

lmax=360

s=160.2 u=622 h=390 b=15000 res=0.25°

# (Kvantová) gravimetria

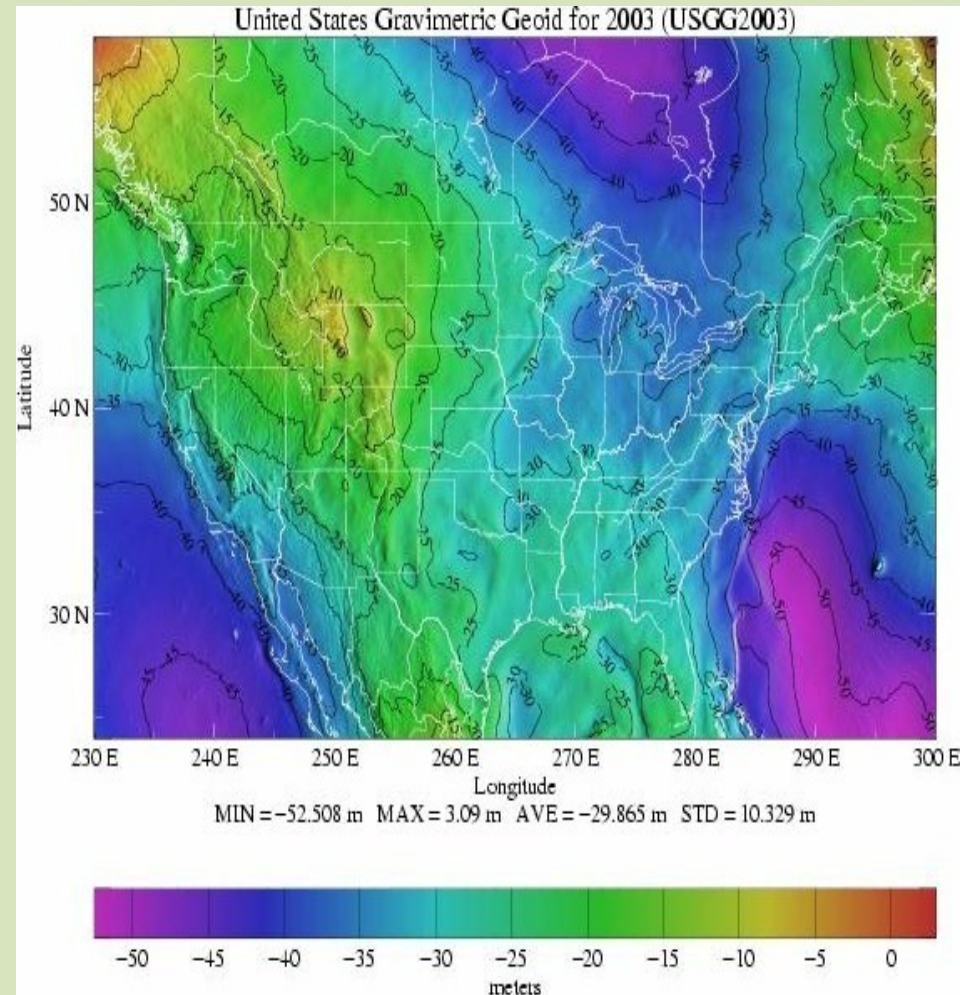
Michal Prišegen

Kvantová fyzika atomárnych sústav

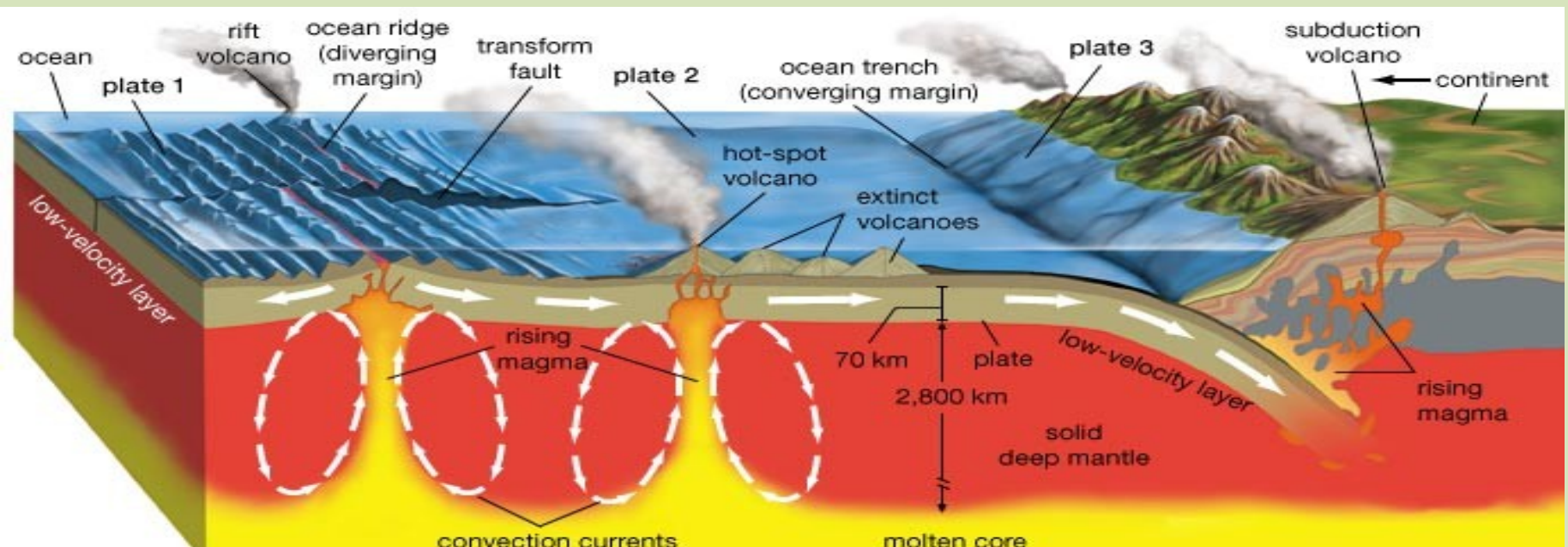
26.5.2010

# Mikro úvod do gravimetrie

- Pre praktické účely, gravitácia na povrchu Zeme je všade konštantná, ale pre vedecké účely je povrchová gravitácia plná jemných variácií.
- Meraním sily gravitačného poľa sa zaoberá gravimetria, prístroje pre meranie sily gravitačného poľa nazývame gravimetre.
- Gravitácia –konvenčne meraná v jednotkách zrýchlenia ( $m/s^2$ )
- V gravimetrii sa používa jednotka 1Gal ( $=1cm/s^2$ )
- Gravitácia klesá o 0,3 mGal s každým metrom výšky

