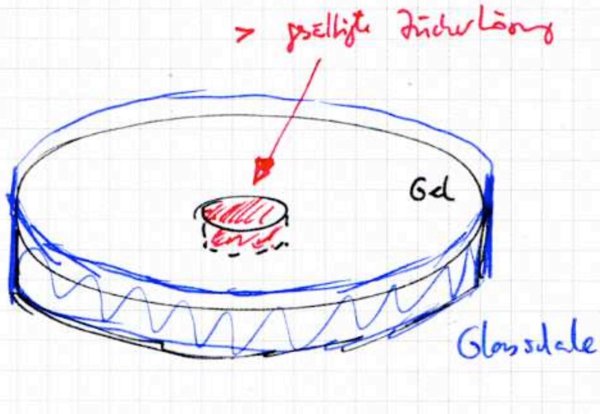
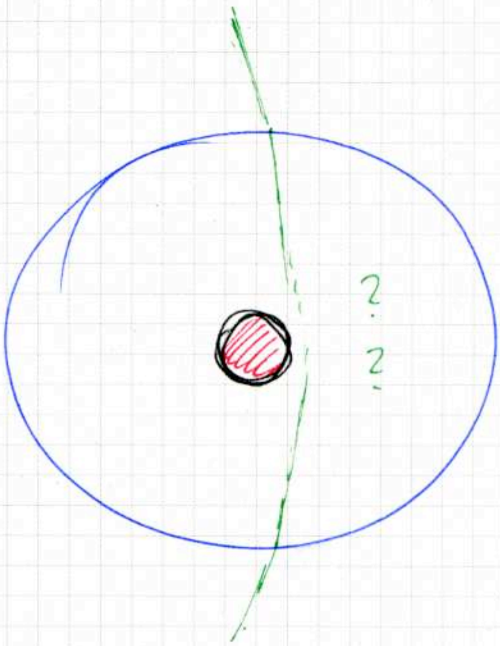
G1

Das mit dem Zitronensirup :

Die Variante mit dem Gel :





G2

Falsch ist die Randillustration oben links. Der geschrumpfte Maßstab ~~ist~~ liegt quer zu den Feldlinien! Es ist also

$$\Delta y(r) = \Delta y(\infty)$$

Die Richtungsabhängigkeit des Effekts wird unterschlagen. So auch im Text.

Zudem ist $\Delta x(r) = \Delta x(\infty) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - R_S/r}}$ oder

$$l_x(\infty) = l_x(r) \cdot \sqrt{1 - \frac{R_S}{r}} \approx l_x(r) \cdot \left(1 - \frac{GM}{c^2 \cdot r}\right)$$

Aufgaben G4 und G5

G	6.673200E-11
c	2.997925E+08

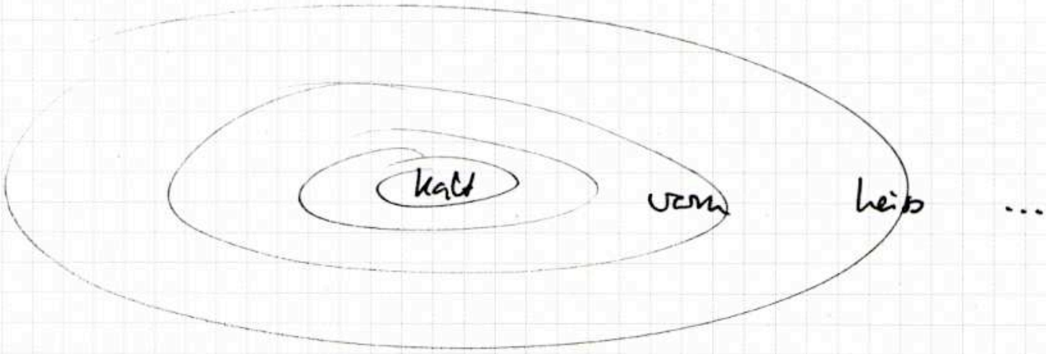
R(S) = 2*G*M / (c*c) in Standard-Einheiten !

