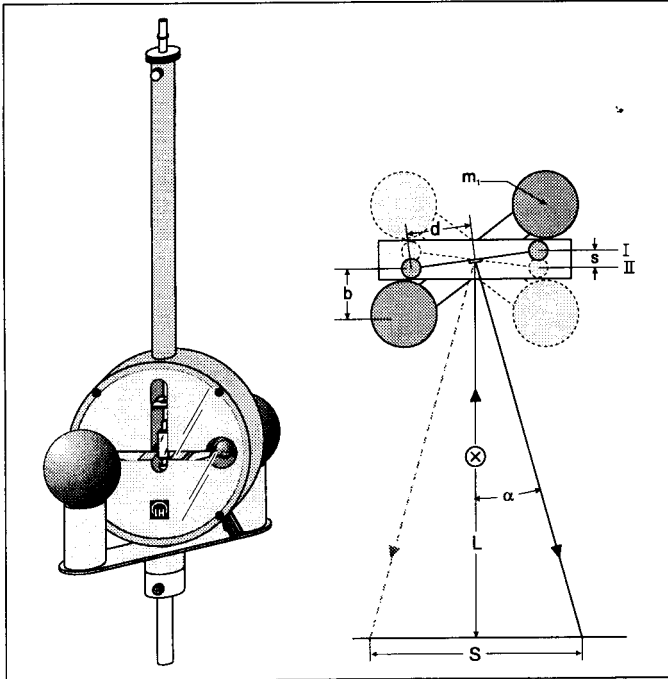


6/95-Pr/Sf-



Gebrauchsanweisung Instruction Sheet

332 101

Gravitations-Drehwaage Gravitation Torsion balance

Fig. 1

Gravitations-Drehwaage (332 101) sowie schematische Darstellung zum Meßprinzip

Gravitation torsion balance (332 101) and schematic diagram of measuring principle

Das Gerät dient zur Demonstration der durch Gravitationskräfte verursachten Massenanziehung und zur Bestimmung der Gravitationskonstanten f .

Meßprinzip (Fig.1)

Ein Torsionspendel mit einer Schwingungsdauer von etwa 10 min wird durch eine Positionsänderung der äußeren Massen m_1 , die auf den hantelförmigen Pendelkörper wirken, in seinem statischen Gleichgewicht (Stellung I) gestört; es führt gedämpfte Schwingungen aus und schwingt in eine neue Gleichgewichtslage (Stellung II) ein. Der Winkel zwischen beiden Gleichgewichtslagen ist ein Maß für die wirksame Gravitationskraft.

Die Schwingung des Pendels, an dem ein Hohlspiegel angebracht ist, wird durch eine Lichtmarke angezeigt, wahlweise

- mit sichtbarem Licht direkt auf einer mm-Skala oder
- mit Infrarot-Licht unter Verwendung des IR-Position-Detectors (332 11), der eine Schreiberaufzeichnung oder eine computerunterstützte Meßwerterfassung ermöglicht.

Aus dem zeitlichen Verlauf der Schwingung, der Masse m_1 und der Geometrie der Anordnung ermittelt man die Gravitationskonstante f entweder nach der Endausschlagmethode oder (bei verkürztem Meßverfahren) nach der Beschleunigungsmethode.

Bei der *Endausschlagmethode* werden die Schwingungsdauer T des Torsionspendels und der Abstand S zwischen den Lichtzeigerpositionen für die beiden Gleichgewichtslagen ausgewertet:

$$f = \frac{\pi^2 \cdot b^2 \cdot d \cdot S}{m_1 \cdot T^2 \cdot L} \quad (I)$$

Bei der *Beschleunigungsmethode* wird die Beschleunigung $a = 2s/t^2$ des Torsionspendels nach der Störung seiner Gleichgewichtslage durch die Massen m_1 ausgewertet:

$$f = \frac{S \cdot d \cdot b^2}{2 m_1 \cdot t^2 \cdot L} \quad (II)$$

The device can be used to demonstrate the gravitational attractive force between masses and to determine the gravitational constant f .

