



Institut für Gravitationsforschung

Anmerkung zum Versuch „Parakonisches Pendel – ALLAIS-Effekt“

A. Heck, E. Zentgraf, T. Senkel, T. Junker, L. Lemons
Göde Wissenschaftsstiftung - IGF, Am Heerbach 5, D - 63857 Waldaschaff

Nach Abschluss der IGF-Versuche mit dem Parakonischen Pendel wurden die aufgezeichneten Daten einmal untersucht. Dabei wurden neue Erkenntnisse gewonnen, die im folgenden Artikel vorgestellt werden.

1) Das Experiment

Von 2005 bis 2007 wurde am Institut für Gravitationsforschung ein Experiment zum sogenannten ALLAIS-Effekt durchgeführt, der 1954 zum ersten Mal von Herrn Prof. M. Allais beobachtet wurde [1].

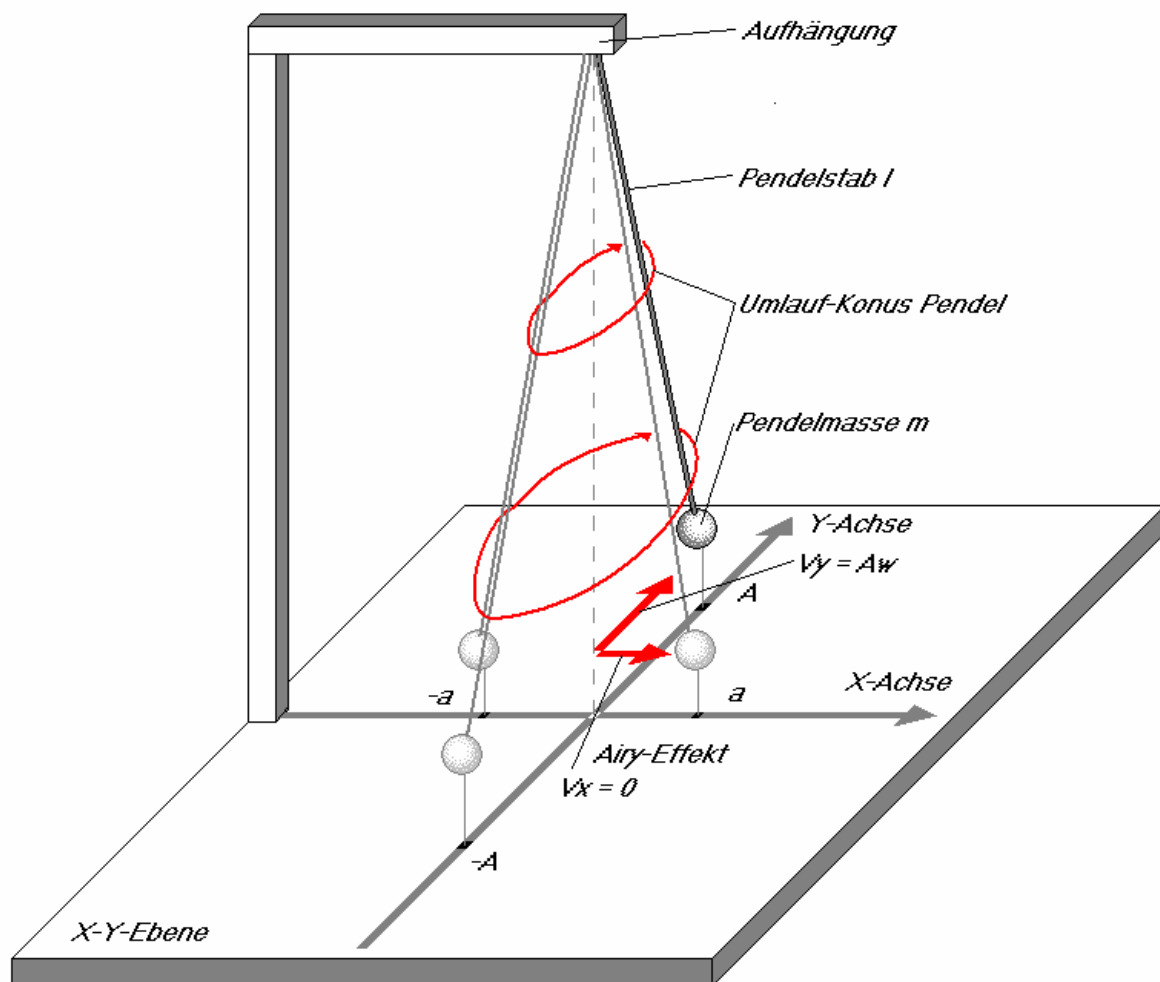


Fig. 1) Prinzip-Skizze zur Funktion des Parakonischen Pendels



Institut für Gravitationsforschung

Bei dem Experiment handelt es sich um ein kurzes, starres Pendel, das sich frei um die lotrechte Z-Achse in der durch die X- und Y-Achsen aufgespannten Ebene drehen kann. Wird es in Y-Richtung um die Länge A ausgelenkt, so führt es aufgrund immer vorhandener Störungen (AIRY-Effekt) auch eine schwache Schwingung mit der Auslenkung der Länge a und dem Vorfaktor $\frac{3}{8}$ sowie den Verhältnissen von A und a zur Pendellänge l in X-Richtung aus. Dadurch entsteht eine zweiachsiges Oszillation, die auf der X-Y-Ebene ansatzweise als Ellipse mit der großen Halbachse A und der kleinen Halbachse a abgebildet werden kann. Die Hauptachse dreht sich dabei im Laufe der Zeit um den Winkel Φ mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega'' = d\Phi/dt$. Die Drehung kann im Lauf der Zeit positiv oder negativ werden, also im oder gegen den Uhrzeigersinn verlaufen. Der Pendelstab umschreibt dabei einen Kegel mit elliptischem Querschnitt. Daher rührt auch der Name Parakonisches Pendel (griech. para = herum, griech. konos = Kegel).

