

Geofyzikálne aparatúry - gravimetria

Témy:

- základné delenie prístrojov:
 - absolútne a relatívne gravimetre
- fyzikálne princípy pre absolútne meranie g
- absolútny gravimeter FG5 a FG5-X (firma Micro-g)
- fyzikálne princípy pre relatívne meranie g
- staršie relatívne gravimetre
- gravimeter LaCoste & Romberg
- gravimetre typu Autograv CG-3, CG-5, CG-6
(firma Scintrex)

absolútne gravimetre

laboratórne,
vyššia presnosť:
0.001 mGal,
voľný pád,
pomalšie (hodiny)

Micro-g FG-5



relatívne gravimetre

terénne,
nižšia presnosť:
0.01-0.005 mGal,
pružinový systém
rýchlejšie (minúty)



Scintrex CG-5

absolútne gravimetre

relatívne gravimetre

Pod pojmom presnosť väčšinou chápeme vonkajšiu presnosť (tzv. opakovateľnosť meraní).

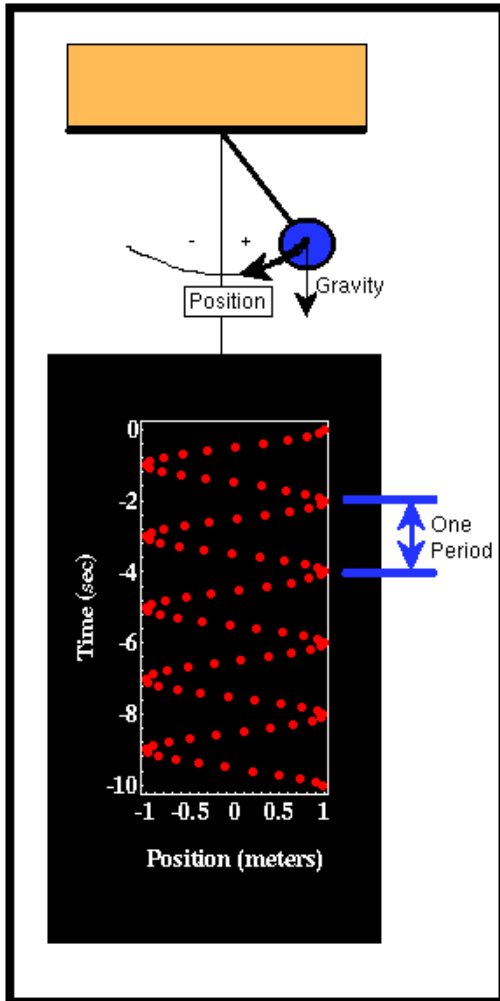
Vnútoraná presnosť je rozlíšenie, sa akým je prístroj schopný zaznamenať danú hodnotu g.

Táto je vždy nižšia ako vonkajšia presnosť.

Absolútne gravimetre

Fyzikálne princípy pre absolútne merania g

a) matematické kyvadlo:



Doba kyvu matematického kyvadla s dĺžkou l nezávisí od hmotnosti objektu m na jeho konci:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$$

Kyvadlové prístroje patrili medzi úplne prvé gravimetre.

Používali sa od 17. storočia (F. Bacon, J. Richer) až do konca 20. storočia.

Fyzikálne princípy pre absolútne merania g

b) voľný pád:

Voľný pád je pohyb voľne pusteného telesa v blízkosti Zeme vo vákuu. Je to priamočiary rovnomerne zrýchlený pohyb (zvislo nadol) s nulovou počiatočnou rýchlosťou a s tiažovým zrýchlením g .

Pre rýchlosť a dráhu pri voľnom páde platia nasledovné vzťahy:

$$v = g \cdot t, \quad s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

Tento vzťah platí pre prípad s nulovou začiatočnou rýchlosťou ($v_0 = 0$) a pre nulovú začiatočnú úroveň pohybu ($s_0 = 0$).

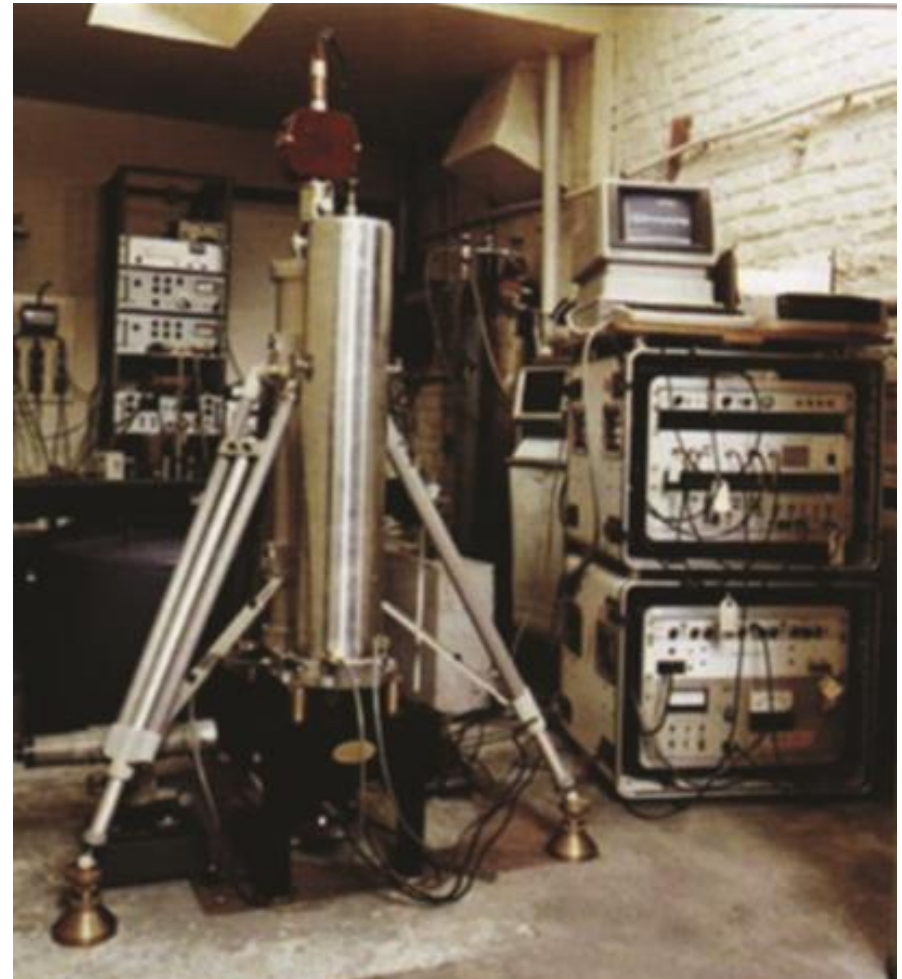
Hlavne však platí pre tzv. homogénne tiažové pole.

Pre nehomogénne tiažové pole je však situácia omnoho zložitejšia a matematické riešenie vedie ku diferenciálnym rovniciam 2. rádu, ktoré sa riešia numerickou aproximáciou pomocou metódy najmenších štvorcov (je potrebné mať k dispozícii množstvo zmeraných údajov).



Absolútny gravimeter JILAg (predchodca FG5)

Americký fyzici J.A. Hammond a J.E. Faller začali v 70ich rokoch 20. storočia vyvíjať sériu špičkových absolútnych gravimetrov (JILAg 1 - 7), ktoré potom prevzala firma Micro-g Solution, Colorado-Boulder. Prvá verzia bola FG-L, neskôr FG5 a FG5-X.



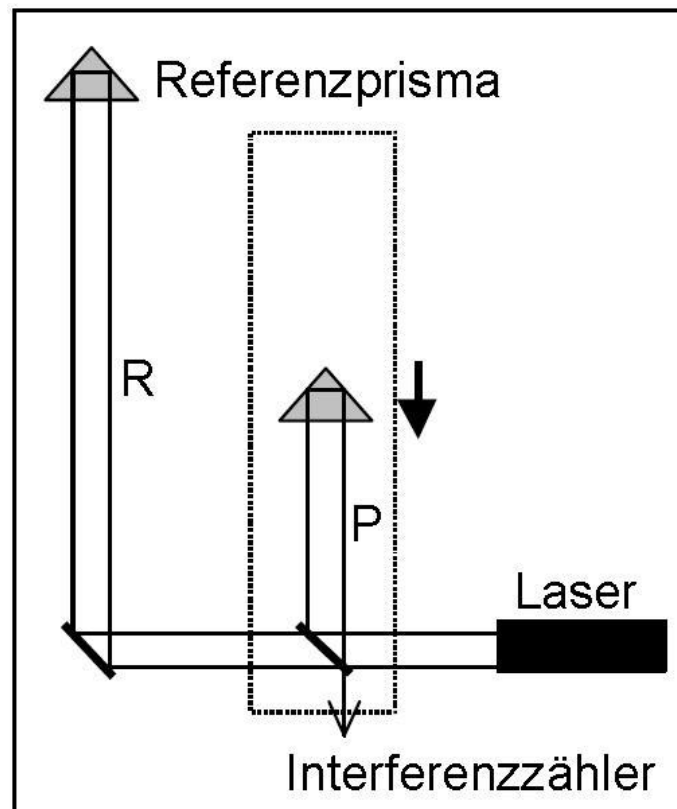
Absolútny gravimeter FG5 a FG5-X (Micro-g)

stavba prístroja:

- padajúci objekt (hranol, prizma)
- laser (stabil. I-He-Ne)
(vlnová dĺžka $\lambda = 632.8 \text{ nm}$)
- referenčný hranol (prizma)
- tzv. Michelsonov interferometer
- vysoko presné atómové hodiny (Rb)

princíp merania:

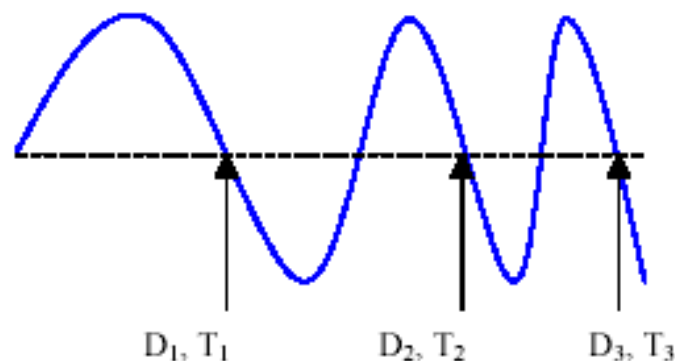
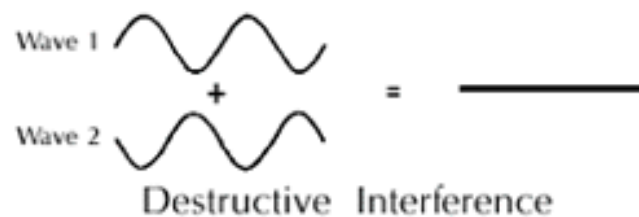
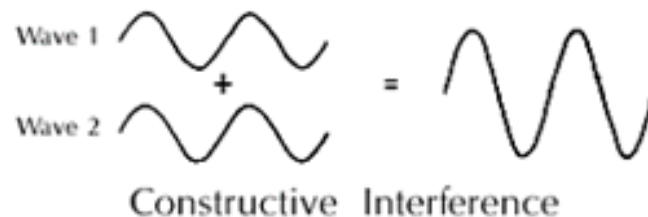
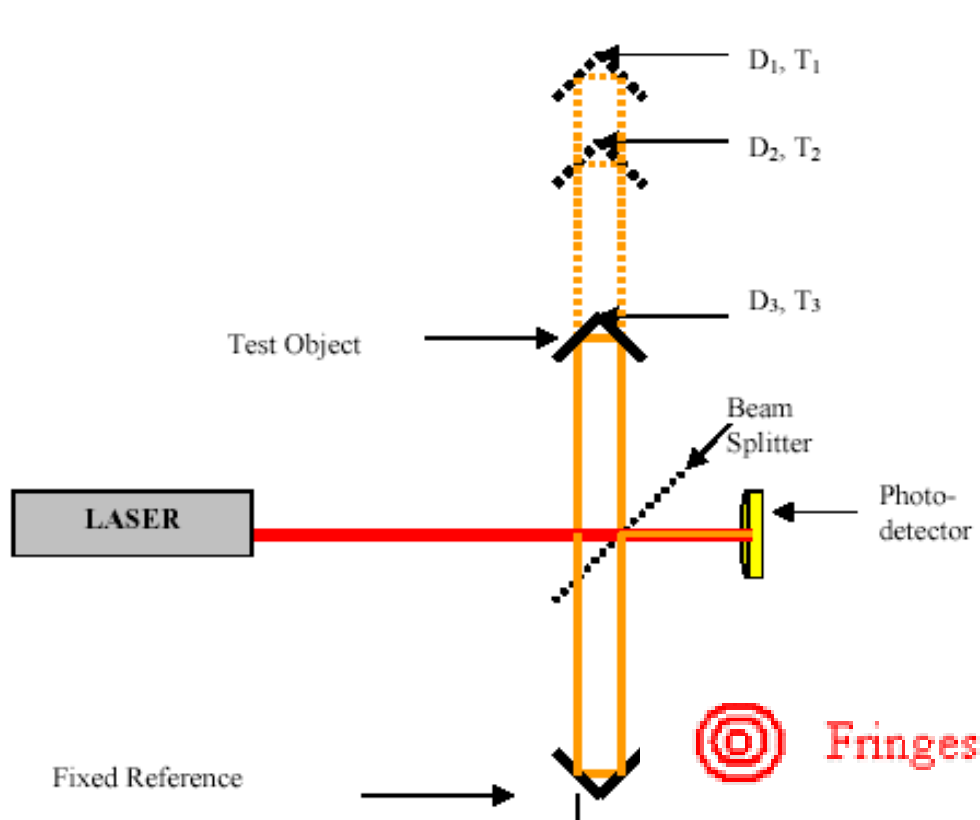
- meria sa čas, za ktorý padajúci hranol prekoná určitú vzdialenosť, meranú pomocou laseru (interferencie dvoch lúčov R a P – viacej na ďalšom snímku),
- v priestore pádu je silné vákuum a čas sa meria s vysokou presnosťou (pod 10^{-9} s) pomocou atómových hodín,
- celý systém je odtlmený od otrasov a mikroseizmických udalostí pomocou špeciálne upraveného systému pružín.



