

Kvantová gravimetrie

Tereza Chmelíková

Kvantová fyzika atomárních soustav

12. 6. 2013

Skutečný tvar Země - geoid. Povrch na, který se díváme je plocha se stejnou úrovní tíhového potenciálu na níž je vektor gravitačního zrychlení kolmý.

Gravimetrie?

- Metoda založená na studiu a měření změn zemského tíhového pole. Tyto změny jsou způsobeny nehomogenní hustotou geologického prostředí
- Měří sílu gravitačního pole na Zemi
- Praktické účely - gravitace je na povrchu Země všude stejná
- Vědecké účely – spousta nehomogenních variací
- Přístroje používané pro tato měření – gravimetry
- Při studiu gravitačního pole v blízkosti Země, můžeme zanedbat působení ostatních vesmírných těles.
- Gravitace – konvenční měřená v jednotkách: zrychlení (m/s^2)
- V gravimetrii – jednotka 1Gal(Galileo)(= $1cm/s^2$)
- Gravitace klesá o 0,3mGal s každým metrem výšky

Využití gravimetrie

- Určení deviace Země od referenčního elipsoidu (viz.obrázek – Země je ve skutečnosti geoid)
- Studium rotace Země
- Vliv Coriolisovy síly
- Možnost určit hustotu zemského tělesa, hustotu v jádru Země, hustotní nehomogenity v zemském plášti (měřením ve vrtech).
- Možno sledovat změny gravitačního pole - studium přílivu a odlivu.
- Změna délky dne, použití v meteorologii, klimatologii.
- Pochody v zemském nitru, vulkanologie, hledání přírodních zdrojů – ložisek ropy, zemního plynu a rud.
- V hydrologii, speleologii a archeologii.
- V kvantové mechanice se zpravidla zanedbává – jsou to malé síly.
- Důležitý – princip ekvivalence!