Die Verdrehung ω'' soll bei Sonnenfinsternissen oder allgemeiner bei Stellungen Erde-Mond-Sonne, Mond-Erde-Sonne oder Mond rechtwinklig zu Erde-Sonne besonders große Werte annehmen, die Drehgeschwindigkeit dann besonders hoch sein. Dies ist der ALLAIS-Effekt. Seine besondere Bedeutung liegt darin, dass er zu der Folgerung führte, es könne eine über bekannte Gravitationskräfte hinausgehende Wechselwirkung zwischen Pendel und Himmelskörpern sowie deshalb auch eine Anisotropie bzw. ausgezeichnete Richtung im Raum geben. Herr Prof. Allais schlug [2] auf dieser Basis eine Erklärung vor, bei der die Gesamtdrehung der Hauptachse ω'' mit der folgenden, empirisch gefundenen Formel berechnet wird:

$$\omega'' = -\Omega + \omega' = -\Omega + \left(\frac{3}{8} \omega \varepsilon (1/2 \sin(2(\chi - \Phi)))\right)$$

wobei

- ω'' = Kreisfrequenz der Gesamtdrehung
- ω' = Kreisfrequenz der Pendeldrehung in der X-Y-Ebene
- ω = Schwingungsfrequenz des Pendels, $\omega^2 = (g/l)$
- g = Gravitations-Beschleunigung
- Ω = Kreisfrequenz durch Coriolis-Kraft, Breitengradabhängig
- Φ = Drehwinkel des Pendels in der X-Y-Ebene
- χ = Raumrichtungs- bzw. Anisotropie-abhängiger Anteil von Φ
- ε = Exzentrizität der Bahnellipse des Pendels, $\varepsilon \approx (A/l)(a/l)$.

Im Institut für Gravitationsforschung wurden Pendeldrehungen ω'' über 2 Jahre hinweg von einem automatisierten Aufbau aufgenommen. Die in diesem Artikel behandelten Daten sind zwischen dem 18. Juni und dem 7. August 2007 – während 49, fast 50 Tagen- erfasst worden und können als typisch für die über zwei Jahre hin gesammelten Daten gelten. In diese Zeit fallen 50 Sonnenaufgänge, 48 Mondaufgänge und wieder 50 Jupiteraufgänge. Jupiter wurde mit betrachtet, da beim Experiment von Herrn Prof. Allais 1954 nicht nur Sonne und Mond, sondern auch Jupiter eine Linie mit der Erde bildete [3].

