

Messmethode zur Untersuchung einer eventuellen Zeitabhängigkeit der Gravitationskonstante .

1.) Prinzip des Messsystems .

Ist die Gravitationskonstante $\gamma(t)$ als Zeitfunktion vom Weltalter abhängig, dann muss der Zeitverlauf $\varphi(t) = \frac{\dot{\gamma}}{\gamma}$ als empirische Aussage weitgehende Schlüsse auf allgemein kosmologische Zusammenhänge gestatten. Zur Messung von φ muss eine evtl. Änderung der Fallbeschleunigung einer Masse M im Abstand r , nämlich $|g| = \gamma \frac{M}{r^2}$ um $\Delta g \neq 0$, während eines Zeitintervalls Δt nachgewiesen werden. Ist $M = \text{const.}$ und $r = \text{const.}$ hinsichtlich t , dann kann $\Delta g \neq 0$ nur auf $\Delta \gamma \neq 0$ zurückgehen. Die Gravitationsbeschleunigung g verursacht die messbare ponderomotorische Kraft $G = m g$, welche als Gewicht auf die Masse m eines Probekörpers in Bezug auf M einwirkt. Ist $\mathcal{K}$ die kleinste ponderomotorische Kraft, die vom Messsystem noch angezeigt werden kann und erfährt g eine Änderung Δg , so hat dies auch eine Änderung $\Delta G = m \Delta g$ zur Folge, für welche aber $\Delta G \geq \mathcal{K}$ gelten muss, sofern ΔG noch vom Instrument angezeigt werden soll. Aus $\Delta G = m \Delta g \geq \mathcal{K}$ folgt $\frac{\Delta g}{g} \geq \frac{\mathcal{K}}{G} = \alpha$. Unter der Bedingung $M = \text{const.}$ und $r = \text{const.}$ wird $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta \gamma}{\gamma} = \varphi \Delta t$, wenn $\frac{\Delta \gamma}{\gamma} = \dot{\gamma}$ gesetzt wird, was in guter Näherung erfüllt sein dürfte. Aus $\varphi \Delta t \geq \alpha$ folgt die Bedingung $\Delta t \geq \frac{\alpha}{\varphi}$ für die Zeitspanne zwischen zwei Messungen. Wird $\varphi \approx 10^{-10} [A^{-1}]$ theoretisch abgeschätzt (nach Jordan $10^{-9} [A^{-1}]$), dann ist $\Delta t \geq 10^{10} \alpha [A]$ d.h. ein Messsystem, welches $\varphi(t)$ registrieren soll, muss so beschaffen sein, dass Δt hinreichend klein bleibt. Die Gerätekonstante des Messsystems $\alpha = \frac{\mathcal{K}}{G}$ ist also extrem tief zu halten, wenn $\varphi \neq 0$ in der Grössenordnung $10^{-10} [A^{-1}]$ nachgewiesen und $\varphi(t)$ registriert werden soll.

Wegen $\alpha = \frac{\mathcal{K}}{G}$ kommt es also darauf an, ein möglichst grosses Absolutgewicht G praktisch reibungsfrei so aufzuhängen, dass möglichst geringe Gewichtsänderungen als Folge von $\Delta g \neq 0$ noch registrierbar sind, also $\mathcal{K}$ extrem klein wird. Zweckmässig erscheint die magnetische Aufhängung eines stark permanent magnetisierten Materials hoher Remanenz. Eine derartige magnetische Aufhängung ist aber grundsätzlich nicht stabil. Wird die magnetische Attraktion zur Kompensation des

Gewichtes , also zur Aufhängung verwendet , dann erscheint eine stark Labilität in der Vertikalen , aber nicht in der Horizontalen . Unter Verwendung der magnetischen Abstossung gleichnamiger Pole kann dagegen bei hinreichend starker Magnetisierung ein in der Vertikalen stabiler Schwebezustand erreicht werden , während die Labilität in der Horizontalen erscheint . Auf diese Weise können sehr hohe Absolutgewichte von $G \approx 50 \text{ [Kp]} = 5 \cdot 10^4 \text{ [gr]}$ aufgehängt werden , weil es technisch möglich ist äusserst hohe permanente Magnetisierungen zu erreichen .