**na získanie akceptovateľnej hodnoty sa musí realizovať niekoľko stoviek pádov (v rámci každého pádu sa registuje prechod cez niekoľko úrovní),
priemerný rozptyl hodnôt: ± 50 až $200 \mu\text{Gal}$
vnútorná presnosť: $\pm 1 \mu\text{Gal}$**

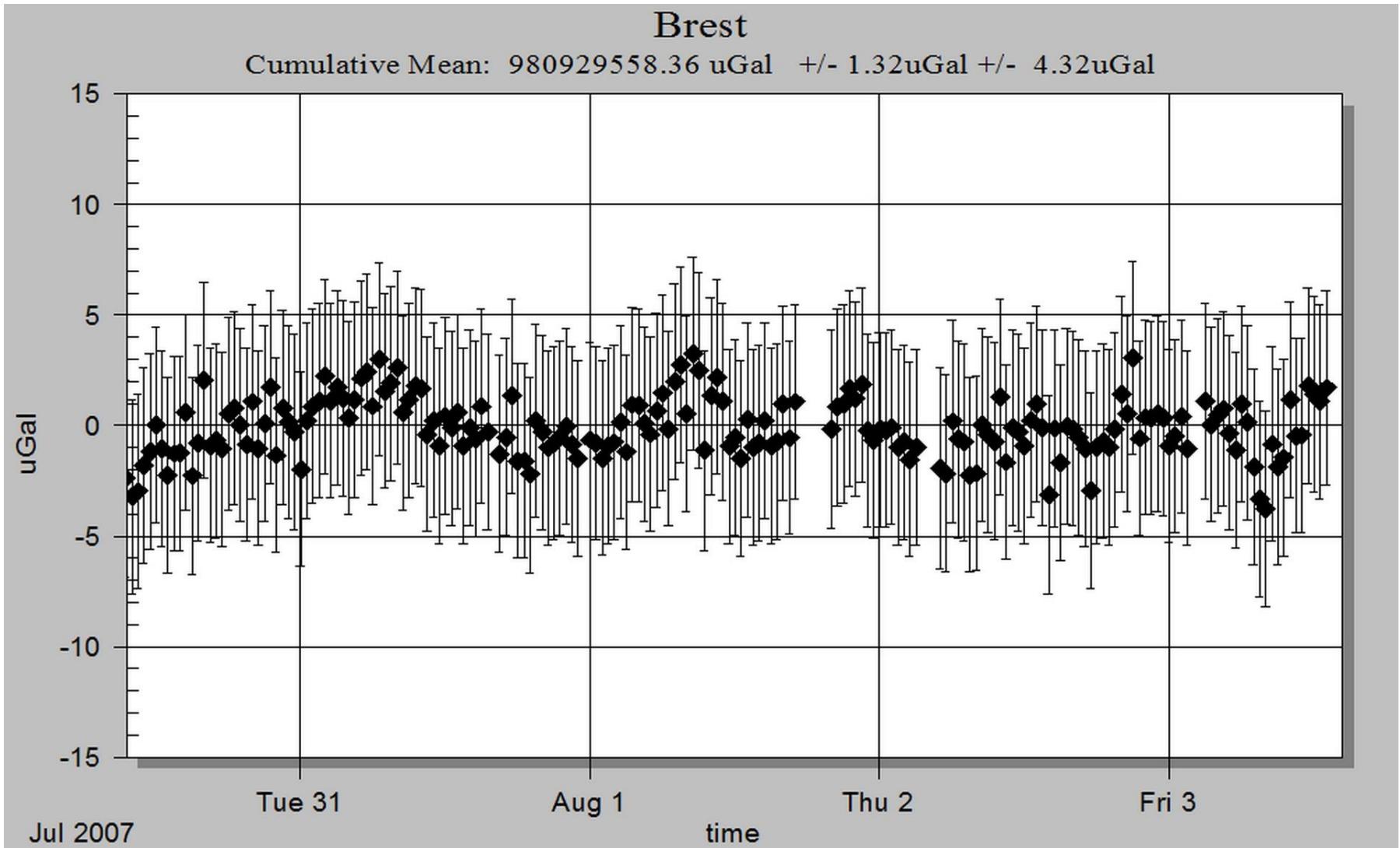
Absolútny gravimeter FG5 a FG5-X (Micro-g)

Michelsonov – interferometer: jeden z najlepších spôsobov merania vzdialenosti „na krátke trate“.



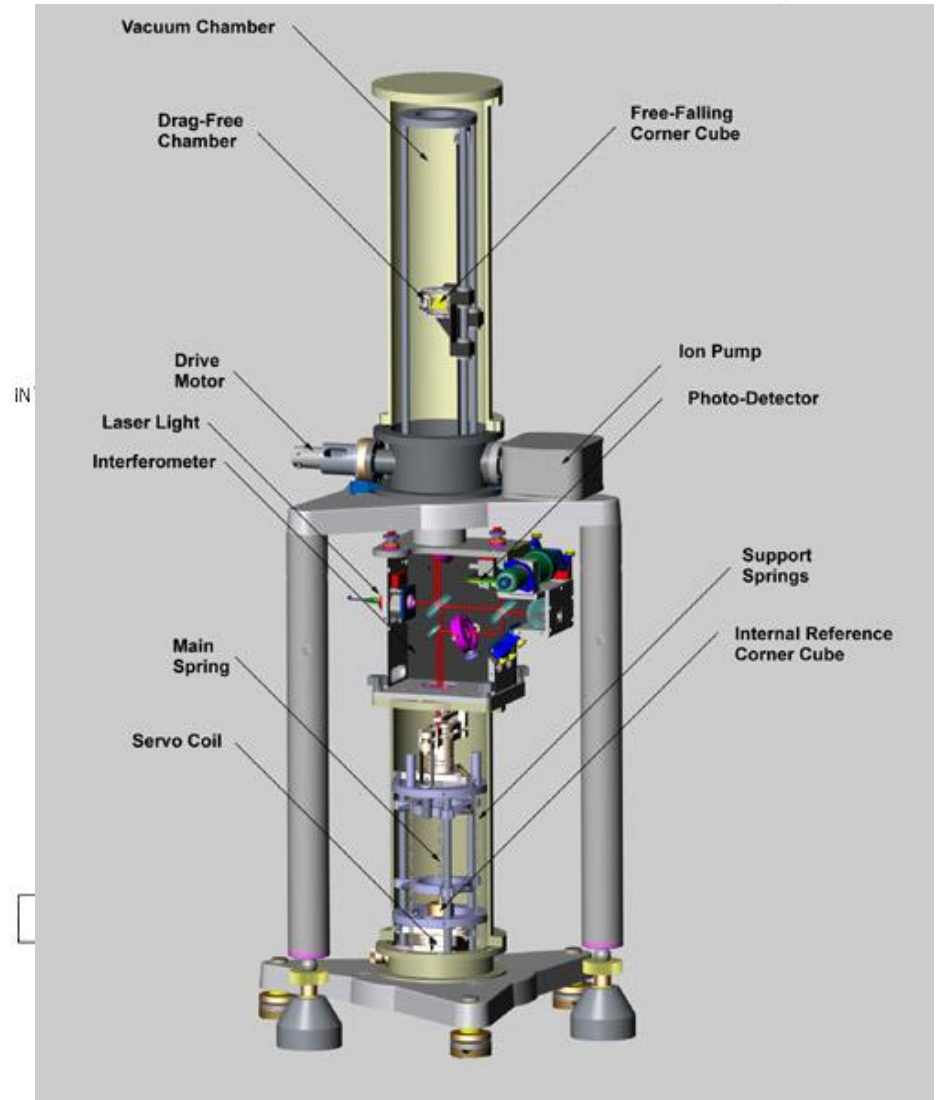
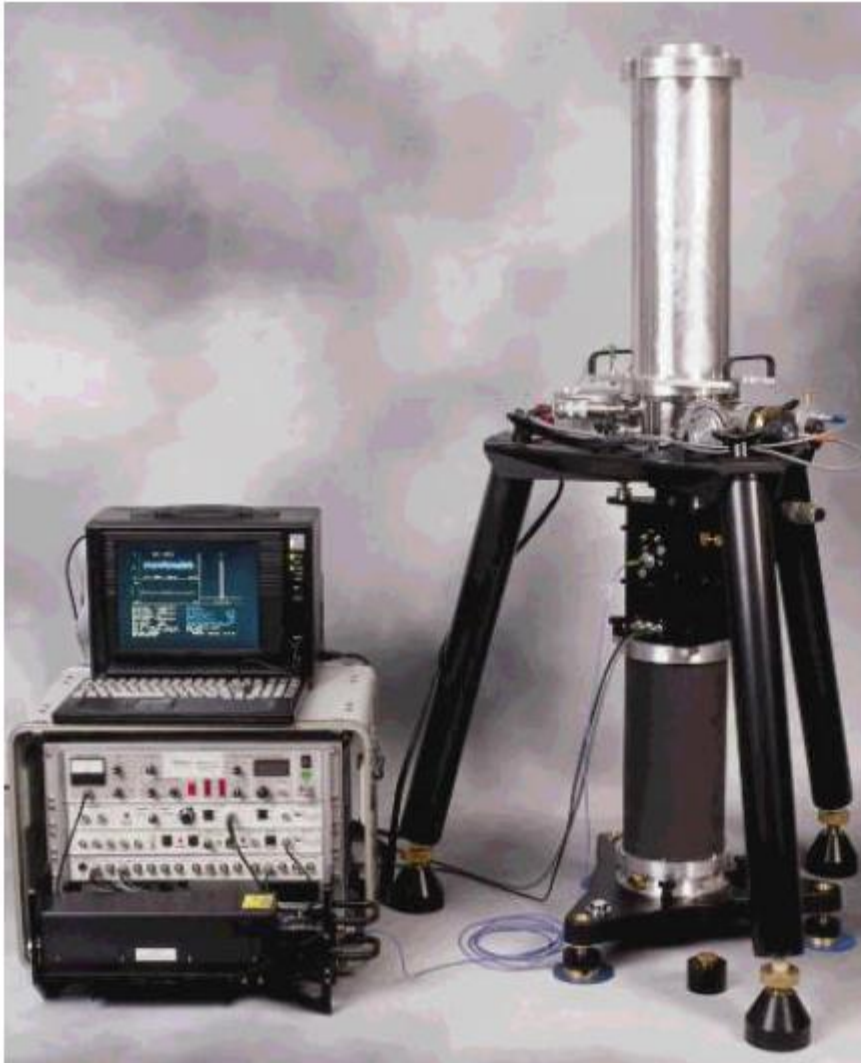
na dosiahnutie presnosti $1\mu\text{Gal}$, je potrebné pri tomto type pokusu merať čas s presnosťou $\pm 0.1\text{ ns}$

