attention !