Bedingt durch die Aufhängung des Pendels konnte ω'' nur über 57 Minuten kontinuierlich aufgenommen werden. Dies lag an der Aufhängung: eine Strebe trug eine Platte aus Stahl, auf der eine 5 mm durchmessende Stahlkugel und auf dieser wiederum das als Ring ausgeführte Joch, an dem das Pendel hing, ruhte. Die Drehung des Pendels wurde mithin durch den Innenradius und die Dicke des Jochs auf etwa 30° begrenzt. Erreicht ein Rand des Joches seine Trägerstrebe, so wurde die Pendelbewegung gestoppt, das Pendel automatisch zurück in seine Startlage gebracht, ausgelenkt und dann wieder gestartet. Das nahm etwa 3 min. in Anspruch. Um Fehler bei Maximal-Drehungen des Pendels von vorneherein auszuschließen, werden im Folgenden nur Messzyklen mit 27 (23) min. Länge betrachtet. Die Änderung des Pendeldrehwinkels Φ in der Zeit für einen typischen Zyklus ist im Bild unten wiedergegeben.



Institut für Gravitationsforschung

Nach dem Start bewegte sich das Pendel immer zuerst für ziemlich genau 3 min. 54 s nach 'rechts', drehte also im Uhrzeigersinn. Im Rahmen der Messgenauigkeit ließ sich hier der

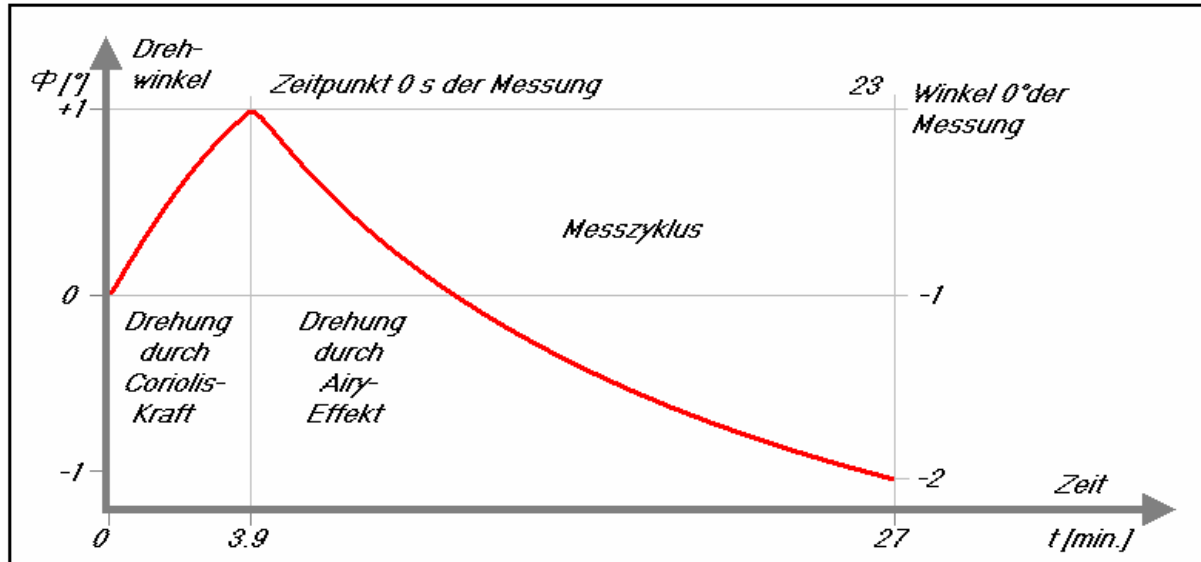


Fig. 2) Qualitative Darstellung der Drehung der Schwingungsebene des Pendels

Drehwinkel Ω von der Coriolis-Kraft beobachten, wie das schon von Herrn Prof. Allais beschrieben [2] wurde. Während dieser Zeit zeigten sich aber schon Auswirkungen der Pendeldrehung durch den AIRY-Effekt, der danach das weitere Verhalten der Drehung bestimmte. Die Drehung konnte ganz unabhängig von vorhergehenden Effekten erratisch sowohl ‚rechts‘ als auch ‚links‘ herum, also im oder auch gegen den Uhrzeigersinn verlaufen, wie schon erwartet worden war.