Absolútny gravimeter FG5 a FG5-X (Micro-g)



príklad tzv. kumulatívnych meraní s FG5 na identickom bode počas viacerých dní

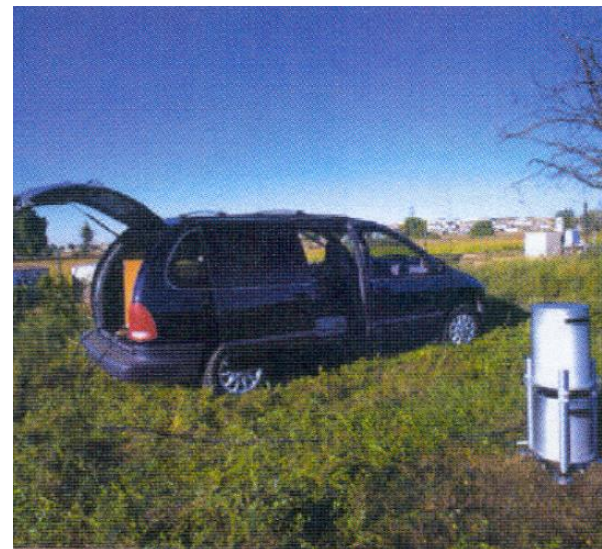
Absolútny gravimeter FG5 a FG5-X (Micro-g)



Absolútny gravimeter A-10 (Micro-g)

- prvý terénny absolútny gravimeter

príst. prístr.	presnosť [μGal]	tepl. interval [$^{\circ}\text{C}$]	práca vonku
FG-L	± 10	15 až 30	
A-10	± 10	-20 až +35	X
FG-5	± 1	15 až 30	



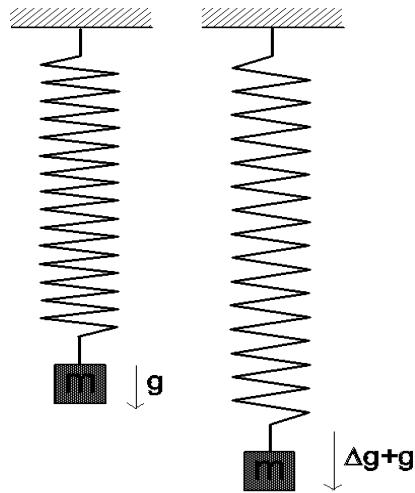
Relatívne gravimetre

Fyzikálne princípy pre relatívne merania g

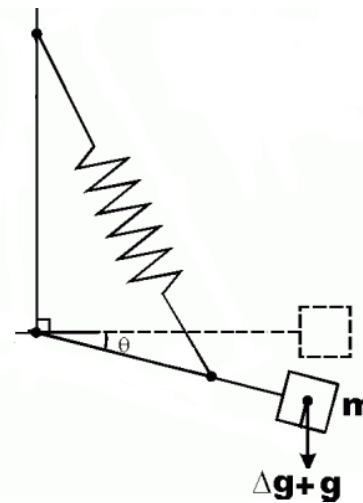
a) statický princíp:

- založený na pôsobení tiažovej sily na predmet s hmotnosťou m a jej následnej kompenzácií pomocou pružiny (kovovej, kremennej),
- lineárne systémy (vert. pružina) a nelineárne (astazované) systémy,
- meraná veličina: otáčky skrutky meracej pružiny,
- prístroje sú nakalibrované na jednotky [mGal].

symbolické zobrazenie princípu merania:



vertikálna pružina
(lineárny systém)

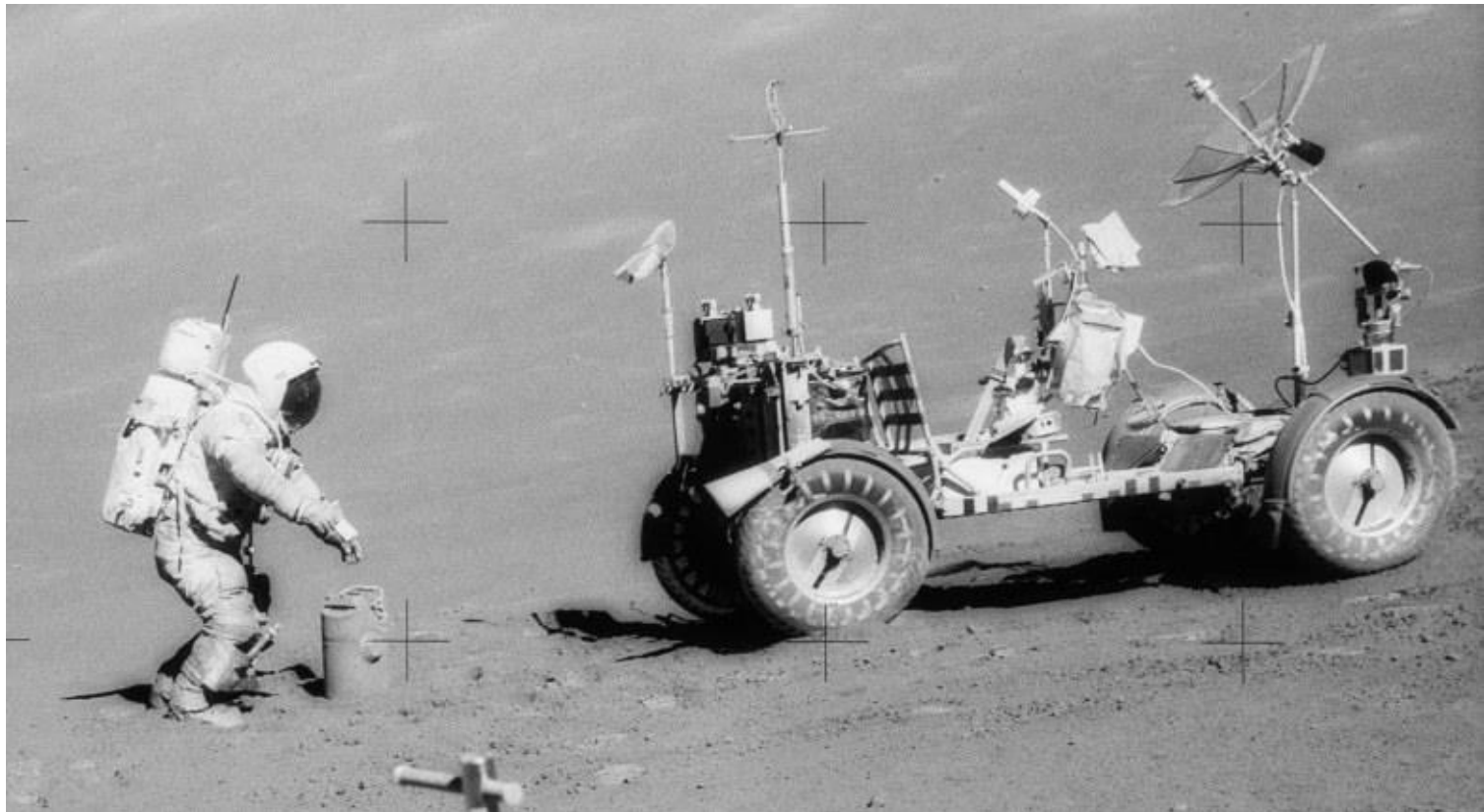


tzv. torzná váha
(väčšinou astazovaný s.)

Fyzikálne princípy pre relatívne merania g

b) dynamický princíp:

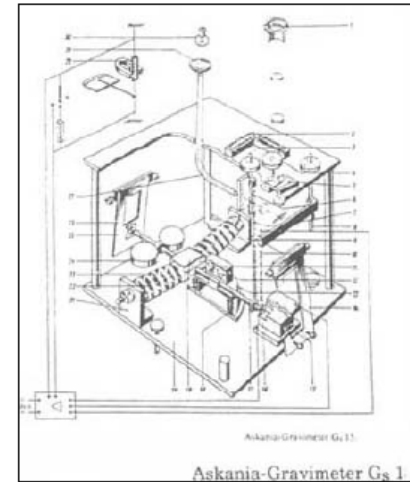
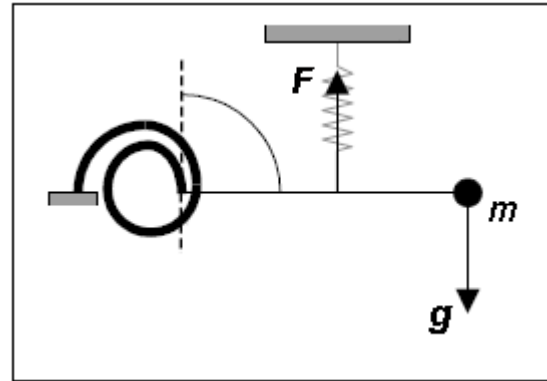
- založený na meraní frekvencie kmitajúcej pružiny, ktorá je funkciou Δg ,
- pri terénnych meraniach sa až tak nepresadili (nižšia presnosť, väčšia hmotnosť oproti statickým gravimetrom),
- ale boli použité pri meraniach zrýchlenia na Mesiaci.



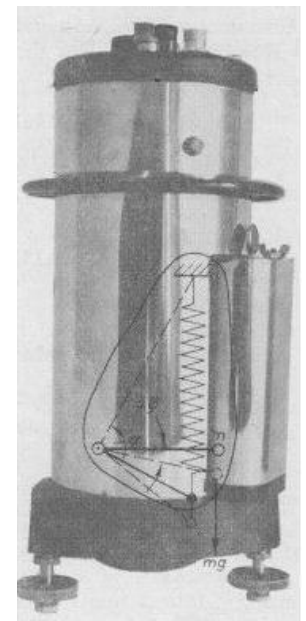
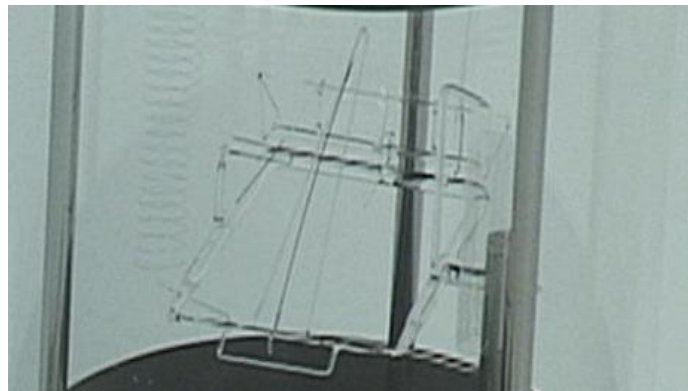
Relatívny pružinový gravimeter Askania a Worden

Úplne prvé prístroje tohto typu: Gulf und Hoyt (1932-35) a Romberg (1931)