Die magnetisch verursachte mechanische Kraft K ist im Feld offenbar eine Funktion des Abstandes r vom festmontierten Magnetpol , welche die Abstossung des Schwebekörpers G bewirkt , sodass $/K/ = f(r)$ gesetzt werden kann . Neben r hängt f noch von der magnetischen Feldstruktur ab , die im wesentlichen von der Geometrie der Polflächen bestimmt wird . Im Abstand $r = s$ kommt es zum vertikal stabile Schwebezustand $/G/ = /K/ = f(s)$. Ist $\delta /G/ = \chi$ die kleinstmögliche noch registrierbare Gewichtsvariation infolge $\delta g \neq 0$, dann ist $\chi = \delta f = \frac{\partial f}{\partial s} \delta s$, wobei δs die Lageänderung von G in der Vertikalen ist , die durch χ verursacht wurde . Diese mechanische Bewegung in der Vertikalen kann zur Frequenzmodulation eines Hochfrequenzoszillators verwendet werden . Von den beiden Möglichkeiten eine solchen Modulation , nämlich kapazitiv oder induktiv , ist die induktive weitaus empfindlicher , sodass diese verwendet werden soll . Ohne Schwierigkeiten kann ein Oszillator hoher Präzision für einige 10^8 /Hz montiert werden . Bereits Bewegungen eines ferromagnetischen Körpers von 10^{-4} [m] in der Induktivität , verursachen Frequenzmodulationen von mehreren 10^3 /Hz . Wird ein Vergleichsoszillator kapazitiv auf die gleiche Frequenz des Messoszillators abgestimmt und werden beide Frequenzen über ein Mischrohr zur Nullschwebung gebracht (oszillographische Indikation) , dann erscheint bereits bei nur einem Hz Frequenzdifferenz eine Cosinusschwebung , sodass bei hinreichender mechanischer Präzision in der Grössenordnung $\delta s = 10^{-7} \text{ [m]}$ erreichbar ist . Wesentlich für χ ist $\frac{\partial f}{\partial s}$. Unter primitivsten Bedingungen konnte bereits $\frac{\partial f}{\partial s} \approx 100 \text{ [g r m}^{-1}]$ schätzungsweise erreicht werden . Dieser ungünstigste Wert liefert bereits $\chi \approx 10^{-5} \text{ [g r]}$ und mit $G = 5 \cdot 10^4 \text{ [g r]}$ schliesslich $\alpha \approx 2 \cdot 10^{-10}$, was bereits zum

qualitativen Nachweis $\varphi \neq 0$ ausreichen dürfte. Durch eine geschickte Formung der magnetischen Polflächen und durch die Montage magnetischer Zusatzfelder im Sinne einer Modulation der magnetischen Feldstruktur, liesse sich wenigstens $\frac{\partial f}{\partial s} \approx 1 \text{ [g r m}^{-1}\text{]}$ erreichen, doch ist diese Schätzung ungünstig. Wie stark $\frac{\partial f}{\partial s}$ tatsächlich unter diese Abschätzung gebracht werden kann, müssen Versuche zeigen, die in allen Einzelheiten bereits geplant sind und zurzeit vorbereite werden. Zugleich kann mit einer solchen Modulation der Feldstruktur die horizontale Labilität weitgehend kompensiert werden. Die vollständige Kompensation könnte dann durch eine mechanische ^{Halterung} mittels hinreichend dünner Perlionfäden erfolgen; denn die auftretenden Querkräfte betragen bei guter Zentrierung nur einige Milligramm, was gegen die 50 [Kp] des Schwebekörpers vernachlässigt werden darf. Wahrscheinlich kann man aber ganz auf eine derartige Haltung verzichten, weil durch aus die Möglichkeit besteht, derartig geringe Horizontalkomponenten elektronisch zu kompensieren. Mit $\frac{\partial f}{\partial s} \approx 1 \text{ [g r m}^{-1}\text{]}$ wird aber $\chi \approx 10^{-7} \text{ [g r]}$ und damit $\alpha \approx 2 \cdot 10^{-12}$. Wird im Momentanzustand des Universums $\varphi \approx 10^{-10} \text{ [A}^{-1}\text{]}$ angenommen, dann würde sich für die Zeitspanne zwischen zwei Messungen $\Delta t \geq \frac{\alpha}{\dot{\varphi}} \approx 2 \cdot 10^{-2} \text{ [A]} \approx 7 \text{ [D]}$ ergeben, d.h., unter der Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors können alle zwei Wochen die Messungen von φ wiederholt werden. Über eine Messzeit von mehreren Jahren wäre die Registrierung eines Zeitdiagramms denkbar, welches das ungefähre Bild eines empirischen Zeitverlaufes $\varphi(t)$ darstellt.

2.) Störfaktoren.

Ein gravimetrisches System mit $\alpha \approx 2 \cdot 10^{-12}$ ist naturgemäss äusserst störanfällig und kann nur dann realisiert werden, wenn es gelingt, sämtliche Störungen durch irgendein geeignetes Verfahren zu kompensieren. Als grundsätzlich mögliche Störfaktoren kommen in Betracht:

A) Elektromagnetische Störungen.