Measurement principle (Fig.1)

The static equilibrium (position I) of a torsion pendulum with a period of approx. 10 min. is disturbed by a change in position of the outer masses m_1 , which affect the dumbbell-shaped pendulum body. The oscillations become damped and the pendulum takes up a new equilibrium position (position 2). The angle between the two positions is a measure of the active gravitational force.

The oscillation of the pendulum, which is equipped with a concave mirror, is indicated by a light pointer. This is possible using

- visible light directly on a mm-scale or
- infrared light along with the IR position detector (332 11). The latter enables the measurement values to be plotted or evaluated by computer.

The gravitational constant f can be obtained from the oscillation curve with respect to time, the mass m_1 and the geometry of the arrangement using either the end deflection method or (in a quicker process) the acceleration method.

In the *end deflection method* the torsion pendulum period T and the distance S separating the light pointer positions are evaluated for the two equilibrium positions:

$$f = \frac{\pi^2 \cdot b^2 \cdot d \cdot S}{m_1 \cdot T^2 \cdot L} \quad (I)$$

In the *acceleration method*, the acceleration of the torsion pendulum $a = 2s/t^2$ is evaluated using the masses m_1 after the equilibrium position has been disturbed:

$$f = \frac{S \cdot d \cdot b^2}{2 m_1 \cdot t^2 \cdot L} \quad (II)$$

1 Sicherheitshinweise

Das empfindliche Bronzeband des Torsionspendels vor unkontrollierter mechanischer Belastung schützen:

- Arretierschrauben (7) für das Schwingungssystem - siehe Fig. 2 - erst lösen, wenn das Gerät ordnungsgemäß montiert und in Versuchsposition gebracht ist.
- Schwingungssystem stets arretieren, wenn das Gerät nicht benutzt wird: Arretierung insbesondere beim Transport und bei der Montage sicherstellen.

Rändelschraube (3.1) - siehe Fig. 2 - zur Fixierung des bei Lieferung vorjustierten Torsionskopf nur dann geringfügig lockern, wenn nach ordnungsgemäßer Montage der Drehwaage bei deren Inbetriebnahme eine Feinjustierung des Nullpunktes erforderlich sein sollte.

Madenschraube (3.2) - siehe Fig. 2 - zur Fixierung des Pendelhalters nur lösen beim Austausch des Torsionsbandes gemäß Abschnitt 4.

1 Safety notes

Protect the sensitive bronze band of the torsion pendulum from uncontrolled mechanical loading:

- Do not unscrew the oscillating system's locking screws (7) - see Fig. 2 - before the device has been correctly assembled and brought into position.
- Always lock the oscillating system when the device is not in use. In particular, make sure it is locked during transport and assembly.

The knurled screw (3.1) - see Fig. 2 - for fixing the torsion head (preadjusted on delivery) is only to be slightly loosened if a fine adjustment of the zero point proves necessary on putting the correctly-assembled torsion balance into operation. The grub screw (3.2) - see Fig. 2 - for fixing the pendulum holder is only to be loosened when replacing the torsion band as described in section 4.