Askania - statický gravimeter,
kovová pružina +
torzná pružina



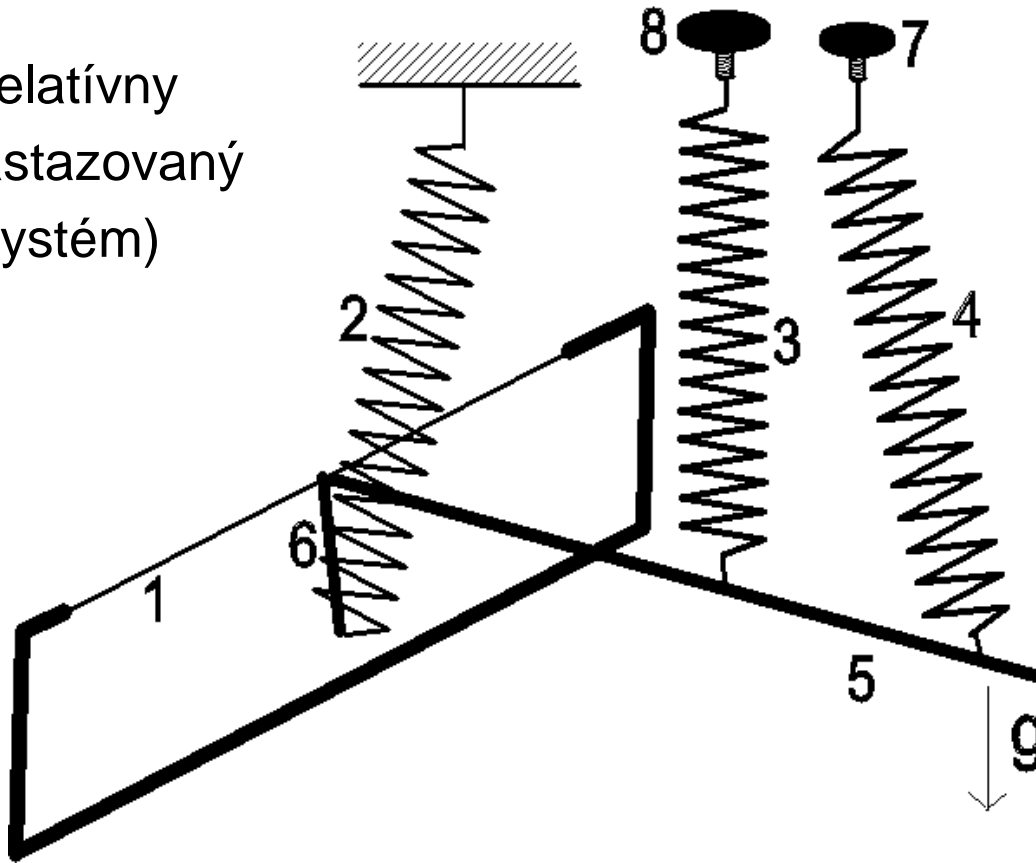
Worden - astatický gravimeter,
kremenné pružiny (aj tzv. astazujúca pružina),
presnosť: ± 0.01 mGal (tzv. stotinkový gravimeter)



Relatívny pružinový gravimeter Scintrex CG-2 (Sharpe)

(relatívny
astazovaný
systém)

(prevzatý aj do prístroja Sodin)

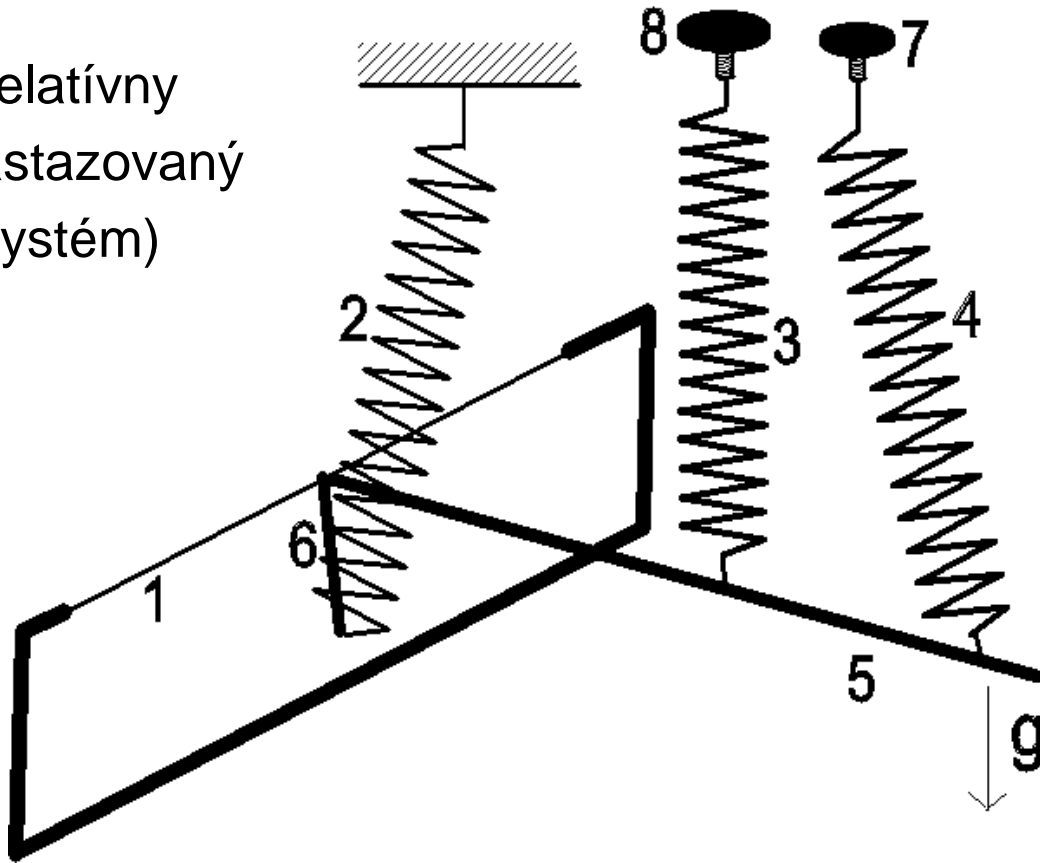


- 1 – torzné vlákno
- 2 – astazujúca (zvýrazňujúca) pružina
- 3 – rozsahová pružina
- 4 – meracia pružina
- 5 - vahadlo

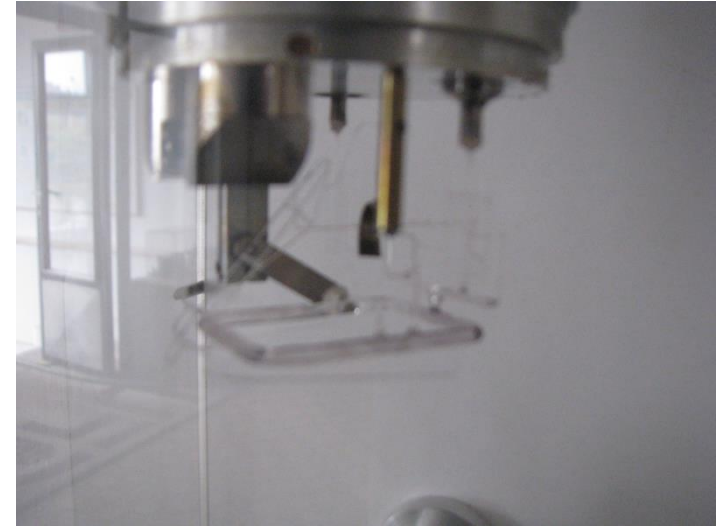


Relatívny pružinový gravimeter Scintrex CG-2 (Sharpe)

(relatívny
astazovaný
systém)



(prevzatý aj do prístroja Sodin)



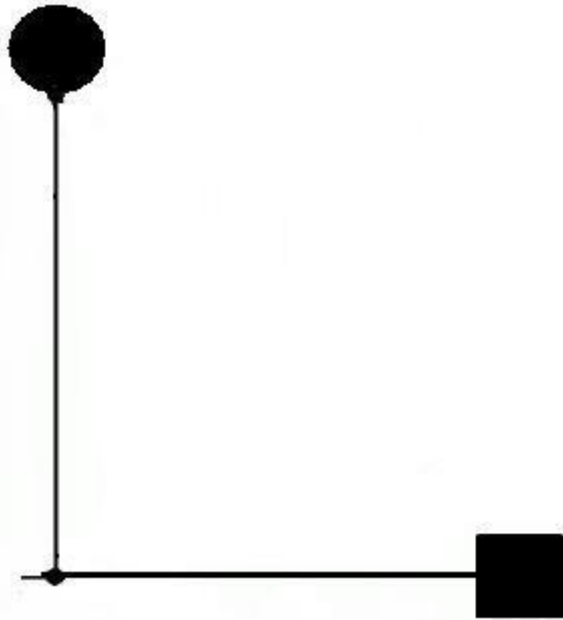
- 1 – torzné vlákno
- 2 – astazujúca (zvýrazňujúca) pružina
- 3 – rozsahová pružina
- 4 – meracia pružina
- 5 - vahadlo



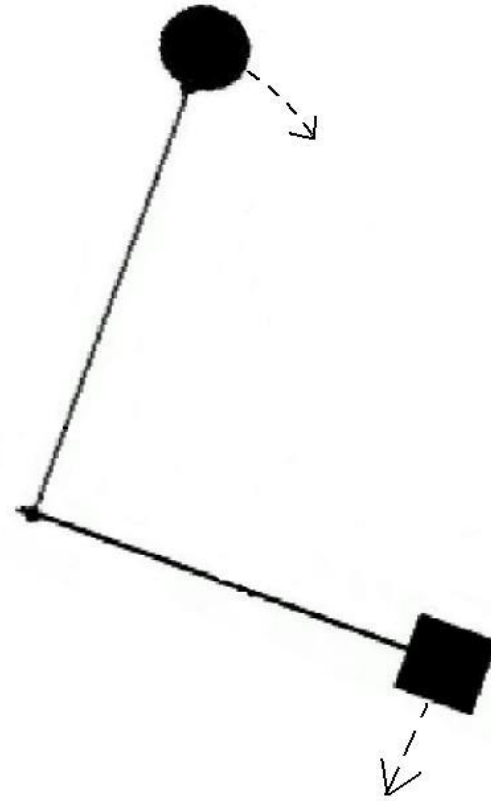
Relatívny pružinový gravimeter Scintrex CG-2 (Sharpe)

Princíp astázie (zvýrazňovania):

horizontálna poloha
(stabilná)



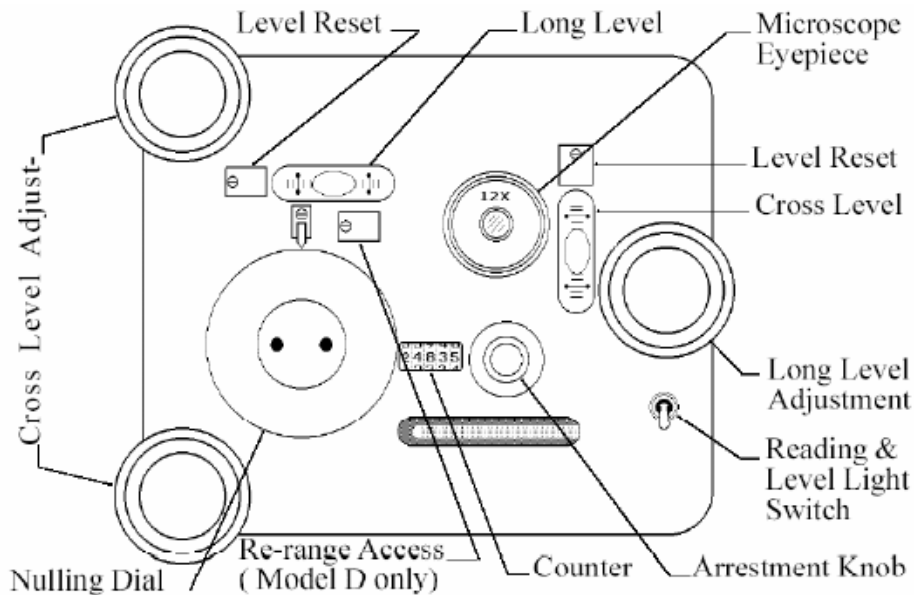
naklonená poloha
(nestabilná)