- a) Hoch- und niederfrequente elektromagnetische Einstrahlung,
- b) sich langsam ändernde elektrische Felder,
- c) sich langsam ändernde magnetische Felder.

B) Mechanische Störungen.

- a) Akustische Störungen und Mikrophonieeffekte in dem elektronischen Röhrensystemen.

- b) Seismische Störungen .
- c) Gezeitenkräfte.
- d) Gravitative Feldstörungen , z.B. durch plutonische Magmaverschiebungen oder durch meteorologische Luftdichteschwankungen .
- C) Thermische Störungen .
 - a) Entmagnetisierung infolge der endlichen Remanenz permanenter Magnete.
 - b) Alterungsfaktoren aller Materialien und Bauelemente infolge thermisch bedingter mikrokristalliner Strukturänderungen .

Alle Störungen der Gruppe A können durch eine geeignete Abschirmung ausgeschaltet werden . Am zweckmässigsten wäre es , sämtliche Wände , Decke und Fussboden des Messraumes mit Mumetallplatten auszulegen , die aber alle untereinander in leitender Verbindung stehen müssen . Die ganze Abschirmung wird dann gut geerdet , wobei ein Übergangswiderstand von 1 Ohm erreichbar ist , Die Mumetallabschirmung hat den Vorzug gegenüber anderen Materialien , dass wegen der extrem hohen magnetischen Permeabilität ein starker Bündelungseffekt magnetostatischer Feldlinien auftritt , sodass auch die Störungen A c ausgeschaltet werden können . Zur Vermeidung einer Einstreuung der 50 Hz- Schwingung aus der Netzstromversorgung müssen alle elektrischen Baugruppen des Messsystems auf Gleichspannung eingestellt werden , sodass der abgeschirmte Messraum ohne Einstreuung von einer Gleichstromleitung versorgt wird , welche den Strom einem , in einem anderen Raum montierten Akkumulatorenaggregat entnimmt . Diese Akkumulatoren werden automatisch von einem hinreichend starken Gleichrichteraggregat geladen , welches ohne weiteres an ^{das} allgemeine Wechselstromnetz angeschlossen werden kann .

In der Gruppe B können die akustischen Vorgänge B a praktisch vollständig durch für Schall reflektionsfreie Wände und Lagerung der in Betracht kommenden elektronischen Baugruppen auf geeigneten Schaumstoffen beseitigt werden . Wesentlich schwieriger ist die Kompensation von B b und B c , sowie B d . Hier besteht nur die Möglichkeit einer Art Interferenzverfahren von Störfaktoren . Eine derartige Interferenz könnte in folgender Weise durchgeführt werden :

Nach 1) wird die Frequenz des induktiv frequenzmodulierten Hochfrequenzoszillators mit einer abstimmbaren Vergleichsfrequenz zur Nullschwebung gebracht , das derart , dass Frequenzmodulationen , also Verschiebungen des magnetischen Schwebekörpers im Messkopf als niederfrequente Schwebungen oszillographierbar sind . Es empfiehlt sich nun , den gleichen Messkopf mit Schwebekörper und Hochfrequenzoszillator in einer zweiten

möglichst identischen Ausführung als Kompensator mit einer zusätzliche Möglichkeit einer willkürlichen Frequenzmodulation (Variometer oder Drehkondensator) zur Abstimmung zu montieren, und die Frequenz des Hochfrequenzoszillators dieses Kompensators mit der Oszillatorfrequenz des eigentlichen Messkopfes zur Nullschwebung zu bringen. Zu dieser Abstimmung auf die Nullschwebung wird die erwähnte Möglichkeit des Variometers oder Drehkondensators benutzt. Die Störungen B b bis B d sind mechanischer Natur und sehr langperiodisch, was aber bedeutet, dass sie praktisch gleichzeitig und gleichsinnig auf den Messkopf und den Kompensator einwirken. Dies hat aber zur Folge, dass beide Schwebekörper die gleichen Frequenzmodulationen verursachen, sodass keine stetige Schwebungsfrequenz oszillographiert werden kann. Im Prinzip wurde auf diese Weise das irdische Gravitationsfeld mit allen langperiodischen mechanischen Störfaktoren eliminiert. Nach dieser Elimination soll das Gravitationsfeld einer hinreichend grossen, aber genau definierten und nicht ferromagnetischen Masse M_0 , die zum Zeitpunkt einer Messung im genau definierten Abstand r unter den Messkopf gefahren wird vorgeschlagen wird eine Masse aus $10^3 \text{ [Kp]} P b$ (evtl. mit veredelter Oberfläche) in Kugelform, die hydraulisch aus- und eingefahren werden kann. Auf die gleiche Weise könnte zur Einhaltung von $r = \text{const.}$ nach dem Einfahren justiert werden, was photoelektrisch äusserst genau überprüft werden kann. Die sich nach dem Justieren einstellende Schwebungsfrequenz ist dann ein Mass des Gravitationsfeldes der $P b$ -Kugel. Ändert sich diese Schwebungsfrequenz nach der Zeit Δt , dann kann sich nur die Gravitationskonstante selbst geändert haben, weil $M_0 = \text{const.}$ und $r = \text{const.}$ garantiert ist.