In den Graphen wird nur der maximale Drehwinkel Φ am Ende des jeweiligen Messzyklus angegeben, wobei der Winkel zu Ende der Coriolis-Kraft-dominierten Phase als Nullpunkt gesetzt wurde [xy]. Der entsprechende Zeitpunkt wurde dabei Nullpunkt der Zeitachse.

Die Ermittlung des Pendel-Drehwinkels Φ erfolgte mit zwei Laser-Entfernungsmessern an der unteren Spitze des Pendelstabes. Außerdem wurde der Drehwinkel am oberen Ende des Joches ähnlich dem Prinzip einer Spiegelwaage direkt gemessen. Die beiden so ermittelten Werte stimmten gut überein. Der größte Fehler $\Delta\Phi / \Phi$ betrug 0.00333° [3].

Schwankungen Δg im Gravitationsfeld g der Erde wurden hauptsächlich durch die Gezeiten verursacht, die gemäß der Formel für den Wert am Äquator

$$\Delta g = 2 G M_m R_e / r_m^3 + 2 G M_s R_e / r_s^3$$

mit:

- G = Gravitationskonstante, $G = 6.67e-11 \text{ m}^3/\text{kg s}^2$
- M_m = Masse des Mondes, $M_m = 7.3e22 \text{ kg}$
- M_s = Masse der Sonne, $M_s = 1,99e30 \text{ kg}$
- R_e = Erdradius, $R_e = 6.378e6 \text{ m}$
- r_m = Mittlerer Radius der Mondbahn, $r_m = 384.0e6 \text{ m}$
- r_s = Mittlerer Radius der Erdbahn, $r_s = 149.8e9 \text{ m}$

eine Abweichung von max. $\Delta g = \pm 1.601e-6 \text{ m/s}^2$ vom Ortswert für $g = 9.81019 \text{ m/s}^2$ ergeben. Während der hier interessierenden Tage änderte sich die Temperatur T zwischen 19°C und



Institut für Gravitationsforschung

27 °C, also um max. $\Delta T = \pm 4$ K bei einer Durchschnittstemperatur von $T = 296.16$ K.
 Der Luftdruck p schwankte von 990 bis 1040 mbar, also um max. $\Delta p = \pm 25$ mbar bei einem Durchschnittsdruck von $p = 1015$ mbar. Dies alles ergibt nach [9]

$$\Delta F / F = \pm ((\Delta g / g) - (\Delta T / T) + (\Delta p / p) + (\Delta \Phi / \Phi))$$

einen max. Gesamtfehler $\Delta F / F$ pro Messpunkt von ± 0.7574 %. Damit war der Experiment-Aufbau des IGF sehr wahrscheinlich ebenso genau wie der von Herrn Prof. Allais in den 50er Jahren [2].

2) Messergebnisse und Ergebnis-Analyse

Der im Institut über etwa 50 Tage beobachtete Verlauf der Pendeldrehungen ω'' , von dem im Anhang Graphen der aussagekräftigsten Zeiträume zu sehen sind, wurde aufgrund der Theorie von Herrn Prof. Allais zunächst auf besondere Ereignisse –Richtungswechsel, ruhige Phasen- untersucht, die von Sonne, Mond und Jupiter beeinflusst bzw. erzeugt worden sein könnten.