Relatívny gravimeter LaCoste&Romberg

LaCoste and Romberg gravimeter (LCR)

astazovaný systém, kovová pružina



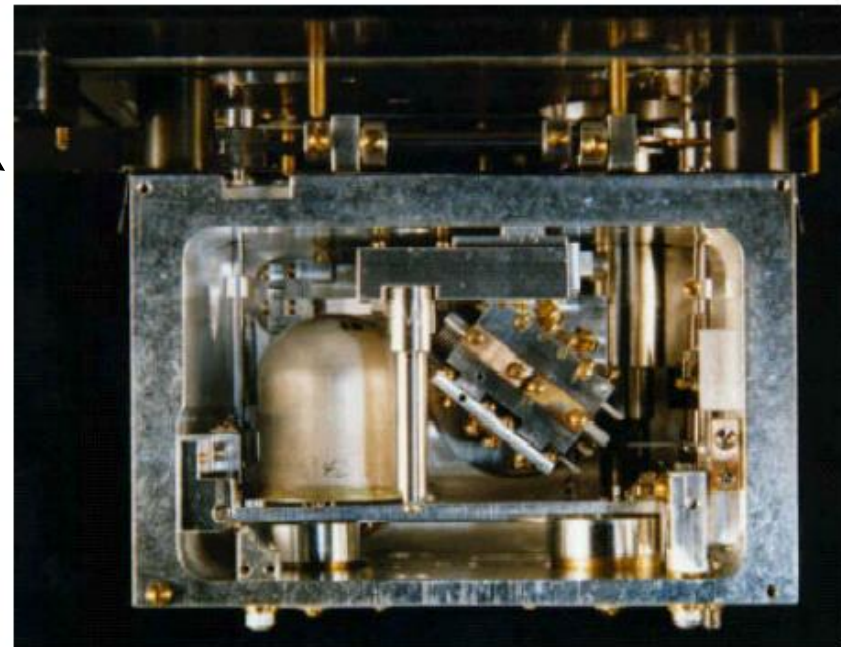
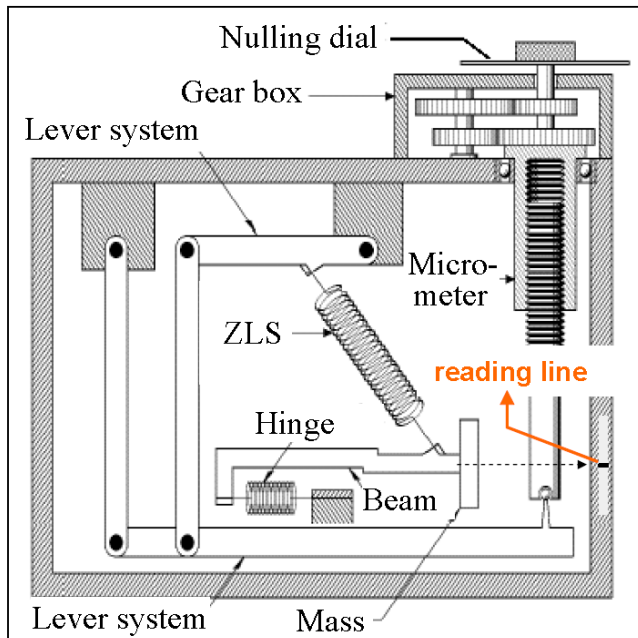
modely D a G:

D – rozsah: 2000 mGal, presnosť: $\pm 5 \mu\text{Gal}$

G – rozsah: 7000 mGal, presnosť: $\pm 10 \mu\text{Gal}$

Relatívny gravimeter LaCoste&Romberg

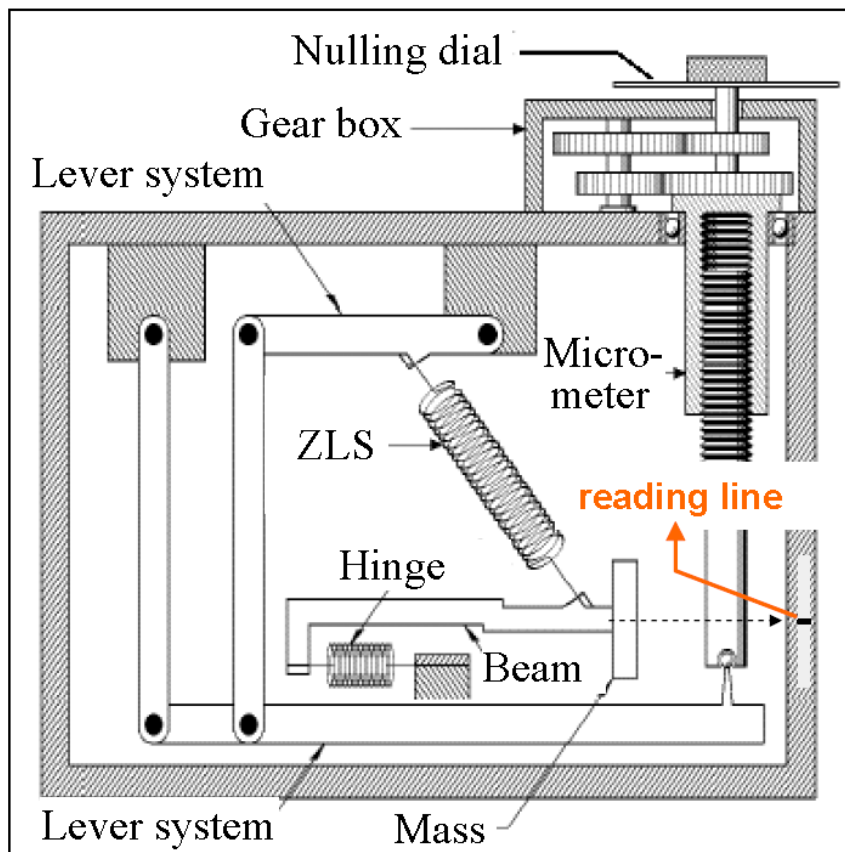
LaCoste and Romberg gravimeter (LCR)
astazovaný systém, kovová pružina



na odtlmenie mikroseizmických a iných
otrasov a chvenia – tzv. koncepcia **ZLS**
(Zero Length Spring)

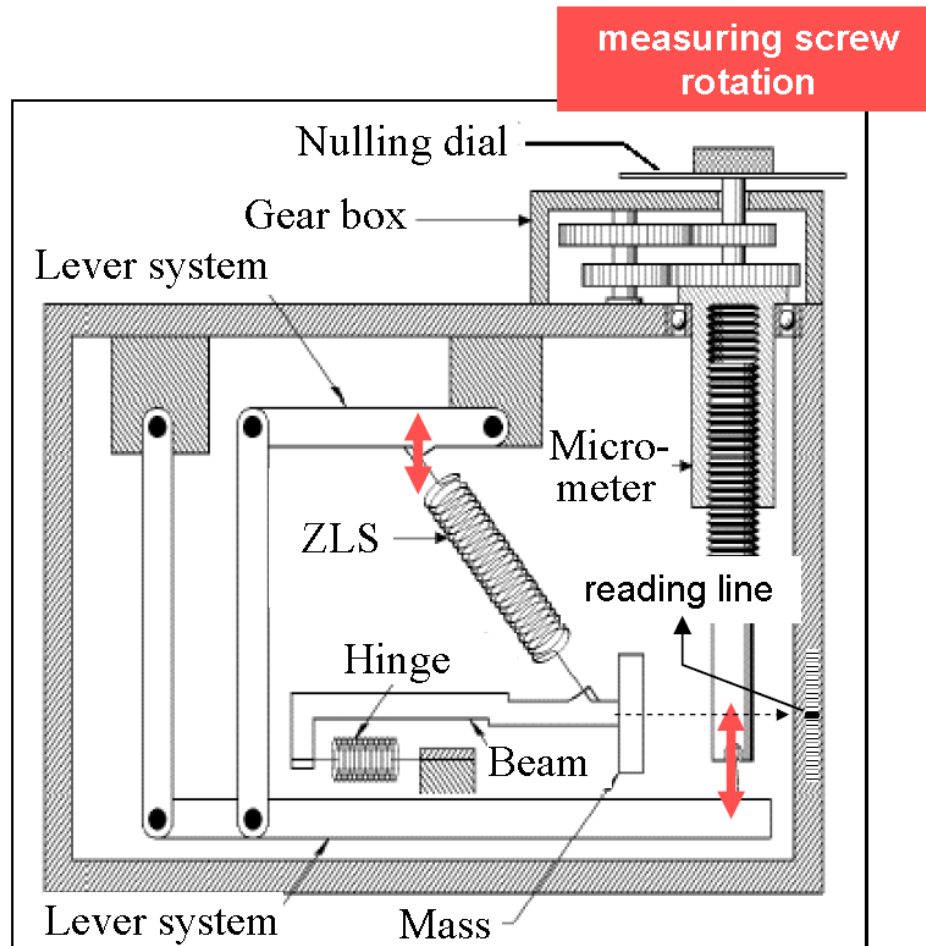
Relatívny gravimeter LaCoste&Romberg

princíp merania (1/2)



Relatívny gravimeter LaCoste&Romberg

princíp merania (2/2)



Relatívny gravimeter ZLS Burris

pokračovateľ LaCoste and Romberg; mierne vylepšenia
(ale hlavne iná firma...)



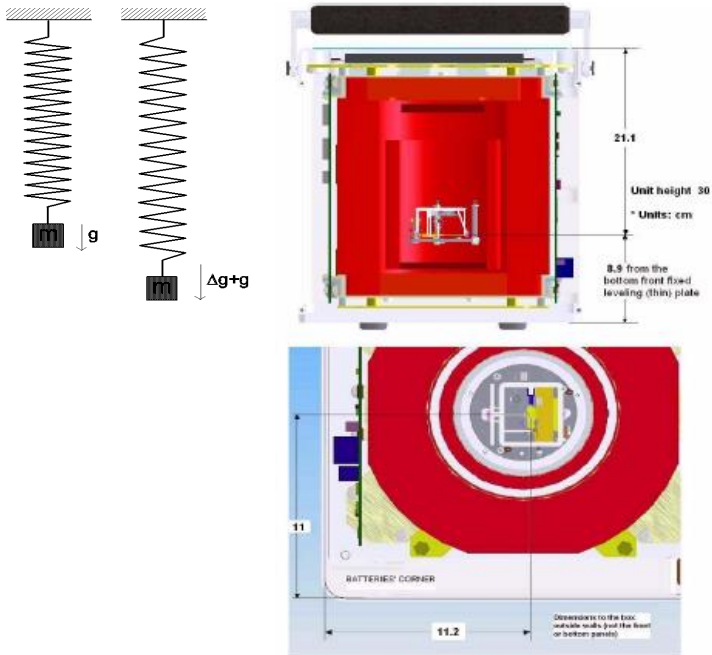
rozsah: 7000 mGal, presnosť: $\pm 2 \mu\text{Gal}$

Relatívne gravimetre Scintrex CG-3 až CG-6

Scintrex CG-3, CG-5 a CG-6

lineárny systém,

s vertikálnou kremennou pružinou



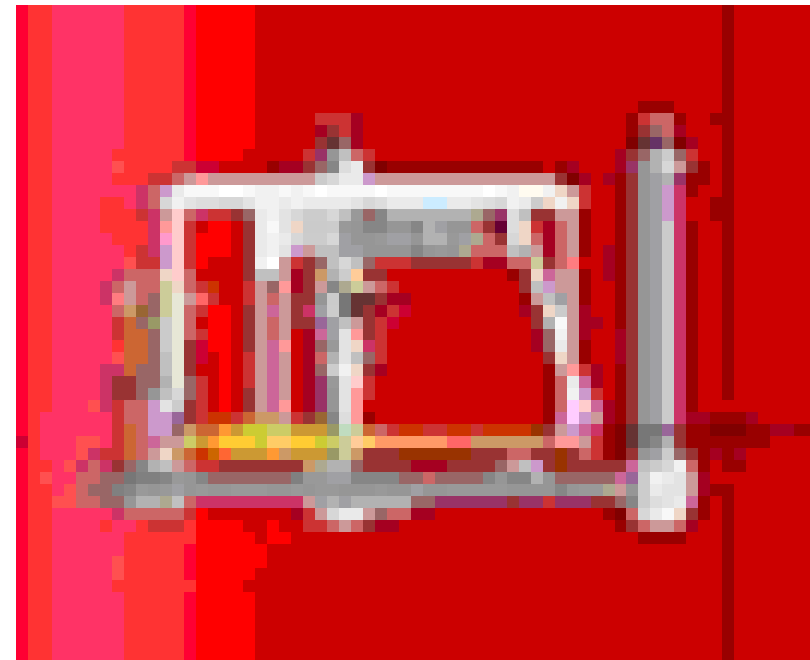
CG-3M



CG-5



CG-6



CG-3: 1990-2000, vnút. presnosť: $\pm 5 \mu\text{Gal}$

CG-3M: 1993-2000, vnút. presnosť: $\pm 1 \mu\text{Gal}$

CG-5: 2001-2017, vnút. presnosť: $\pm 1 \mu\text{Gal}$

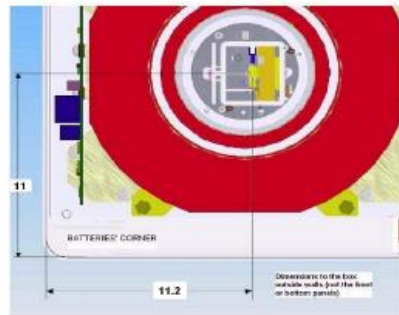
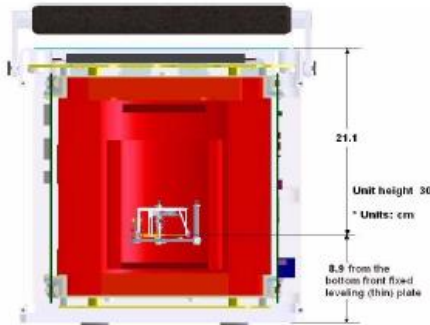
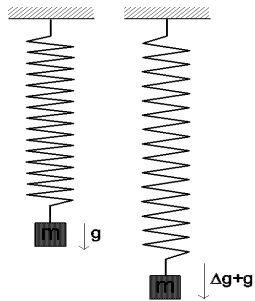
CG-6: 2017-súčasnosť, vnút. presnosť: $\pm 1 \mu\text{Gal}$