Da die Messungen über grössere Zeitspannen erstreckt werden, müssen auch die Störfaktoren der Gruppe C berücksichtigt werden. Besonders wesentlich ist hier der Anteil C a, doch könnte die zeitliche Entmagnetisierung im Messkopf und im Kompensator durch eine Nachmagnetisierung vor einer Messung ausgeglichen werden. Die insgesamt vier grossen Permanentmagneten werden den Einflüssen von vier Feldspulen ausgesetzt, die gut zentriert ohne Eisenkern so montiert werden, dass sie bei Durchfluss eines Gleichstromes die Nachmagnetisierung ermöglichen. Jede Entmagnetisierung muss sich in einem Abnehmen der Höhen der Schwebekörper bemerkbar machen. Die eingestellte Normhöhe kann photoelektrisch ausserordentlich genau fixiert werden. Unterschreitet die Entmagnetisierung einen gewissen kritischen Grad, so bleibt das auf der Normhöhe des Schwebepegels eingestellte photoelektrische Signal aus. In diesem Fall wird durch die Solenoidspulen ein möglichst konstant gehaltener Gleichstrom gegeben, dessen Stromstärke über einem Regler solange lan

sam erhöht wird , bis die Magnetisierung wieder den ursprünglichen Wert erreicht hat und das photoelektrische Signal erscheint .

Die letzte Form thermischer Störungen C b , nämlich die Alterungsfaktoren , können verhältnismässig leicht eliminiert werden. Eventuelle Alterungserscheinungen in der Elektronik des Messkopfes und Kompensators werden von vornherein eliminiert , weil vor jeder Messung die Nullschwebung als Bezugspegel neu abgestimmt wird . Kritisch können sich die Alterungsfaktoren nur im Messsystem der Schwebungsfrequenzen bemerkbar machen . Am günstigsten könnte eine Messung unter Verzicht auf jede Frequenzbestimmung mit Hilfe eines weiteren Kompensationsverfahrens durchgeführt werden. Man könnte eine geeignete magnetische Feldspule ohne Eisenkern in einem evakuierten Kolben montieren und so mit Gleichstrom versehen , dass das entstehende Magnetfeld bei richtiger Montage der Spule versucht , den Schwebekörper des Messkopfes in der Vertikalen nach oben zu ziehen . Diese Feldspule soll gewissermaßen als Bezugsbasis dienen ,d.h. ihre Windungen müssen elektrisch gut leiten , hinreichend stark sein und hinsichtlich der Leitfähigkeit zeitlich auf jeden Fall konstant bleiben , sodass das induzierte Magnetfeld immer in der gleichen Weise vom eingeführten Gleichstrom abhängt . Bei einem derart einfachen System ist die Vermeidung von Alterungsfaktoren wesentlich leichter zu erreichen als bei komplizierten elektronischen Schaltungen . Ist nun die Messung soweit vorbereitet , dass die eingefahrene P b - Kugel unter dem Messkopf photoelektrisch justiert ist , dann scheint zunächst im Oszillogramm die gravitativ verursachte Schwebungsfrequenz . Jetzt wird der Kompensationsspule Gleichspannung zugeführt und der Strom über einen Regler solange erhöht , bis das Magnetfeld dieser Spule die gravitative Wirkung der P b-Kugel kompensiert hat also bis die Nullschwebung im Oszillogramm wieder erscheint . Der von der Kompensationsspule gezogene Strom kann aber mit heutigen Mitteln bis auf einige Pikoampere genau gemessen werden und diese Pikoampereangabe ist ein unmittelbares Mass für das Gravitationsfeld der Bleikugel. Derartige Kompensationsstrommessungen können dann im Zeitdiagramm über den durch Δt bestimmten Zeitmarken als Messpunkte aufgetragen werden . Dieses Zeitdiagramm wäre dann dem empirischen Zeitverlauf $\varphi(t)$ und mit damit $\gamma(t)$ äquivalent .

Neben dieser Untersuchung der Dirack'schen Hypothese $\gamma(t)$ könnte ein Messinstrument so hoher Empfindlichkeit noch für viele gravitationsphysikalische Studien verwendet werden. Desgleichen in der Seismographie und in der chemischen Forschung als Analysenwaage , wenn neben hoher Empfindlichkeit ein hohes Absolutgewicht gefordert wird .