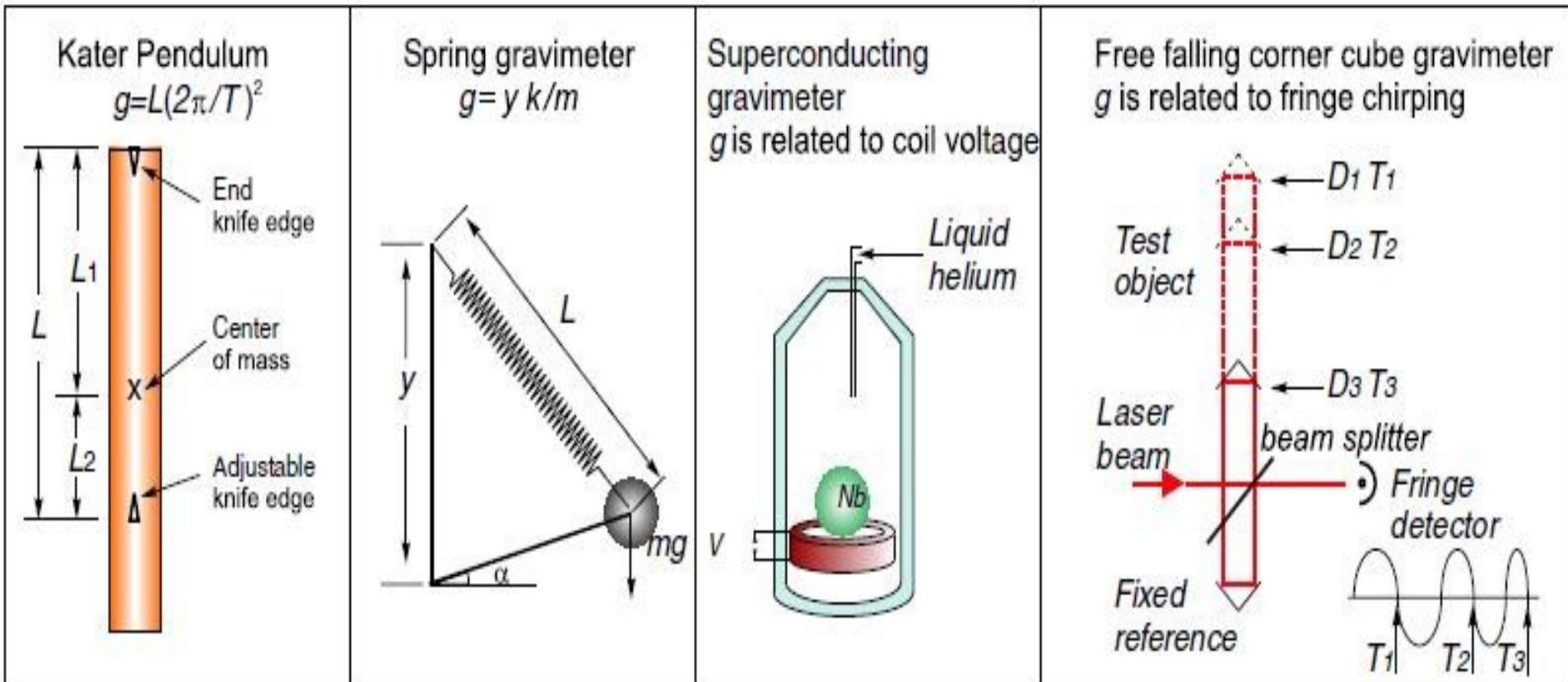


- Extrémne široké spektrum použitia v množstve disciplín
- Deviácie v tvare Zeme od referenčného elipsoidu, Coriolisova sila, zmena dĺžky dňa, kalibrácie v meteorológii, klimatológia, geologické a geofyzické aplikácie-štúdiu prílivu a odlivu, pochody v zemskej vnútri, tektonická dynamika, vulkanológia, hľadanie prírodných zdrojov a mnoho iného...



# Klasické gravimetre

- Absolútne, relatívne
- Nemajú rady cestovanie, nízky krvný tlak, gravitácia sa nedá zacloniť
- - Katerovo kyvadlo- 30 roky, klasická kyvadlová rovnica, rel. chyba  $10^{-4}$
- **Strunové gravimetre**- relatívne, struny nulovej dĺžky nepodliehajúce Hookovmu zákonu s extrémne dlhými rezonančnými dobami oscilácie, nepresnosť určenia  $y$ , hysterézia-potreba častej kalibrácie