Himmelskörper	Aufgänge	Korreliert mit Verlauf		Unkorreliert mit Verlauf	
Sonne	50	20	40.00 %	30	60.00 %
Mond	48	17	35.42 %	31	64.58 %
Jupiter	50	22	44.00 %	28	56.00 %
Jupiter-Mond	mehrtäg. Ko.	8	42.11 %	11	57.89 %
Sonne-Mond	mehrtäg. Ko.	6	42.86 %	8	57.14 %

Konstellationen von Sonne und Jupiter sowie von Sonne, Mond und Jupiter gab es im betrachteten Zeitraum nicht. Aber das Ergebnis ist auch so klar genug. Nur 40.88 % der Ereignisse scheinen etwas mit den betrachteten Himmelskörpern zu tun zu haben. Der Großteil der Ereignisse –also 59.12 %- im Verlauf der Φ/t -Graphen zeigte keine Beeinflussung durch die Himmelskörper. Man findet natürlich immer einige Planeten, Asteroiden usw., deren Konstellationen untereinander mit einem Ereignis koinzidieren. So sind auch die Kommentare in den vorhergehenden Texten des IGF zu diesem Thema entstanden und zu verstehen.

Wenn aber eine solche Beeinflussung existieren würde, so könnte sich diese am gleichen Ort höchstens in einer Zeit von etwa 12 h, also der halben Erdrotationsdauer, wiederholen, wie es ja die Gezeiten zeigen. Das bedeutet, ω'' kann höchstens gleich $30^\circ/h$ sein. Tatsächlich wurden aber am überwiegenden Teil der Messtage, nämlich an 78%, Werte von ω'' gemessen, die fast gleich oder sogar größer als $40^\circ/h$ waren. Dies ist aber astronomisch nicht möglich. Das widerlegt die entsprechenden Ergebnisse und Schlussfolgerungen von Herrn Prof. Allais und anderen.

Tatsächlich lassen sich die angesprochenen Ereignisse durch Erschütterungen der Erde und des Instituts-Gebäudes erklären [4]. Die am IGF ständig aufgezeichneten Gebäudeschwingungen stimmen in den Zeitpunkten ihres Auftretens mit mehr oder minder auffallenden Richtungswechseln der Φ/t -Graphen überein, wenn auch nicht in der Stärke. Letzteres ist mit der Beschaffenheit des Bodens und des Gebäudes zu erklären [5]. Selbst größere Erdbeben – die allerdings zum Glück weiter fort stattfanden- wurden zeitlich passend, wenn auch nur mit kleinen Ausschlägen der Φ/t -Graphen erfasst. Beispiel dafür sind das Beben in Griechenland zu Ende Juni 2007 und das Beben in der Japanischen See Mitte Juli 2007 [3]. Ein Ereignis zeigte aber sowohl zeitliche als auch größenordnungsmäßige Übereinstimmung mit einem Geschehen in rund zehn Kilometer Entfernung zum Institut:



Institut für Gravitationsforschung

Die Explosion eines Blindgängers aus dem Zweiten Weltkrieg am 23. Oktober 2006, 10:45, auf der nahebei verlaufenden A3, die einen Menschen umbrachte [6]. Es ist zu vermuten, dass Herr Prof. Allais ebenso Stöße und Schwingungen in der Umgebung seines Aufbaus gemessen hat und sich durch die zufällige Übereinstimmung mit lunisolaren Konstellationen in der Auswertung täuschen ließ.

Wie ist dann aber die von ihm ermittelte Formel erklären? Ist diese empirisch ermittelte Formel unabhängig von Einflüssen der Sonne, des Mondes usw. theoretisch ableitbar?

Dazu nimmt man zunächst an, dass der ALLAIS-Effekt durch einfache Störungen aus der Umgebung eines Pendels angeregt wird. Dann kann man die Bewegungsgleichung für ein Teilchen oder Pendel herleiten (siehe [7], [8]), das

- sich in der X-Y-Ebene bewegt.
- unter Einfluss der Kräfte $F_x = -m \omega^2 x$, Rückstellkraft Pendel
 $F_y = -m \omega^2 y$ Rückstellkraft Pendel
 $f_x = \alpha m \omega^2 y$ Kleine, eingekoppelte Kraft ist.
- ausgelenkt wird mit $x = 0$ $dx/dt = 0$,
 $y = 0$ $dy/dt = A\omega$.