Relatívne gravimetre Scintrex CG-3 až CG-6

Scintrex CG-3, CG-5 a CG-6

lineárny systém,

s vertikálnou kremennou pružinou



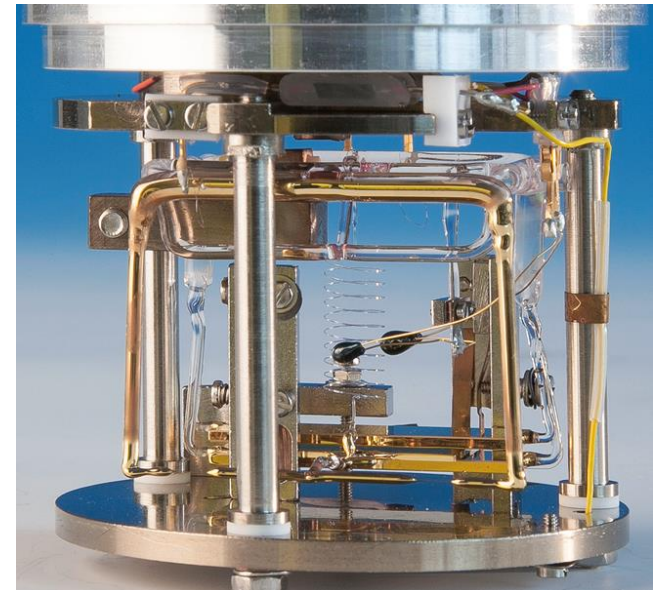
CG-3M



CG-5



CG-6

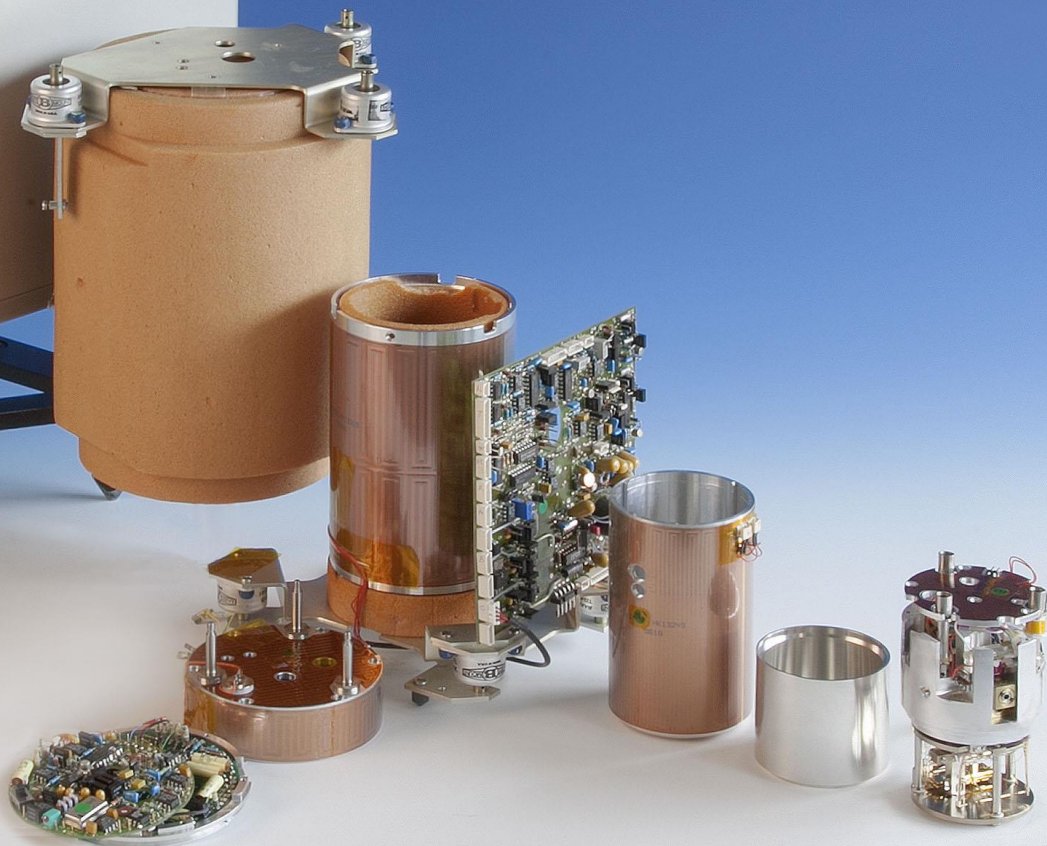


CG-3: 1990-2000, vnút. presnosť: $\pm 5 \mu\text{Gal}$

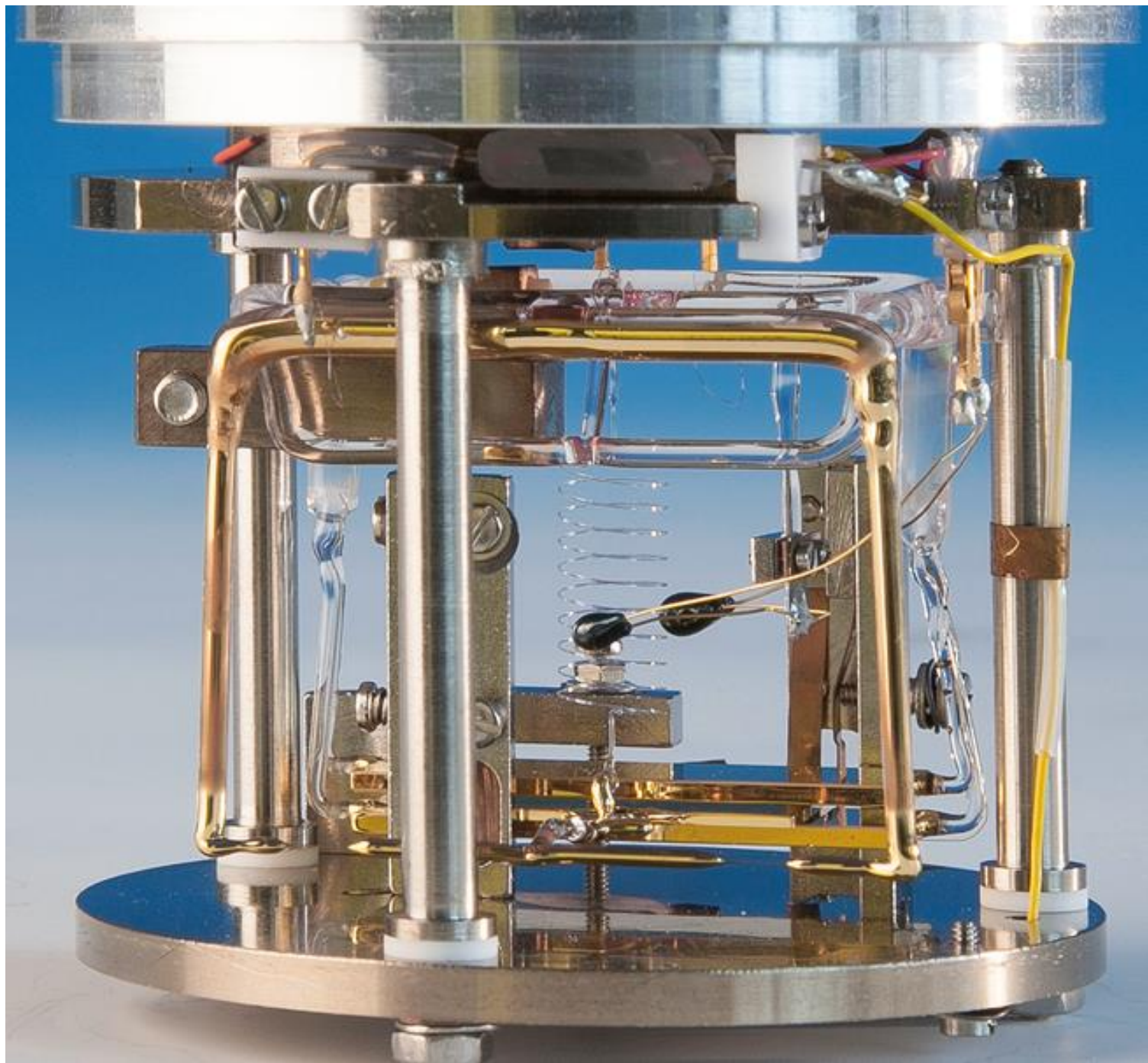
CG-3M: 1993-2000, vnút. presnosť: $\pm 1 \mu\text{Gal}$

CG-5: 2001-2017, vnút. presnosť: $\pm 1 \mu\text{Gal}$

CG-6: 2017-súčasnosť, vnút. presnosť: $\pm 1 \mu\text{Gal}$



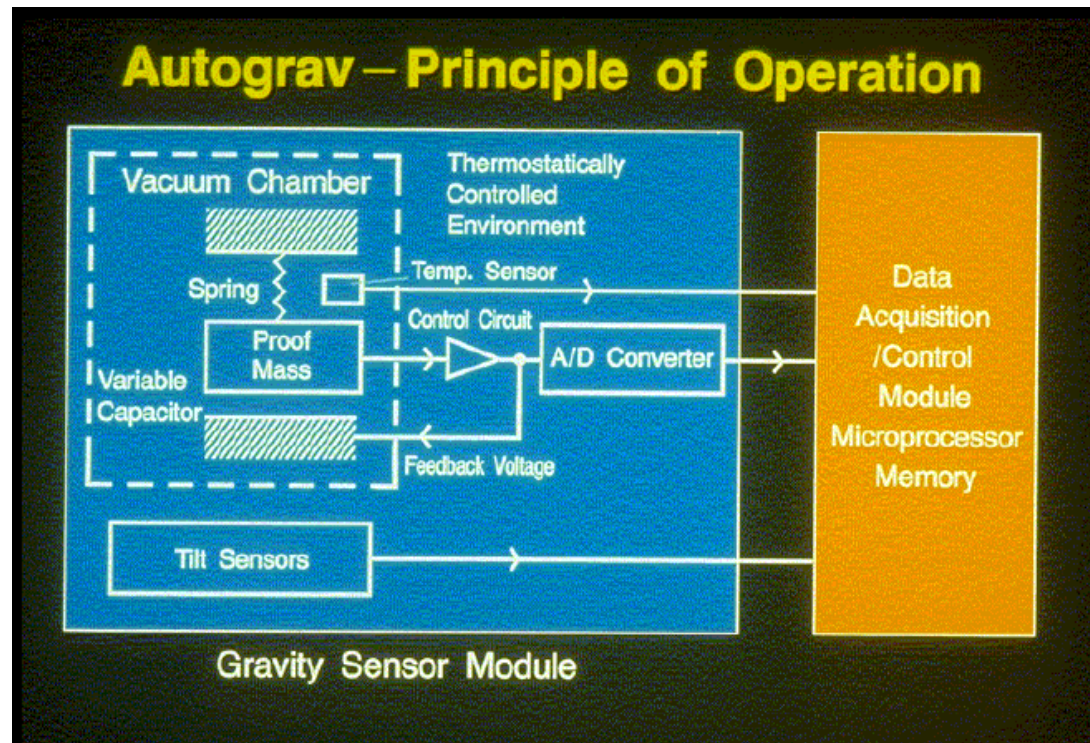
SCINTREX
Autograv
CG-3M Automated Gravity Meter