Historie

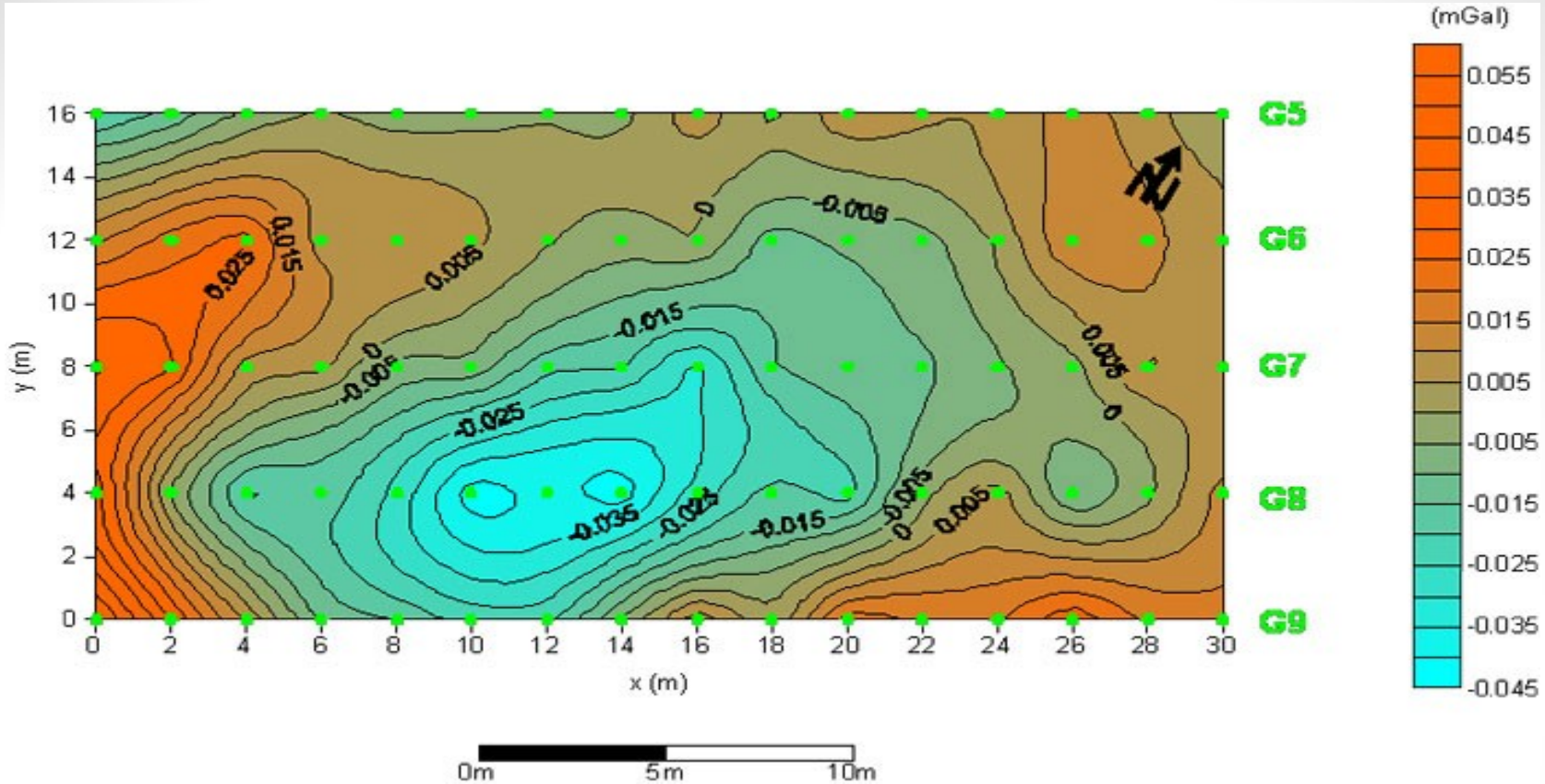
- Počátky gravimetrie můžeme datovat do konce šestnáctého století, kdy **Galileo Galilei** (1564-1642) studoval volný pád. Přišel na to, že všechna tělesa padají k zemi rychlostí $v=g*t$ (kde g je velikost gravitačního zrychlení a t čas pádu).
- K dalšímu poznání gravitačního pole přispěl **Johann Kepler** (1571-1630), když definoval zákony o pohybu planet.
- **Sir Isaac Newton** (1643-1727), který za pomoci diferenciálního a integrálního počtu odvodil teoreticky gravitační zákon.
- Dalším významným vědcem byl **Henry Cavendish** (1731-1810), jenž změřil *gravitační konstantu* s chybou 1.2% (dnes $\kappa=6.6725985*10^{-11}*m^3*kg^{-1}*s^{-2}$).
- Nakonec **Pierre Bouguer** (1698-1758) vypracoval teorii tíhového pole Země.