Es gilt:

$$\begin{aligned} d^2x/dt^2 &= -\omega^2(x - \alpha y) \\ d^2y/dt^2 &= -\omega^2 y \end{aligned}$$

Die letzte Formel wird gelöst durch die harmonische Schwingung:

$$\begin{aligned} y(t) &= \kappa' \sin(\omega t) + \kappa'' \cos(\omega t), \text{ mit Anfangsbedingungen also:} \\ y(t) &= A \sin(\omega t) \end{aligned}$$

Einsetzen in die erste Formel liefert:

$$d^2x/dt^2 = -\omega^2(x - \alpha A \sin(\omega t))$$

Eine Lösung der Formel kann geraten werden als:

$$x(t) = \kappa t \cos(\omega t) \quad \text{wobei dann } \kappa = -\frac{1}{2} A \alpha \omega$$

Die allgemeine Lösung für $x(t)$ folgt dann zu:

$$x(t) = \kappa''' \cos(\omega t) + \kappa'''' \sin(\omega t) - \frac{1}{2} A \alpha \omega t \cos(\omega t).$$

Bei Einsetzen der Bedingungen gilt:

$$x(t) = \frac{1}{2} A \alpha (\sin(\omega t) - \omega t \cos(\omega t))$$

Nun lässt sich der Drehimpuls L bzw. die Kreisfrequenz $\omega' = L/\theta$ des Teilchens oder Pendels in der X-Y-Ebene berechnen:

$$\begin{aligned} L &= m (x dy/dt - y dx/dt) = \frac{1}{2} m \omega A^2 \alpha (\frac{1}{2} \sin(2\omega t) - \omega t) \\ \omega' &= \omega \alpha (\frac{1}{2} \sin(2\omega t) - \omega t) \end{aligned}$$



Institut für Gravitationsforschung

Setzt man α gleich $\frac{3}{8} \varepsilon$, so ist natürlich:

$$\omega' = \frac{3}{8} \omega \varepsilon (\frac{1}{2} \sin(2\omega t) - \omega t)$$

Wird noch die Erddrehung berücksichtigt, so ist das durch die Coriolis-Kraft hervorgerufene Ω von ω' abziehen, um die Gesamtdrehfrequenz ω'' zu erhalten:

$$\omega'' = -\Omega + \frac{3}{8} \omega \varepsilon (\frac{1}{2} \sin(2\omega t) - \omega t).$$

Der Verlauf der Teilchen- oder Pendelbahn in der X-Y-Ebene sieht –ohne den Term $-\Omega$ - dann qualitativ so aus:

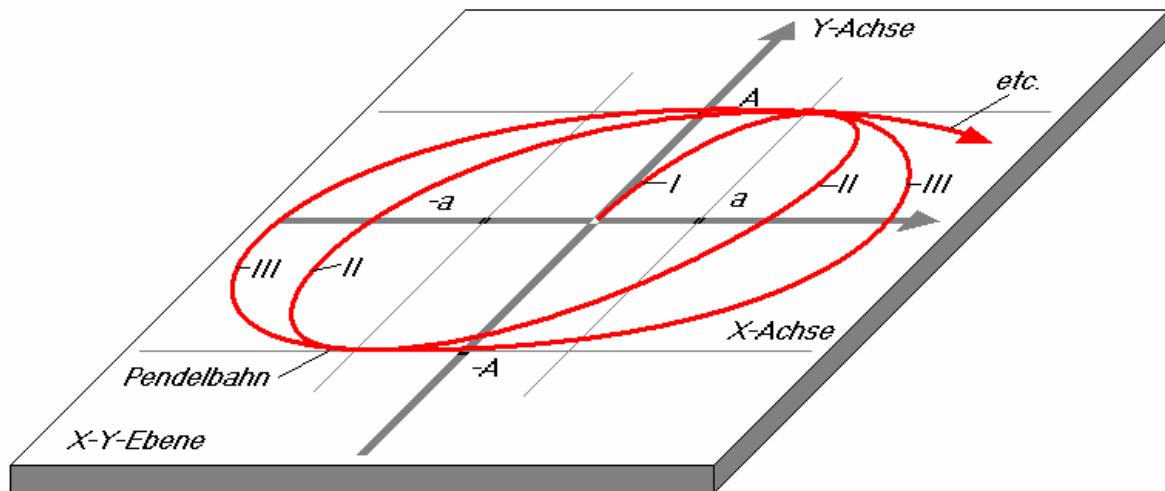


Fig. 3) Qualitative Darstellung der Pendelbewegung in der X-Y-Ebene

Dieser theoretisch ermittelte Verlauf entspricht gut dem aus dem Experiment. Die Schwingungsebene des Pendels dreht sich durch den AIRY-Effekt mit $\frac{3}{8} \omega \varepsilon (\frac{1}{2} \sin(2\omega t))$. Hinzu kommt aber noch ein linear mit der Zeit ansteigender Term $\frac{3}{8} \omega \varepsilon (-\omega t)$. Dieser verzerrt die Pendelbewegung, so dass es aussieht, als ob sich die Schwingungsrichtung des Pendels noch zusätzlich verdreht. Je nach Stärke der Anregung beim Start oder dem Schwingungsvorgang des Pendels wird die Verdrehung stärker oder schwächer. Und sie bestimmt die Richtung.

Es ist damit unwahrscheinlich, dass zwei Parakonische Pendel an verschiedenen Orten exakt das gleiche Verhalten zeigen, auch wenn sie von gleicher Bauart sind. Die von Herrn Prof. Allais diesbezüglich angeführten beiden gleichzeitigen Experimente in St. Germain en Laye und Bougival im Jahr 1958 belegen diese These, auch wenn sie das Gegenteil zeigen sollten. Die Formel zeigt direkt: ist die Pendellänge l groß genug und damit $\omega \ll \Omega$, so wechselt die Drehung der Schwingungsebene vom Verhalten des Parakonischen Pendels zu dem des Foucault-Pendels, wie schon Herr Prof. Allais schrieb.

Vergleicht man die hergeleitete Formel für ω'' mit der von Herrn Prof. Allais ermittelten,

$\omega'' = -\Omega + \frac{3}{8} \omega \varepsilon (\frac{1}{2} \sin(2\omega t) - \omega t)$	Theorie
$\omega'' = -\Omega + \frac{3}{8} \omega \varepsilon (\frac{1}{2} \sin(2(\chi - \Phi)))$	Empirie



Institut für Gravitationsforschung

so fällt auf, dass sie bis auf den Term ($\frac{1}{2} \sin(2 \dots) - \dots$) identisch sind. Es liegt nahe, zu vermuten, dass $-\omega t$ in ($\frac{1}{2} \sin(2\omega t) - \omega t$) genau der Anisotropie des Raumes χ von Herrn Prof. Allais entspricht. Allerdings handelt es sich dabei nur um ein Artefakt der Pendelbewegung und nicht um ein neues, irgendwie mit der Gravitation verknüpfted physikalisches Phänomen.

3) Zusammenfassung

Aufgrund der vorliegenden Untersuchung ist festzustellen, dass das Parakonische Pendel
- den ALLAIS-Effekt wegen alltäglicher Störungen der Umgebung zeigt und
- keine neue, sondern nur die klassische Physik zur Erklärung seines Verhaltens benötigt.
Dieses Ergebnis der Nachforschungen des Instituts für Gravitationsforschung ist vorläufig und wird hiermit zur Diskussion gestellt.

Quellen:

- [1] Corliss, W. R.; The Sun and Solar System debris
 The Sourcebook Project

- [2] Allais, M.; The „Allais Effect“
 and my experiments with the paraconical pendulum 1954-1960
 Memoir for NASA, 6-18.11.1999

- [3] Zentgraf, E; Persönliche Mitteilung
 November 2007

- [4] Chen, Y. T.; Gravitational Experiments in the Laboratory
 Cook, A.; Cambridge University Press

- [5] Junker, T; Persönliche Mitteilung
 November 2007

- [6] Anonym Die vermeidbare Tragödie
 Süddeutsche Zeitung, Ausgabe 13.10.2007

- [7] Kagermann, H; Aufgabensammlung Theoretische Physik, Teil 1: Mechanik
 Köhler, W; Verlag Zimmermann-Neufang – Ulmen

- [8] Greiner, W; Theoretische Physik, Mechanik II
 Verlag Harri Deutsch, 1989

- [9] Kuchling, H.; Taschenbuch der Physik
 Verlag Harri Deutsch, 1989.