Körper	Masse	Radius R	R(S)	R(S) / R
Erde	5.976E+24	6.371E+06	8.874E-03	1.393E-09
Mond	7.350E+22	1.738E+06	1.091E-04	6.280E-11
Sonne	1.989E+30	6.960E+08	2.954E+03	4.244E-06
H-Atom	1.661E-27	5.590E-11	2.467E-54	4.412E-44
Proton	1.673E-27	1.200E-15	2.484E-54	2.070E-39
He-4-Kern	6.64E-27	1.70E-15	9.860E-54	5.800E-39
U-238-Kern	3.95E-25	7.44E-15	5.870E-52	7.893E-38

Der grösste Wert von R(S) / R tritt also am Sonnenrand auf, liegt aber auch dort noch bei $4 \cdot 10^{-6}$! Unsere Näherungen sind also auch dort noch sehr gut brauchbar.

In der Atom- und Kernphysik kann man die Gravitation sogar völlig vernachlässigen, ganz entsprechend den Feststellungen nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz: Alle anderen Kräfte sind um viele Grössenordnungen stärker !

G8



(innerhalb von R sollte die Temperatur dann wieder zunehmen bis zur Mitte ...)

In radialer Richtung kann ausserhalb von R die Metrik gut wiedergegeben werden. Dummerweise ist das Schrumpfen der Massstäbe aber nicht richtungsabhängig, es gibt in diesem Modell eine Querkontraktion. Das ist ein grundsätzlicher Mangel.

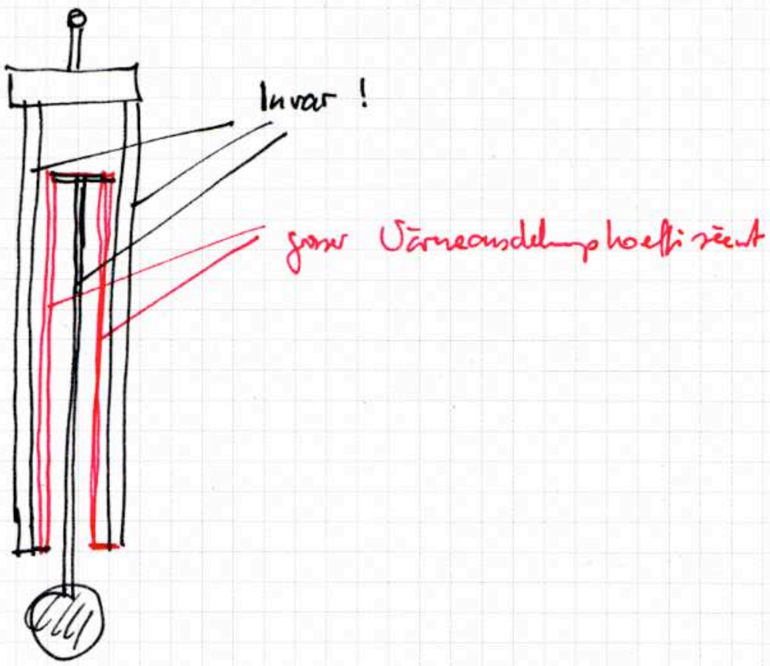
Besseres Modell: Konzentrische Kreise von Rillen, worin dann geeignete Spannungen angelegt sind. Durch den Piëzo-Effekt ziehen sich dann Massstäbe in radialer Richtung zusammen, während sie das senkrecht zu den Feldlinien nicht tun!

G9

Die Uhren müssen immer schneller gehen, je wärmer es wird.
Das könnte man zB. so realisieren:

a) Spiralfeder aus Federstahl, dessen Länge mit der Temperatur stark zunimmt

b) Pendel, dessen Länge überkompensiert ist:



c) Digitaluhr mit Thermometer und entsprechender Korrektur der Uhrzeit per Software ...