Relatívne gravimetre Scintrex CG-3 až CG-6

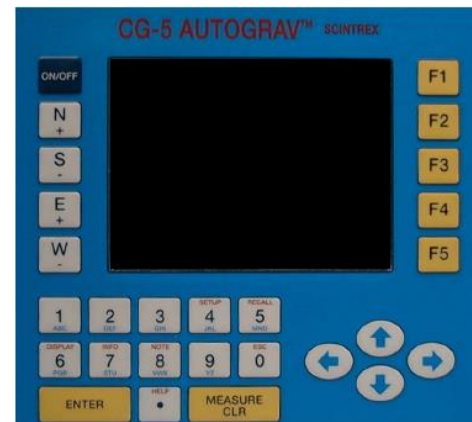
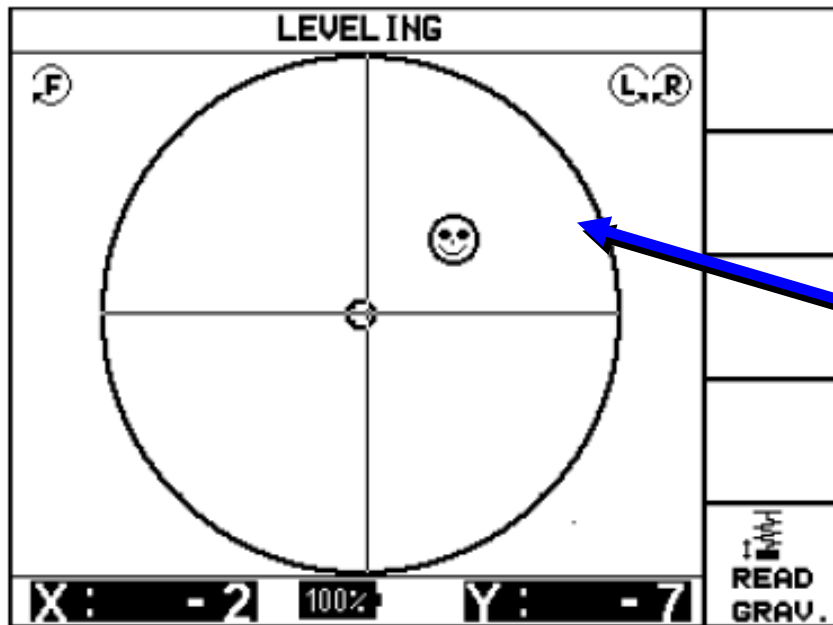
merací princíp:

- hmotnosť m (zavesená na konci vert. pružiny) tvorí časť kondenzátora a cez tzv. feedback-system (zmenou elektr. napätia) je umiestnená do svojej nulovej polohy,
- tento proces je možné opakovať až 6 krát za sekundu,
- meraná hodnota je teda elektrické napätie (mV), ktoré je prevedené na jednotky [mGal] pomocou kalibračnej konštanty prístroja.

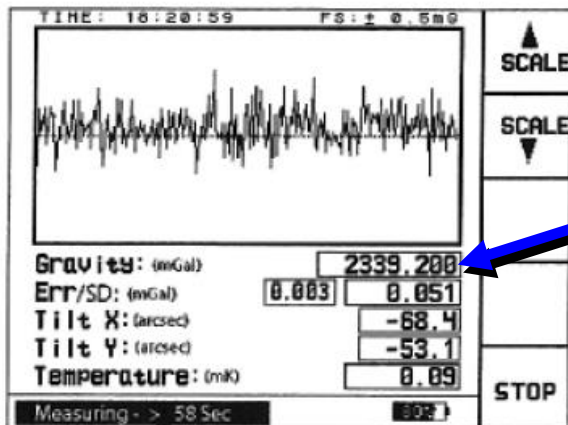


Relatívne gravimetre Scintrex CG-3 až CG-6

práca s prístrojom:



1. prístroj treba urovnať do horiz. polohy,
2. merania sú realizované automaticky (6 Hz) – buď v sekvencii 3 cyklov po 20 sekúnd alebo v jednom veľkom cykle počas 60 sekúnd; na displeji sa ukazuje meraná hodnota plus štand. odchýlka,
3. na konci merania sa zavedú opravy:
 - o slapy,
 - o náklony,
 - o teplotné vplyvy,
 - o vnútorný chod.



Relatívne gravimetre Scintrex CG-3 až CG-6 prípravné a kontrolné úkony (1/5):

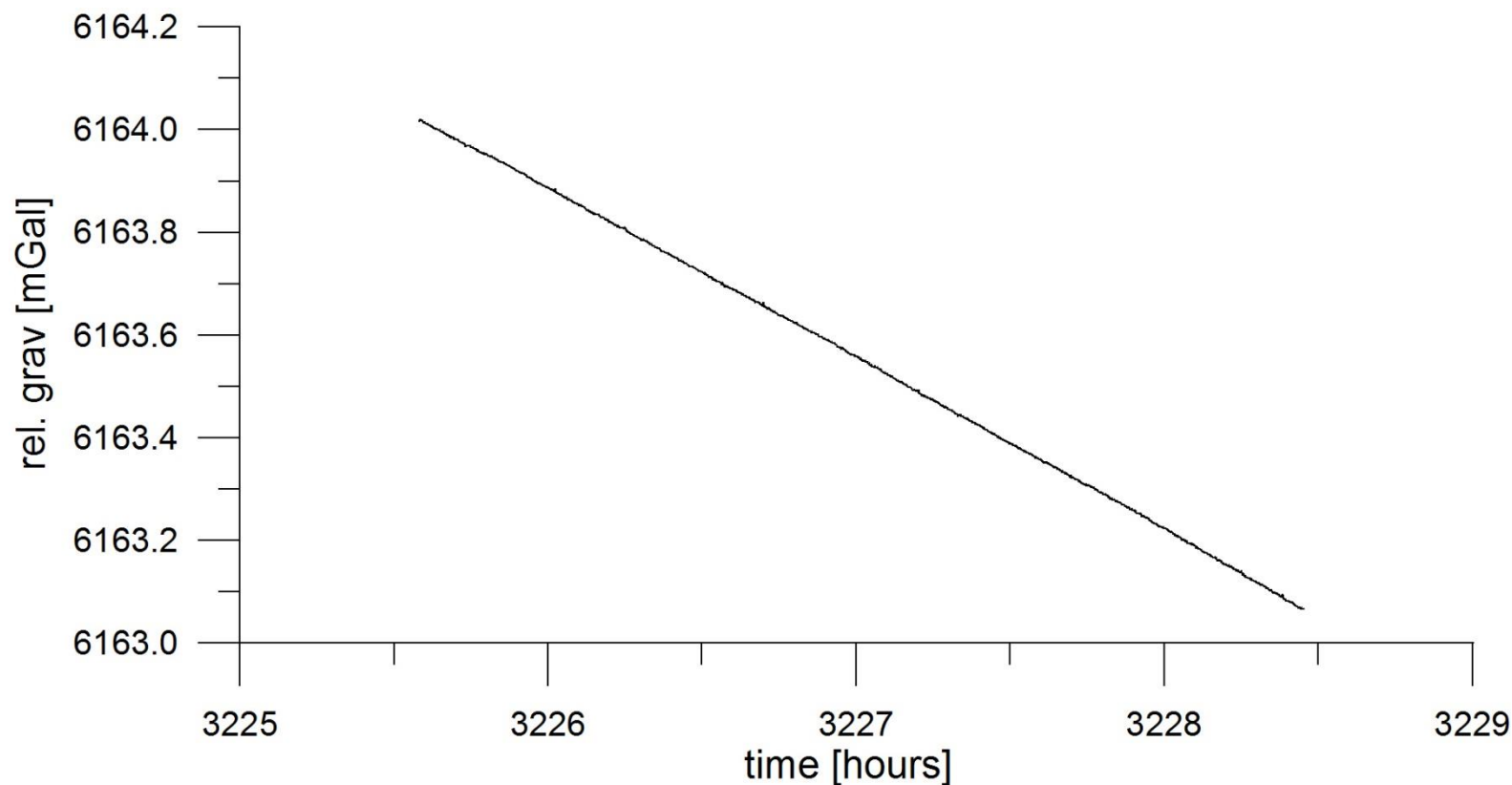
Okrem kalibrácie je potrebné raz za pár mesiacov skontrolovať a nastaviť nasledujúce konštanty:

- „driftová“ konštanta (konšt. vnútorného chodu)
- náklonové konštanty (tzv. rektifikácia libiel):
citlivosť a nulová poloha libiel

Relatívne gravimetre Scintrex CG-3 až CG-6

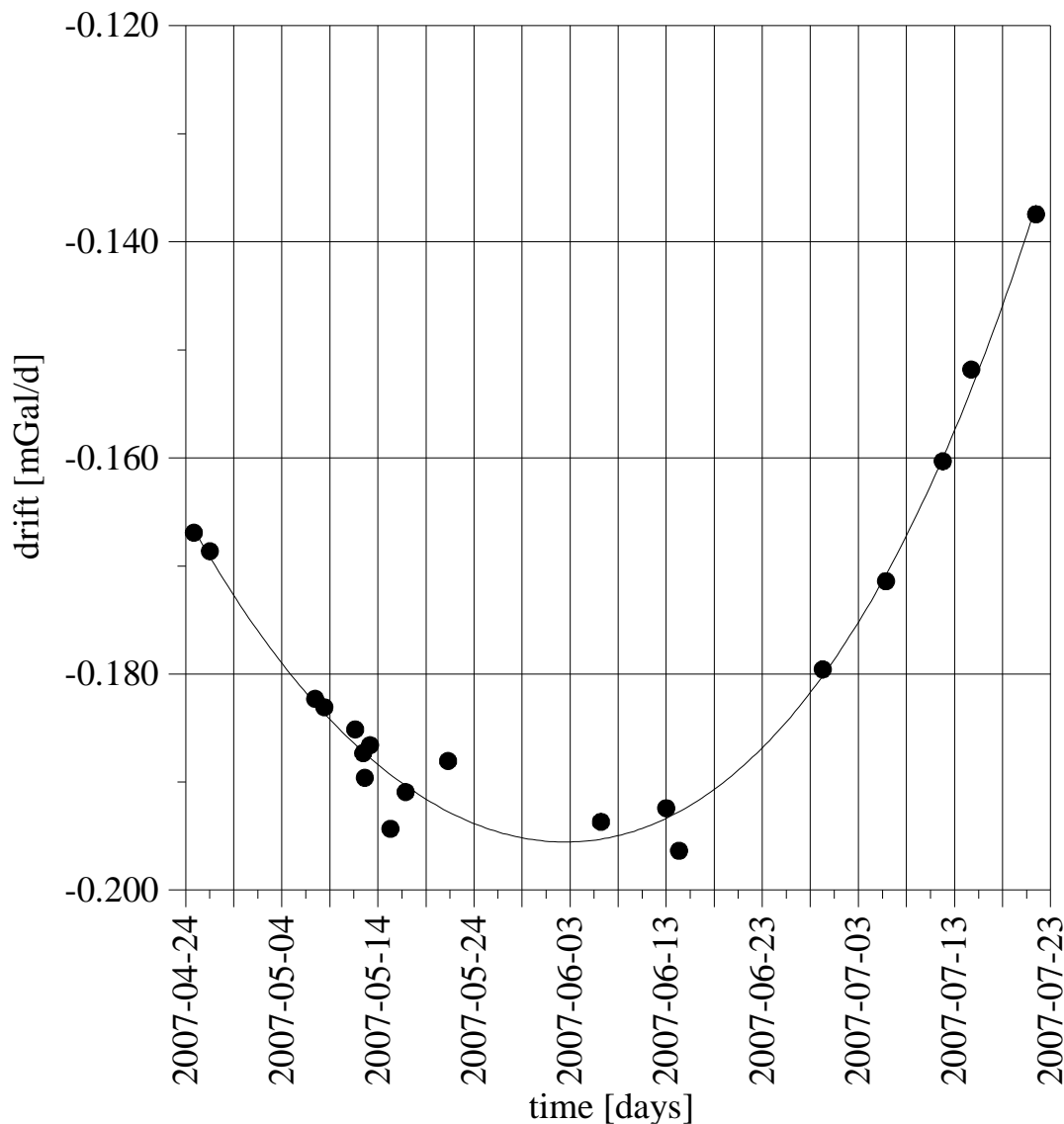
prípravné a kontrolné úkony (2/5):

Driftová konštanta (jednotka: mGal/deň) sa nastavuje pomocou automatickej procedúry: prístroj musí bežať na kludnom mieste niekoľko dní a potom sa meraniami preloží lineárna funkcia.