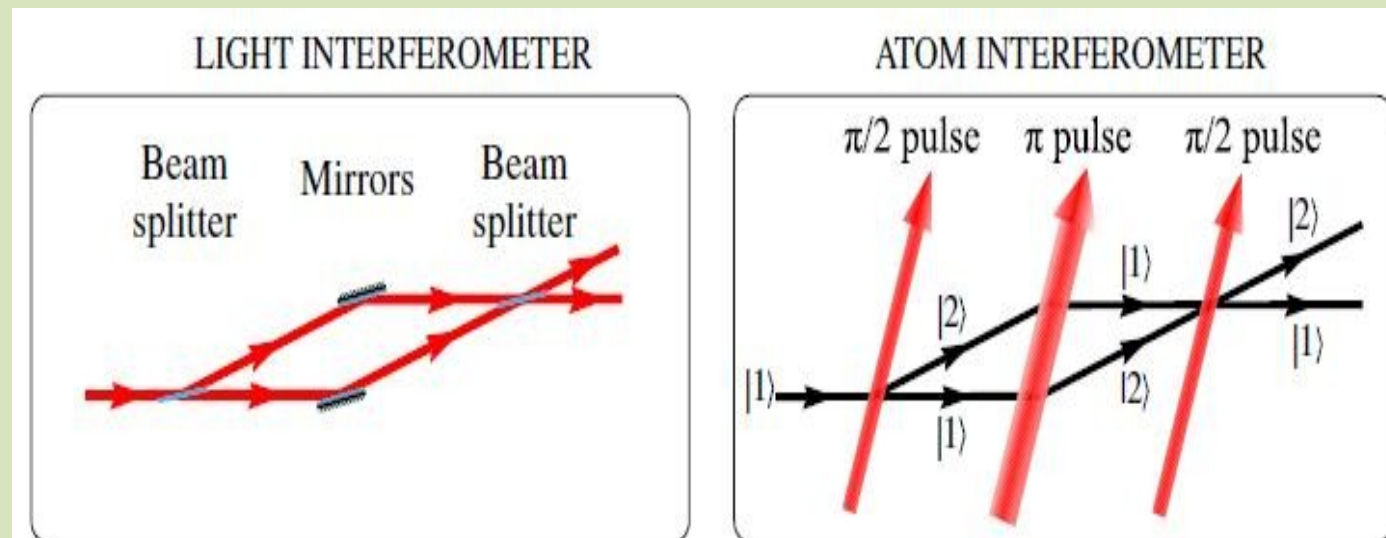
- **Supravodivé gravimetre** -relatívne, supravodivá guľa sa vznáša v magnetickom poli, gravitačné zmeny sú kompenzované elektrostatickou silou udržujúcou guľu na fixnej pozícií, neuveriteľná presnosť, stabilné, neprenosné.
- **Gravimetre využívajúce voľný pád (optická interferometria)** – sledujú objekt vo voľnom páde pomocou interferometrickej metódy, zrkadlo pripevnené na objekte slúži ako jedno z ramien Michelsonovho interferometra, z dát z interferometra sa potom získa  $g$ , nepresnosť vo vlnovej dĺžke laseru, nemôže fungovať viac ako týžden, najpresnejšie prístroje tohto typu sú neprenosné.