2 Beschreibung, technische Daten, Lieferumfang (siehe Fig. 2)

2 Description, technical data, scope of supply (see Fig. 2)

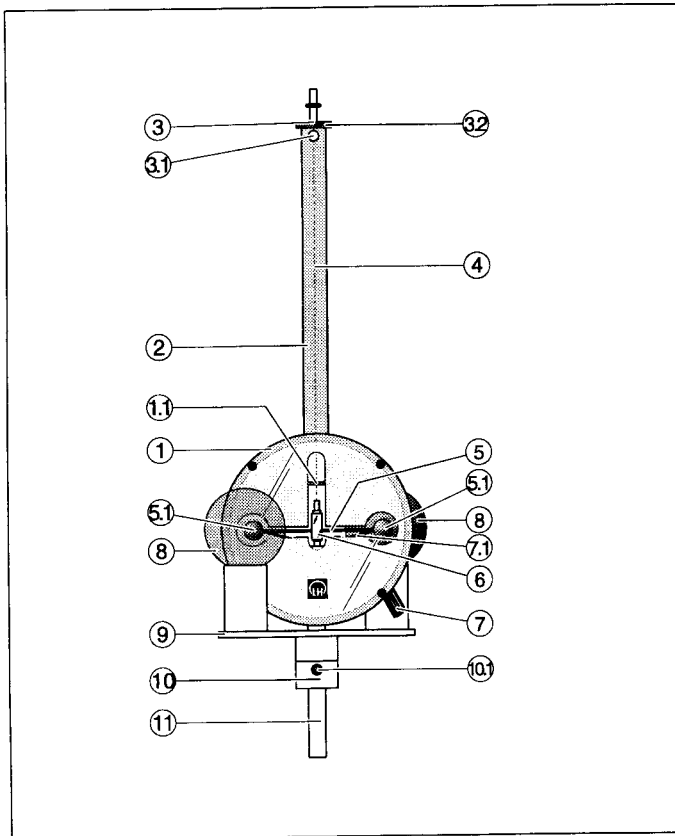


Fig.2
Gravitations-Drehwaage.
Gravitation torsion balance

- ① Metallgehäuse (Ø15 cm), mit Metallring und Glasabdeckungen; zweiteilige Blende (1.1) zur Verminderung störender Konvektionen zwischen Gehäuse und Schutzrohr ②
- ② Schutzrohr (25 cm lang) für Torsionsband ④
- ③ Torsionskopf mit Pendelhalter, bei gelockerter Schraube (3.1) drehbar zur Justierung der Gleichgewichtslage des Pendels; Pendelhalter mit Madenschraube (3.2) fixiert
Wichtig!
Rändelschraube (3.1) nur lösen, wenn eine Nullpunktjustierung gemäß Abschnitt 3.5 erforderlich ist.
Madenschraube (3.2) nur lösen beim Austausch des Torsionsbandes gemäß Abschnitt 4.
- ④ Torsionsband aus Bronze, 26 cm lang
Ersatzteil-Nr: 683 21
- ⑤ hantelförmiger Pendelkörper, bestehend aus 2 Bleikugeln (5.1) auf Metallstab
- ⑥ Hohlspiegel für Lichtmarken-Anzeige der Pendelbewegung

- ① Metal housing (15 cm dia.), with metal ring and glass covers; two-part slide (1.1) to prevent interference from convection currents between the housing and protective tube (2)
- ② Protective tube (25 cm long) for torsion band (4)
- ③ Torsion head with pendulum holder, can be rotated for adjustment of the pendulum equilibrium position when screw has been loosened (3.1); pendulum holder fixed with grub screw (3.2)
Important!
Do not loosen the knurled screw (3.1) unless it is essential to carry out a zero-point adjustment in accordance with section 3.5. Only loosen the grub screw (3.2) when the torsion band is being replaced as described in section 4.
- ④ Torsion band made from bronze, 26 cm long
Spare part no.: 683 21
- ⑤ Dumbbell-shaped pendulum body, consisting of 2 lead balls (5.1) on a metal rod

- Brennweite f ca. 30 cm
- ⑦ Schrauben zur Arretierung des Pendelkörpers ⑤ durch Federpaar (7.1)
 - ⑧ Paar große Bleikugeln
Ersatzteil-Nr. für 1 Kugel: 683 22
 - ⑨ Kugelträger, um Stativstange ⑪ schwenkbar, zur versuchsgerechten Anordnung der großen Bleikugeln ⑧
 - ⑩ Auflagering mit Fixierschraube (10.1) für Kugelträger
 - ⑪ Stativstange (9 cm x 1,2 cm Ø) zu Aufbau des Gerätes in Stativmaterial

Im Lieferumfang enthalten:

1 m selbstklebendes Skalenband mit cm- und mm-Teilung

Versuchswichtige Daten (siehe Fig. 1):

Gehäusetiefe: 30 mm

Torsionspendel

Schwingungsdauer: etwa 10 min

Durchmesser / Masse m_2 einer Bleikugel (5.1):

15 mm / 20 g

Abstand d eines Kugelmittelpunktes zur Drehachse: 50 mm

Durchmesser / Masse m_1 einer großen Bleikugel ⑧:

64 mm / 1.5 kg $\pm$ 5 g

Abstand b zwischen den Mittelpunkten der großen Kugel (bei Gehäuseberührung) und der kleinen Kugel (in Nulllage): 47 mm

3 Bedienung

Wichtig!

Zufriedenstellende Versuchsergebnisse werden nur dann erzielt, wenn das Torsionspendel einwandfrei justiert ist und wenn die durch die Massenanziehung bewirkten Torsionsschwingungen durch keine unerwünschten Pendelbewegungen beeinträchtigt werden.

Das Pendel reagiert sehr empfindlich auf Erschütterungen, die auf die Versuchsanordnung übertragen werden. Ein stabiler Aufbau an einer festen Wand oder auf einem schweren Tisch ist daher unerlässlich.

Temperaturschwankungen bewirken im Gehäuse der Drehwaage Konvektionen, die zu unerwünschten Bewegungen (s. Fig. 6) des Torsionspendels führen.

Deshalb ist der Experimentierplatz so zu wählen, daß die Drehwaage keiner Sonneneinstrahlung und keinen Luftbewegungen ausgesetzt ist.

3.1 Zusätzlich erforderliche Geräte

3.1.1. Schwingungsanzeige durch (sichtbare) Lichtmarke auf einer mm-Skala

1 Lampengehäuse	450 60
1 Lampe, 6 V, 30 W	450 51
1 asphärischer Kondensor (mit 1-mm-Spaltblende)	460 20
1 Wechselspannungsquelle, 6 V, 30 W z.B.	562 73

1 Rollbandmaß	311 77
1 Stoppuhr z.B.	313 05

1 Schwebemagnet	510 44
-----------------	--------

Wand-Aufbau (siehe Fig. 3)

1 Großer Stativfuß	300 01
1 Paar Stellschrauben	301 06
1 Leybold-Muffe	301 01
1 Drehmuffe	301 03
1 Stativstange, 47 cm	300 42
Montagehilfen und -zubehör:	
Bohrmaschine, Steinbohrer, Dübel (6 mm)	

Tisch-Aufbau

1 Optische Bank mit Normalprofil, 1 m	460 32
2 Optikreiter z. B.	460 351

- ⑥ Concave mirror for light pointer indication of pendulum motion
Focal length f approx. 30 cm
- ⑦ Screws for locking the pendulum body ⑤ using pair of springs (7.1)
- ⑧ Pair of large lead balls
Spare part no. for 1 ball: 683 22
- ⑨ Ball carrier, can be rotated around stand rod ⑪, for correct experimental arrangement of the large lead balls ⑧
- ⑩ Supporting ring with fixing screw (10.1) for ball carrier
- ⑪ Stand rod (9 cm x 1.2 cm dia.) for assembly of the device in stand material

Included in scope of supply:

1 m self-adhesive scale tape with cm and mm divisions

Important experimental data (see Fig. 1):

Housing depth: 30 mm

Torsion pendulum

Period: approx. 10 min

Diameter / mass m_2 of a lead ball (5.1):

15 mm / 20 g

Distance d between the center of a ball and the axis of rotation: 50 mm

Diameter / mass m_1 of a large lead ball ⑧:

64 mm / 1.5 kg $\pm$ 5 g

Distance b between the center of the large ball (when contact is made with housing) and the small ball (in the equilibrium position): 47 mm

3 Operation

Important!