- Newtonův gravitační zákon

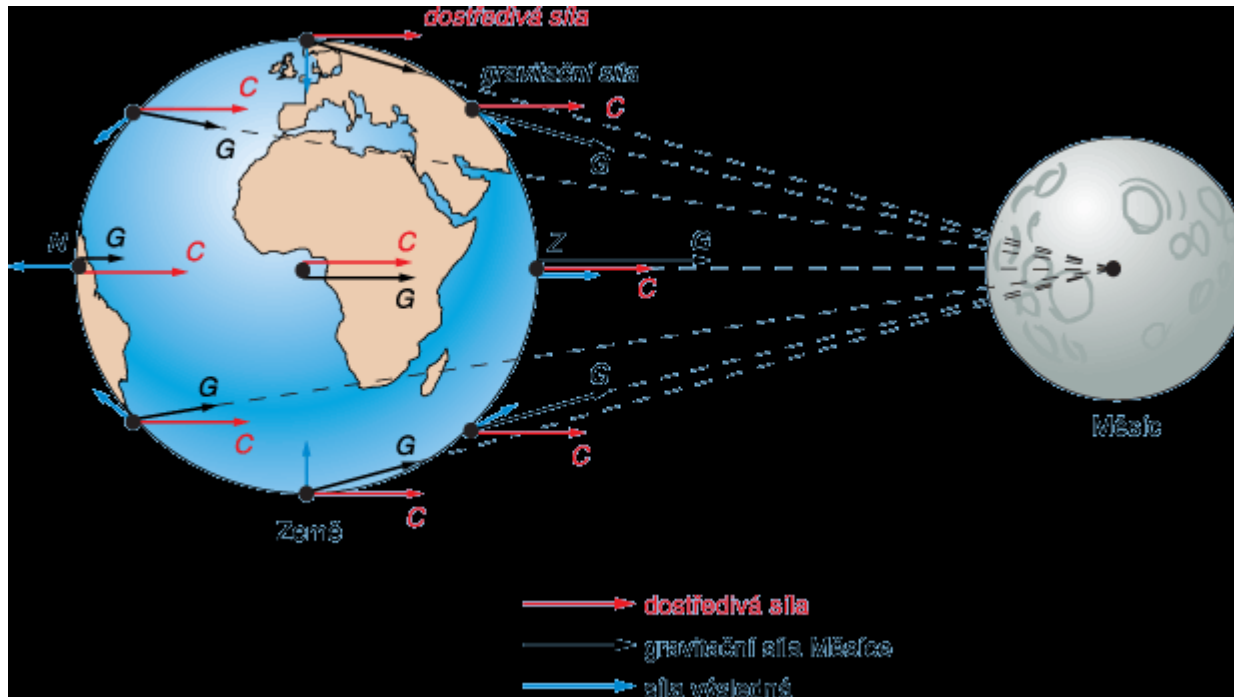
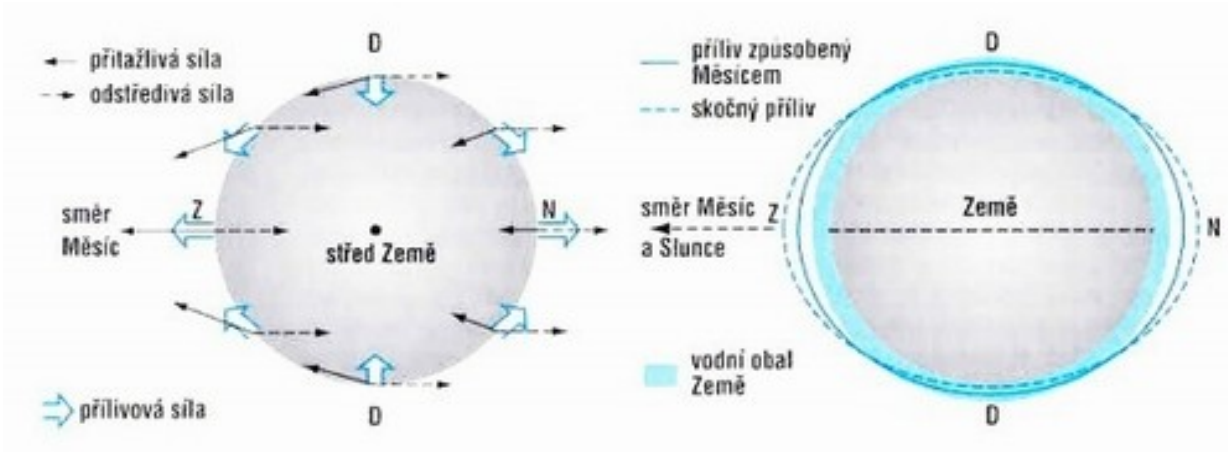
$$F = \kappa \frac{M^* m}{r^2}$$

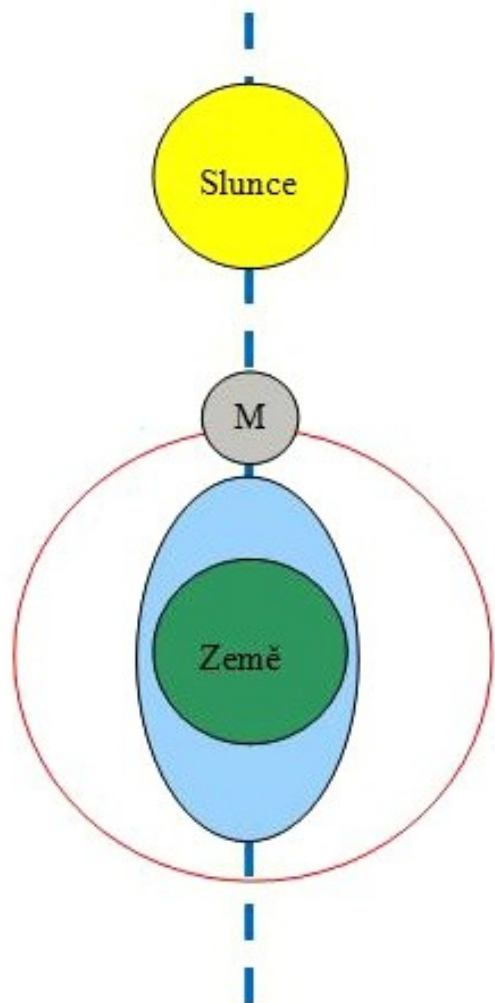
- Problémem ovšem je, že síla F je závislá na hmotnosti vkládaného referenčního tělesa m , tudíž gravitační síla není vhodnou veličinou pro popis gravitačního pole Země. Musíme tedy vycházet z **2. Newtonova pohybového zákona**, který říká, že síla F působící na referenční těleso se musí rovnat součinu hmotnosti sondy m a gravitačního zrychlení g ve vyšetřovaném místě. Tedy $F = g * m$. Porovnáním Newtonova gravitačního a pohybového zákona dostaneme vztah pro velikost gravitačního zrychlení a_g :