# Kvantová gravimetria-princípy

- Matter-wave interferometria v poslednej dekáde viedla k vývoji nových metód v meraní inerciálnych síl.
- Tento druh interferometrie je možné použiť na presné meranie gravitačného pola, kvantové gravimetre pracujúce na tomto princípe sú presné a stabilné
- Neutrálna hmota je oveľa menej citlivá na rušivé účinky elektrických a magnetických polí a jej typická rýchlosť je oveľa nižšia ako rýchlosť svetla, čo dovoľuje dlhšiu interakciu na fixnej dĺžkovej škále.
- Kvantové interferometre- neutron-based: obtiažna produkcia v laboratóriu, atom-based: pomerne technicky náročná záležitosť, v praxi použiteľné až od 90tych rokov

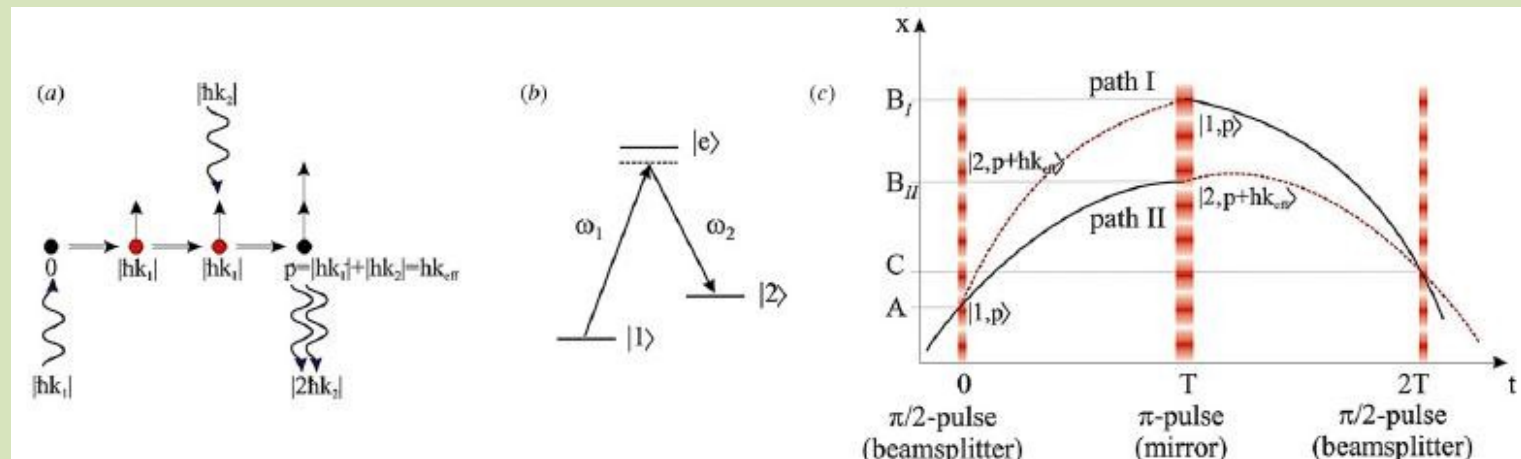
- De Broglieho vlnová dĺžka
- Pre studené atómy (okolo  $10^{-6}$  K) je vlnová dĺžka okolo 1 mikrometer
- Analogicky k optickej interferometrii, vlny atómovej hmoty môžu byť rozložené, rekombinované a vytvoriť interferenčný signál
- Optické komponenty: 1.) materiálne –analogické k Youngovmu dvojštrbinovému interferometru, vyžaduje vysokú kvalitu povrchu a presný positioning. 2.) Difrakcia pomocou svetelných polí: dosiahnutá pomocou laserovej stojatej vlny generovanej dvomi proti-sebe sa šíriacimi laserovými lúčmi, ktoré v podstate vytvárajú difračnú mriežku. Oproti 1.) je oveľa viac laditeľné- je možné meniť fázu, intenzitu a hustotu difrakčnej mriežky