Satisfactory experiment results are only possible when the torsion pendulum has been properly adjusted and the torsion oscillations produced by attraction between the masses are not affected by unwanted pendulum movements. The pendulum is very sensitive to any disturbance of the experiment setup: make sure that the experiment setup is absolutely stable, e.g. by attaching it to a solid wall or placing it on a sturdy bench or table.

Temperature variations cause convection in the housing of the torsion balance, which in turn cause undesired motions of the torsion pendulum (see Fig. 6).

For this reason, select an experiment site which does not stand in direct sunlight or drafts.

3.1 Additional equipment required

3.1.1. Oscillation indication using (visible) light marks on a mm-scale

1 Lamp housing	450 60
1 Lamp, 6 V, 30 W	450 51
1 Aspherical condenser (with 1-mm slit screen)	460 20
1 A.C. voltage source, 6 V, 30 W e.g.	562 73

1 Steel tape measure	311 77
1 Stop-clock e.g.	313 05

1 Suspended magnet	510 44
--------------------	--------

Wall assembly (see Fig. 3)

1 Large stand base	300 31
1 Pair of levelling screws	300 06
1 Leybold multiclamp	301 01
1 Rotatable clamp	301 03
1 Stand rod, 47 cm	300 42
Assembly aids and accessories:	
Electric drill, masonry drill bit, wall plugs (6 mm)	

Benchtop assembly

1 Optical bench with normal profile, 1 m	460 32
2 Optical riders e.g.	460 351

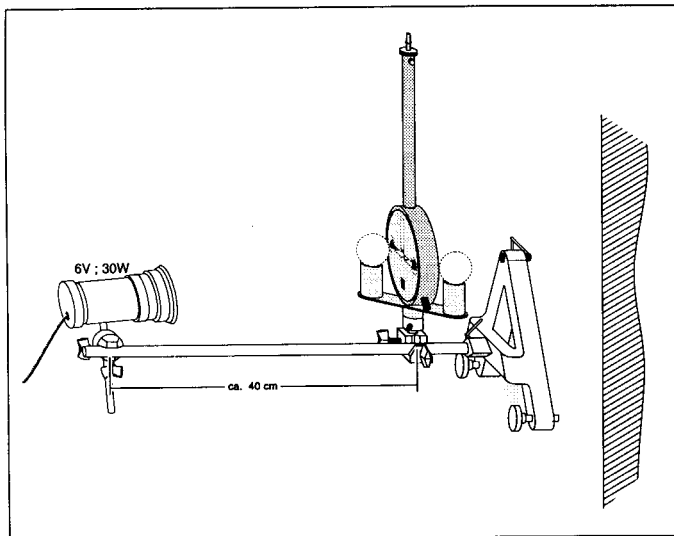


Fig. 3
Aufbau der Gravitations-Drehwaage; Anzeige des Schwingungsverlaufs durch (sichtbaren) Lichtzeiger auf einer mm-Skala (für IR-Positions-Detector, 332 11, ungeeignet!)
Setup for the gravitation torsion balance; display of the oscillation curve by means of (visible) light pointer on mm-scale (not suitable for IR position detector 332 11!)

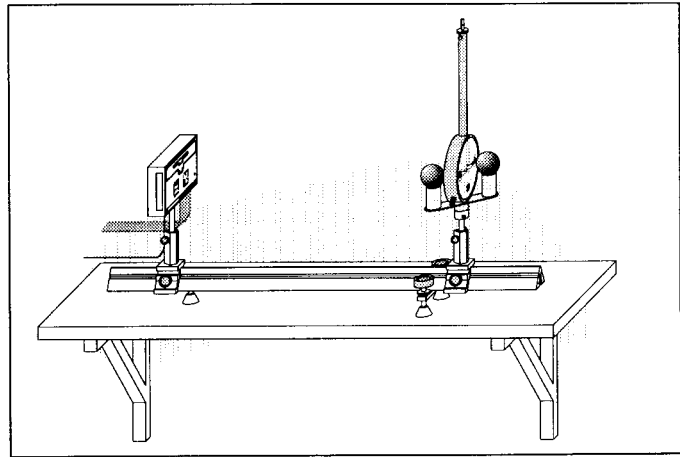


Fig. 4
Aufbau der Gravitations-Drehwaage; elektronische Erfassung des Schwingungsverlaufs durch IR-Position-Detector (332 11); Aufzeichnung mit TY-Schreiber oder Weiterverarbeitung mit Computerunterstützung (s. Fig. 4.1)