$$a_g = \kappa \frac{M}{R^2}$$

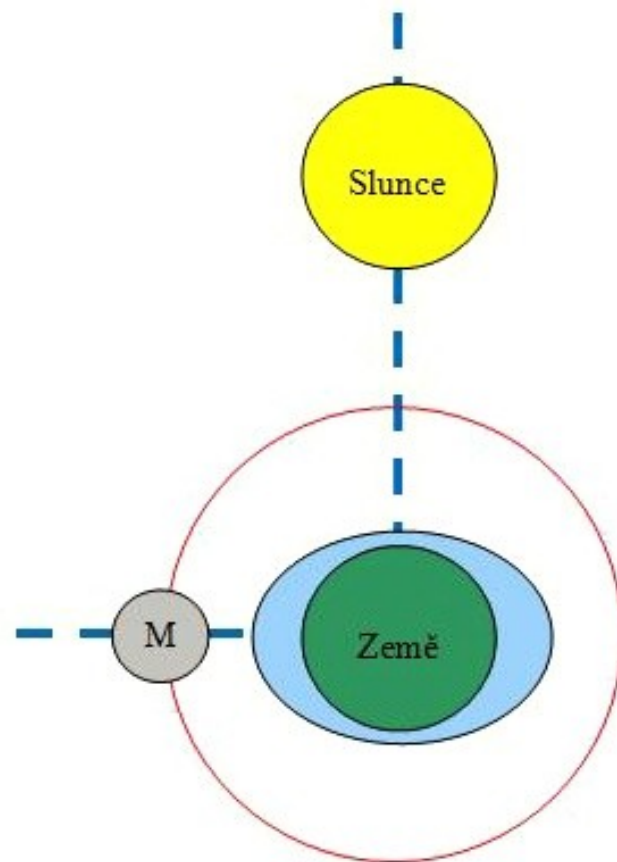


- Pomocí gravimetrie hledáme podpovrchové hustotní nehomogenity.
- mapa reziduálních Bouguerových anomálií. Záporná tíhová anomálie (modrá barva) indikuje pozici historické vodní šachty Vilemína v Lukavici u Chrudimi.





Přiliv a odliv jsou silnější, pokud leží Slunce a Měsíc v jedné přímce – jejich přitažlivé síly se sčítají (za úplňku nebo novu)