$$\lambda = \frac{h}{p}$$



# Gravimetria založená na Ramanovej atómovej interferometrii

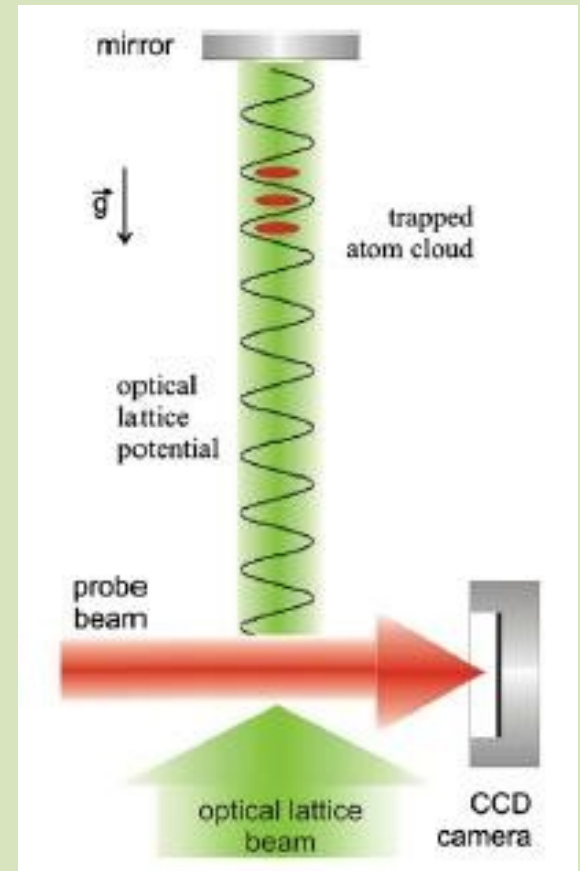
- Zahŕňa separáciu a odraz atómového vlnového paketu pomocou Ramanovho prechodu (prechod medzi vnútornými stavmi atómov pomocou elektromagnetického poľa).
- Každý atóm môže byť popísaný svojim vnútorným stavom a externým momentom zotrvačnosti. Dva proti sebe sa šíriace lúče s opačnými vektormi šírenia, ktorých rozdiel frekvencií je rezonančný atomickým dvojlevelovým systémom (predpokladajme, že atóm má len dva levely pre základný stav) môže vyvolať Ramanov prechod.
- Týmto spôsobom môžeme separovať a skladať vlnu podľa povahy pulzu, lebo ak meníme vnútorný stav systému, mení sa a hybnosť, čo je dôsledok zákonov zachovania v systéme atóm+fotón.
- Po zložení je výsledkom oscilačná funkcia dráhového rozdielu, ktorá závisí na gravitačnom zrýchlení.





# Gravimetria založená na Blochových osciláciách

- Blochové oscilácie sú fenoménom z fyziky pevných látok. Popisujú osciláciu častice, keď na ňu pôsobí konštantná sila.
- Dva proti seba sa širiace laserové lúče vytvárajú difrakčnú mriežku. Takáto pravidelná štruktúra vytvára periodický potenciál a slabú silu, ktorá produkuje Blochove oscilácie, ktorých periódu môžeme merať.
- Blochove oscilácie explicitne závisia na  $g$ .



$$\nu_B = \frac{mg\lambda_L}{2h}$$

# Referencie

- doi:10.1088/0957-0233/20/2/022001
- <http://geology.about.com/library/weekly/aa050999.htm>
- [http://geophysics.ou.edu/enviro/readings/microrogal\\_gravimetry.html](http://geophysics.ou.edu/enviro/readings/microrogal_gravimetry.html)
- en.wikipedia.org

Ďakujem za pozornosť