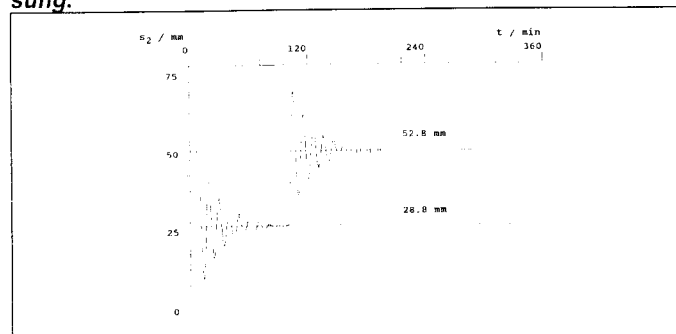
Benchtop assembly of the gravitation torsion balance; electronic determination of the oscillation curve using an IR position detector (332 11); recording with TY-recorder or further processing with computer assistance (see Fig. 4.1)

3.1.2 Schreiberaufzeichnung oder computerunterstützte Erfassung der Schwingung mit Infrarot-Licht; Schienen-aufbau auf einem Tisch (siehe Fig. 4)

1 Infrarot-Position-Detector	332 11
1 Wechselspannungsquelle, 12 V z.B.	562 73
1 TY-Schreiber z. B.	575 701
oder	
MS-DOS-Rechner über serielle Schnittstelle	
RS 232-Kabel	z.B. 530 008
Programm mit versuchsspezifischen Voreinstellungen z.B. auf der Demo-Diskette zur "Universellen Meßwerterfassung", enthalten in Lieferumfang des IR-Position-Detector (332 11); Meßbeispiel s. Fig. 4.1	
oder	
MS-DOS-Rechner mit Interface	
CASSYpack-E	524 007
Programm "Messen und Auswerten"	524 111
1 Rollbandmaß	311 77
1 Schwebemagnet	510 44
1 Optische Bank mit Normalprofil, 1 m	460 32
2 Optikreiter z. B.	460 351
1 Stativstange, 25 cm z. B.	300 41

Hinweis:

Weitere Informationen zum Einsatz des Infrarot-Position-Detector finden Sie in der zugehörigen Gebrauchsanweisung.



3.1.2 Recorder plotting or computer-assisted recording of the oscillation using infrared light; rail assembly on a bench (see Fig. 4)

1 Infrared position detector	332 11
1 A.C. voltage source, 12 V e.g.	562 73
1 TY-recorder e.g.	575 701
or	
MS DOS computer via serial interface	
RS 232 cable	e.g. 530 008
Program with experiment-specific default settings e.g. contained on the demo disk for "Universal Data Acquisition", included in the scope of supply of the IR position detector (332 11); see measuring example Fig. 4.1.	
or	
MS DOS computer with interface	
CASSYpack-E	524 007
Program "Measuring and Evaluating"	524 112
1 Steel tape measure	311 77
1 Suspended magnet	510 44
1 Optical bench with normal profile, 1 m	460 32
2 Optical riders e.g.	460 351
1 Stand rod, 25 cm e.g.	300 41

Note:

Further information on the use of the infrared position detector can be found in the corresponding Instruction Sheet.