G 10

$$\frac{\Delta t_{\text{oben}} - \Delta t_{\text{unten}}}{\Delta t_{\text{unten}}} \approx \frac{g \cdot \Delta h}{c^2} \quad , \quad \text{also}$$

$$\Delta t_{\text{oben}} - \Delta t_{\text{unten}} \approx \frac{g \cdot \Delta h}{c^2} \cdot \Delta t_{\text{unten}}$$

$$\approx \frac{9.81 \cdot 4000}{9 \cdot 10^{16}} \cdot 80 \cdot \underbrace{365.24 \cdot 24 \cdot 3600}$$

$$\approx 4.36 \cdot 10^{-13} \cdot 3.1558 \cdot 10^{7}\,\text{s} \cdot 80$$

$$\approx \underline{\underline{0.001'101\ \text{s}}} \approx \underline{1.1\ \text{ms}}$$

G 11

Für Gold, Alu usw. hat man extra genau geprüft:

$$m_t = m_g$$

Man nehme also ein Stück der neuartigen Materie, und eine ebenso schwere Menge Gold:

$$M_g = m_g(Au)$$

Dann zeige man, dass $M_t \neq m_t(Au)$, dass also die träge Masse dieses Stücks Materie verschieden ist von der trägen Masse einer gleich schweren Menge Gold.
Dies zeigt man, indem man die Kräfte bei Beschleunigungen misst.

Würde es sowas geben, dann wäre

b) Einsteins ART im Eimer, da diese auf dem Aequivalenzprinzip aufbaut, welches die Gleichheit von m_t und m_g zur Folge hat.

a) Die Gravitationstheorie von Newton könnte damit leben. Im Gravitationsgesetz ist einfach m_g einzusetzen, während der Impuls mit $m_t \cdot v$ gebildet werden muss.

G 12

- die euklidische Gerade überlebt nur noch auf den Feldlinien, physikalisch beim freien Fall aus $v_0=0$ Richtung Zentrum der Zentralmasse.

- sonst ist sie abzulösen durch die 'Geodäte', der Linie, welche die Distanz minimiert (oder maximiert ?!).

- man muss wohl Geodäten in dem gekrümmten Raum unterscheiden von Geodäten in der 4d-Raumzeit.

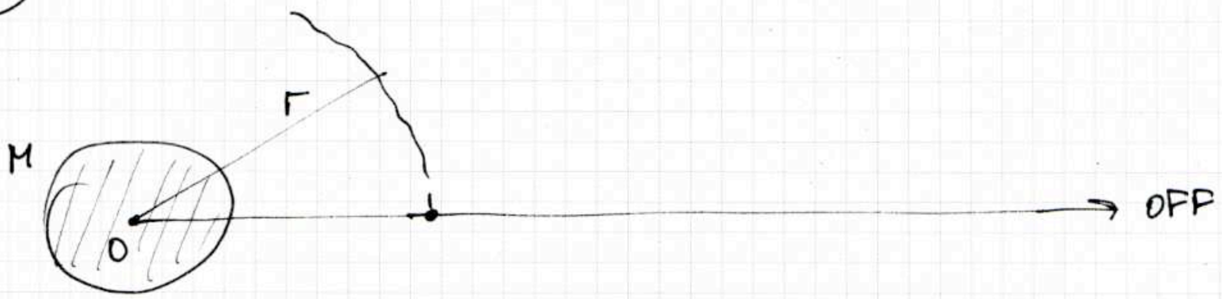
- das Prinzip von Fermat gilt weiterhin: Lichtstrahlen bewegen sich längs Wegen, auf welchen die Laufzeit extremal ist!

- der Beobachter im OFF kann aber weiterhin an seinem Koord.system festhalten und den Raum euklidisch vermessen. Er stellt dann aber fest, dass sich das Licht nicht mehr geradlinig ausbreitet

$\Longrightarrow$ Die Gerade ist also als Begriff zu <u>definieren</u>!

Siehe dazu auch Epstein [10-218f]

G 13



Der Beobachter in OFF kann also – wie Sie, die lesen, jetzt gerade – auch von weit oben auf das Blatt herabschauen. Dabei kann er sowohl r als auch den Gang der Uhr im Satelliten experimentell leicht verfolgen !!