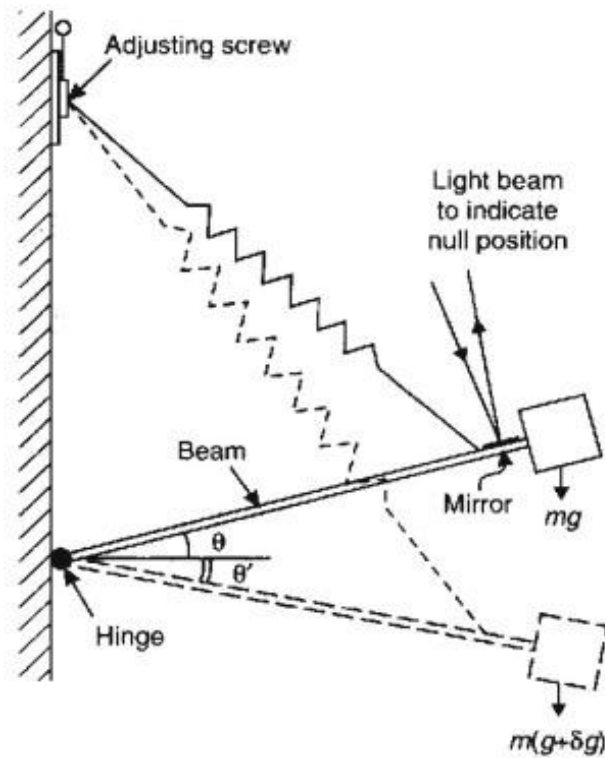
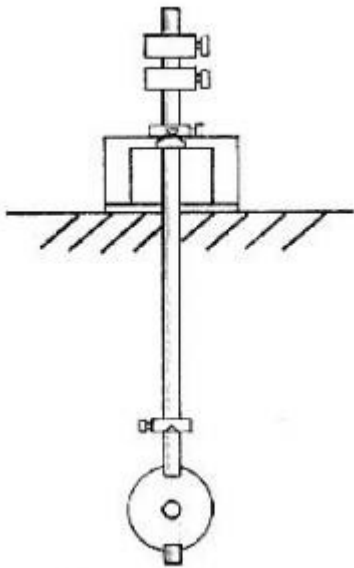
Přiliv a odliv jsou slabší, pokud svírají Slunce a Měsíc vzhledem k Zemi pravý úhel – účinek přitažlivých sil je slabší

Klasická gravimetrie

- Měření lze provádět 2 způsoby :
 - 1) absolutně
 - 2) relativně

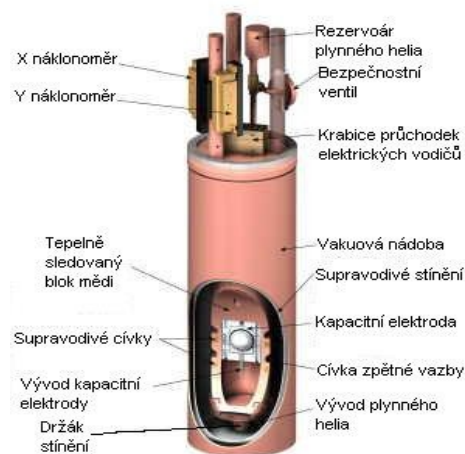
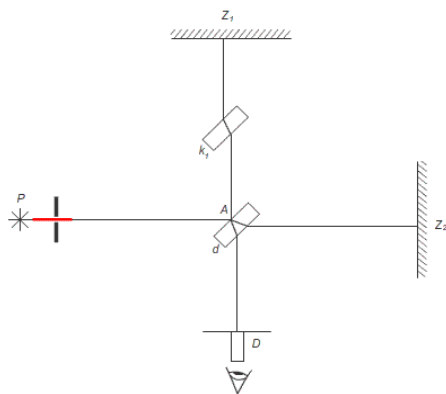


- Katerovo kyvadlo - vratné kyvadlo, pro měření lokálního gravitačního zrychlení
- Strunová gravimetrie – relativní měření, struny nulové délky nepodléhají Hookeovu zákonu s extrémně dlouhými rezonančními dobami oscilace. Nepřesnost je určena γ , hysterézié – potřeba častější kalibrace.



- **Supravodivé gravimetry** – relativní metoda, magnetické pole, gravitační změny kompenzovány elektrostatickou silou udržující těleso na stálé poloze, velká přesnost, stabilita.
- **Gravimetrie využívající volný pád (optická interferometrie)**

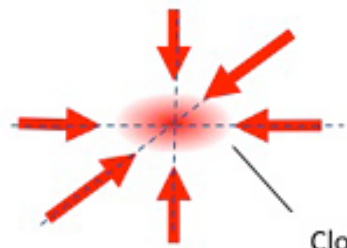
sledování objektu ve volném pádu pomocí interferometrické metody. Je zde nepřesnost vlnové délky laseru, nelze fungovat déle jak týden. Nejpřesnější přístroje jsou nepřenosné. - Zrcadlo na objektu slouží jako jedno z ramen Michelsonova interferometru. Z dat pak získáme g .