Relatívne gravimetre Scintrex CG-3 až CG-6

prípravné a kontrolné úkony (3/5):



Driftová konštanta sa v čase mení, Uvedený príklad je pre prístroj CG-5 z Uni Vienna (kontrolované počas 3 mesiacov).

Táto konštanta môže nadobúdať kladné, aj záporné Hodnoty.

Relatívne gravimetre Scintrex CG-3 až CG-6

prípravné a kontrolné úkony (4/5):

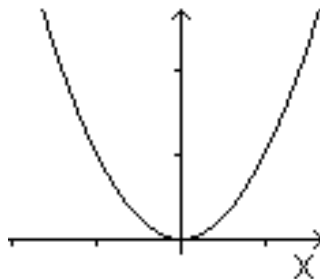
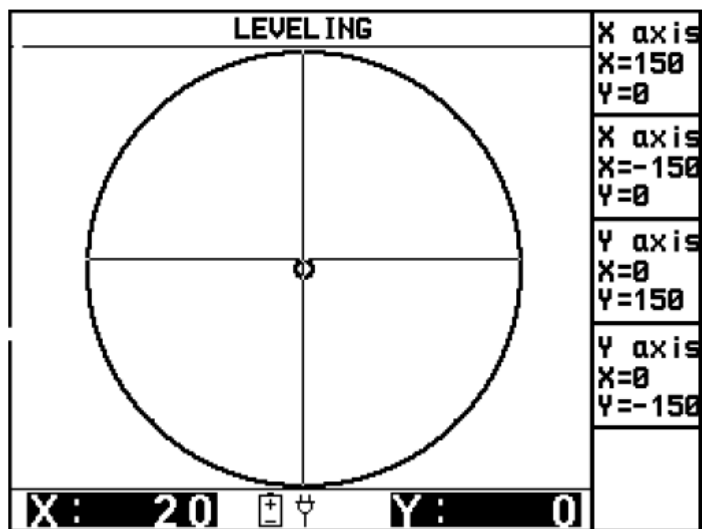
Náklonové konštanty popisujú citlivosť merania na určitý náklon (prístroj vie potom náklony opraviť do ± 200 arcsec) a presnú nulovú polohu libiel.

Ide o nasledujúce konštanty:

TiltX.Sens, TiltY.Sens

TiltX.Offset, TiltY.Offset.

Nastavujú sa pomocou polo-automatických procedúr: prístroj sa nakláňa podľa presne stanoveného postupu a podľa získaných výsledkov sa určia predmetné konštanty.



napr.: CG-5 (Uni Hamburg)

TiltX.Sens: 207.735

TiltY.Sens: 593.960

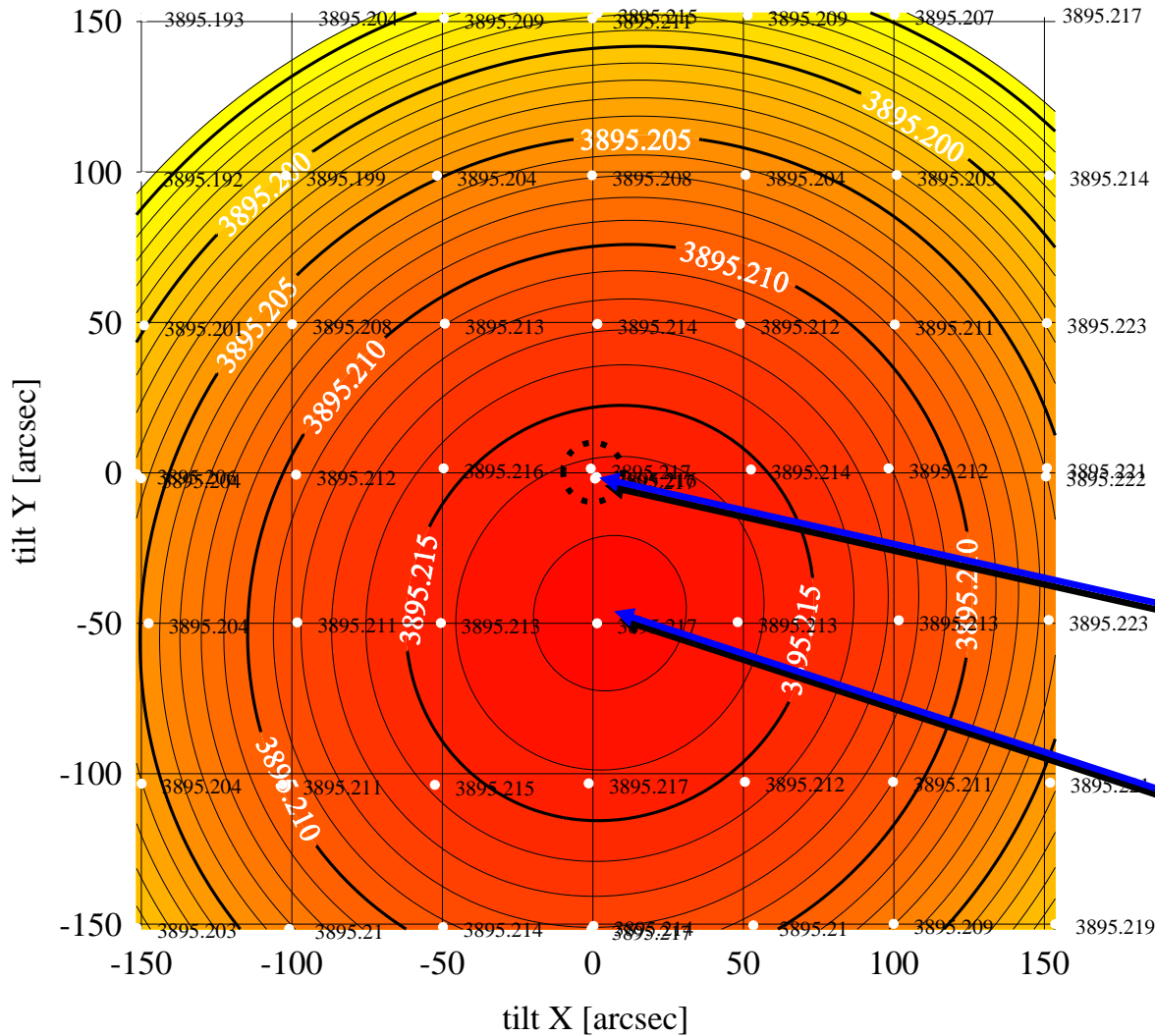
TiltX.Offset: -19.885

TiltY.Offset: -9.870

Relatívne gravimetre Scintrex CG-3 až CG-6

prípravné a kontrolné úkony (5/5):

Náklonové konštanty: TiltX.Sens, TiltY.Sens a TiltX.Offset, TiltY.Offset.



Výsledky detailnej štúdie hodnôt konštant TiltX.Offset a TiltY.Offset pre gravimeter CG-5 Uni Vienna.

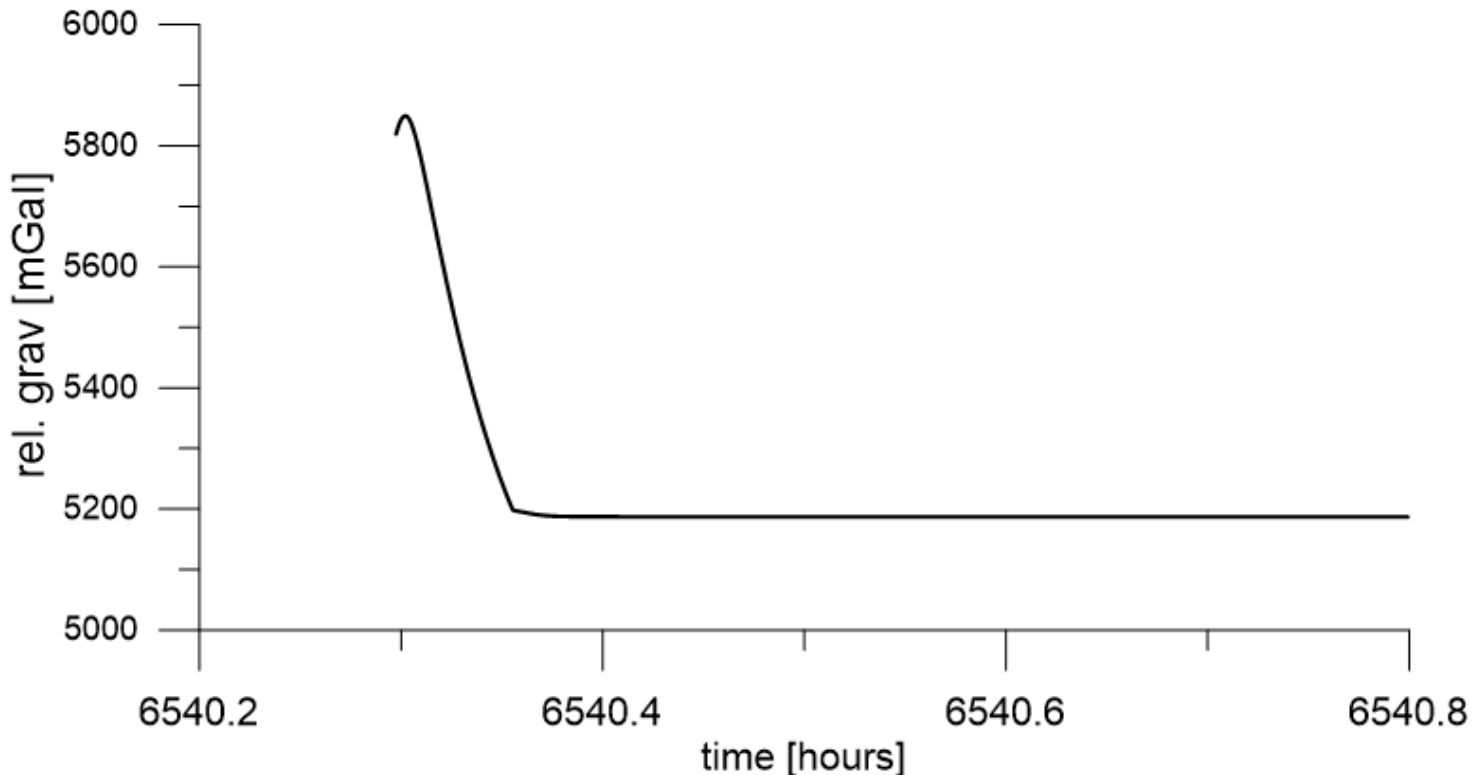
malo by byť teoreticky tu v strede

v skutočnosti je to tu

Relatívne gravimetre Scintrex CG-3 až CG-6

Vysoká citlivosť na konštantnú vnútornú teplotu.

Túto konštantu nastavuje výrobca. Je však dôležité občas sledovať vnútornú teplotu prístroja (vypisuje sa ako rozdiel oproti vnútorne nastavenej teplote v jednotkách [mK]).



Príklad meraní v prípade, kedy ešte nebola dosiahnutá optimálna vnútorná teplota.

Nový relatívny gravimeter LG-1 (od českej firmy GF-Instruments s.r.o.)



zatiaľ nemáme žiadne skúsenosti,
ani referencie...