ART :

$$\Delta t(r) = \Delta t(\infty) \cdot \sqrt{1 - \frac{R_s}{r}}$$

SRT :

$$\frac{m v^2}{r} = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} \quad ; \quad v^2 = \frac{G \cdot M}{r} \quad ;$$

$$\frac{v^2}{c^2} = \frac{G \cdot M}{c^2 \cdot r} = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2} \cdot \frac{1}{2r} = \frac{R_s}{2r}$$

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = 1 - R_s/2r$$

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{R_s}{2r}}$$

$$\Delta t(v) = \Delta t_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \Delta t_\infty \cdot \sqrt{1 - \frac{R_s}{2r}}$$

Gesamter Effekt :

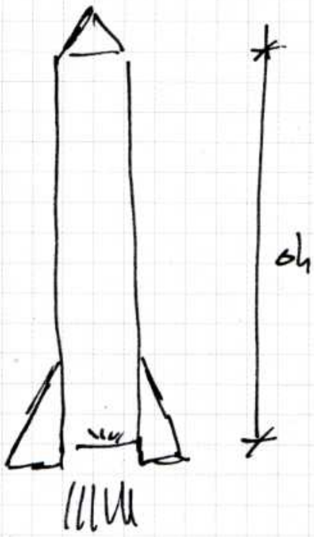
$$\Delta t\,(\text{Satellit}) = \Delta t_\infty \cdot \sqrt{1 - \frac{R_s}{r}} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_s}{2r}} = \Delta t_\infty \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{2R_s}{2r}\right) \cdot \left(1 - \frac{R_s}{2r}\right)}$$

$$= \Delta t_\infty \cdot \sqrt{1 - \frac{3R_s}{2r} + \frac{2R_s^2}{4r^2}} \overset{!}{\approx} \Delta t_\infty \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{3R_s}{4r}\right)^2} =$$

$$= \Delta t_\infty \cdot \left(1 - \frac{3R_s}{4r}\right) = \Delta t_\infty \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot 2 \cdot \alpha}{4r}\right) =$$

$$= \Delta t_\infty \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot \alpha}{2 \cdot r}\right) \quad . \qquad \square$$

G 14



$g \approx 9.81\ \mathrm{m/s^2}$ konstant

$v_0 = 0 \quad t_0 = 0$: Blitz geht unten los

$v_1 \quad , t_1$: Blitz trifft oben ein.

$$v_1 - v_0 = v_1 = g \cdot \Delta t \overset{!}{\approx} g \cdot \frac{\Delta h}{c}$$

Die Frequenz der Strahlung von unten wird also mit einer Doppler-Verschiebung Richtung rot gemessen, welche zur Geschwindigkeit $v = g \cdot \frac{\Delta h}{c}$ gehört! Dies bleibt konstant so!!

$$f_{oben} = f_{unten} \cdot \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \qquad \& \qquad \frac{\Delta T_{oben}}{\Delta T_{unten}} = \frac{f_{unten}}{f_{oben}} \quad !$$

Somit
$$\frac{\Delta T_{oben}}{\Delta T_{unten}} = \frac{f_u}{f_o} = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} = \sqrt{\frac{c + g \cdot \frac{\Delta h}{c}}{c - g \cdot \frac{\Delta h}{c}}} =$$

$$= \frac{\sqrt{1 + \frac{g \cdot \Delta h}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{g \cdot \Delta h}{c^2}}} \cdot \frac{\sqrt{1 + \dots}}{\sqrt{1 + \dots}} = \frac{1 + \frac{g \cdot \Delta h}{c^2}}{1 - \left(\frac{g \cdot \Delta h}{c^2}\right)^2} \overset{!}{\approx}$$

$$\approx 1 + \frac{g \cdot \Delta h}{c^2}$$

Also
$$\boxed{\frac{g \cdot \Delta h}{c^2}} = \frac{\Delta T_{oben}}{\Delta T_{unten}} - 1 = \boxed{\frac{\Delta T_{oben} - \Delta T_{unten}}{\Delta T_{unten}} = \frac{|\Delta \Phi|}{c^2}}$$

wie gehabt auf p. 111 in G4 !