Kvantová gravimetrie - principy

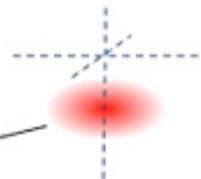
- Matter-wave interferometrie – tvoří základ pro vysoce přesné senzory pro přesné měření gravitačního pole.
- Neutrální hmota je mnohem míň citlivá na rušivé účinky elektrických a magnetických polí a její typická rychlost je mnohem nižší než je rychlost světla – to dovoluje delší interakci na pevném dílkovém spektru.
- De Broglieho vlnová délka. Pro studené atomy (10^{-6}K) – vlnová délka cca 1mikrometr.
- Princip je analogický k optické interferometrii. Vlny atomové hmoty mohou být rozložené, rekombinované, mohou vytvořit interferenční signál.

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

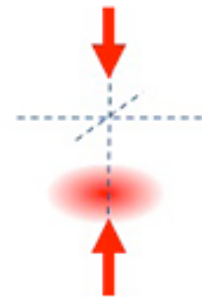


Trapping and cooling

Cloud of cold atoms



Free fall



Gravity measurement

- Optické komponenty:

1) materiální – analogické k Youngovu dvojštěrbinovému interferometru. Vyžadována vysoká kvalita povrchu a přesné umístění.

2) difrakce pomocí světelných polí – pomocí laserové stojaté vlny generované dvěma laserovými paprsky, které se proti sobě šíří – vytvářejí v podstatě difrakční mřížku. Mnohem více laditelné – možno měnit fázi, intenzitu, hustotu difrakční mřížky.

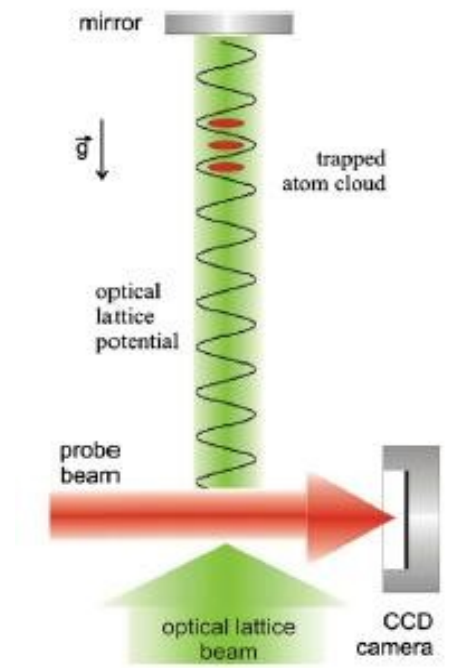
Gravimetrie založená na Ramanově atomové teorii

- Jedná se o separaci a odraz atomového vlnového klubka pomocí Ramanova přechodu.
- Každý atom je popsán vnitřním stavem a vnějším momentem setrvačnosti. Dva proti sobě se šířící paprsky se s opačnými vektory šíření, jejichž rozdíl frekvencí je rezonanční atomovým dvou stupňovým systémem (předpoklad – atom má pouze dva stupně základního stavu) může vyvolat Ramanův přechod.
- Tímto lze separovat a skládat vlnu dle povahy pulzu neboť pokud měníme vnitřní stav systému, mění se i hybnost (to je důsledek Z.Z. v systému atom+foton).
- Po složení je výsledkem oscilační funkce dráhového rozdílu závisující na gravitačním zrychlení.

Gravimetrie založená na Blochových oscilacích

- Z fyziky pevných látek
- Popisují oscilaci částice, na níž působí konstantní síla
- Máme dva proti sobě jdoucí laserové paprsky – ty vytvářejí difrakční mřížku. Tato pravidelná struktura vytváří periodický potenciál a slabou sílu, kterážto produkuje Blochovy oscilace, jejichž periodu můžeme měřit.
- Blochova oscilace je závislá na g .

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



Konec

Děkuji za pozornost.

Zdroje

- <http://www.geofyzika.ic.cz/gravi.php>
- http://geophysics.ou.edu/enviro/readings/microgal_gravimetry.html
- <http://www.muquans.com/index.php/products/aqg>
- Wikipedia.org