Fig. 4.1
Computerunterstützte Aufzeichnung der Schwingungen der Gravitationsdrehwaage

Computer-assisted recording of the oscillations of the gravitation torsion balance

3.2 Wandmontage des Stativfußes (vor Erstinbetriebnahme erforderlich für einen Aufbau an der Wand gemäß Fig. 3)

Wichtig:

Diese Wandmontage des Stativmaterials ist ungeeignet für den Aufbau mit IR-Position-Detektor (s. Abschnitt 3.1.2; Fig. 4)

Stativfuß an seiner Scheitelbohrung gemäß Fig. 5.1 - 5.3 fachgerecht eindübeln und mit Hilfe der Stellschrauben parallel zur Wand ausrichten; falls sich die Stellschrauben in die Wand eindrücken, feste Unterlage benutzen.

3.2 Mounting the stand base on the wall (required for wall mounting as shown in Fig. 3 before using the setup for the first time.)

Important:

Wall mounting of the stand material is not suitable for the experiment setup with the IR position detector 332 11 (see section 3.1.2; Fig. 4).

Correctly mount the stand base on its apex hole as shown in Fig. 5.1 - 3.3 and align parallel to the wall using levelling screws; use solid base material if the levelling screws press into the wall.

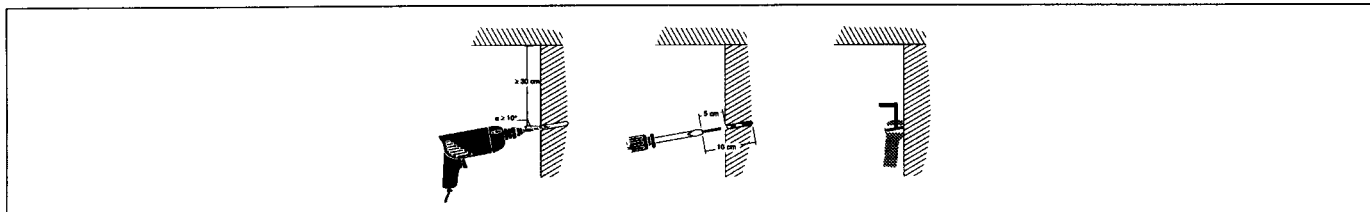


Fig. 5.1-5.3

Wandmontage des Stativfußes
Wall-mounting of the stand base

3.3 Versuchsvorbereitung

Anordnung - zunächst ohne die großen Bleikugeln - gemäß Fig. 3 an der Wand (oder sinngemäß auf einem stabilen Tisch auf der Optischen Bank) aufbauen.

Lampengehäuse so ausrichten, daß der reflektierte Strahl ungehindert auf die mindestens 5 m entfernte Skala projiziert wird.

Leuchtwendel lotrecht ausrichten, bevor der Kondensor mit Blendenhalter und Spalt (lotrecht!) auf das Lampengehäuse aufgesteckt wird.

Durch Verschieben des Einsatzes im Lampengehäuse Wendel scharf auf den Spiegel der Drehwaage abbilden. Dazu ein weißes Blatt Papier direkt vor die Waage halten, auf welchem die Leuchtwendel sichtbar wird.

Lampengehäuse so verschieben, daß der Spalt scharf auf der Skala abgebildet wird.

Erforderlichenfalls den Nullpunkt gemäß Abschnitt 3.5 justieren. Bleikugeln auflegen und in eine Extremstellung bringen. Dabei Berühren des Gehäuses durch Finger oder Bleikugeln unbedingt vermeiden.

3.3 Preparing for the experiment

Assemble the arrangement - initially without the large lead balls - on the wall as shown in Fig. 3 (or similarly on the optical bench on a sturdy lab bench).

Align the lamp housing so that the reflected beam is projected unobstructed onto the scale, which should be positioned at least 5 m distant.

Align the filament so that it is vertical before attaching the condenser with screen holder and slit (vertically!) to the lamp housing.

Move the insert in the lamp housing so that a focused image of the filament is projected onto the torsion balance mirror. To do this, hold a white sheet of paper, on which the filament forms an image, directly in front of the balance.

Move the lamp housing so that the slit is focused onto the scale.

If necessary, adjust the zero-point as described in section 3.5.

Attach the lead balls and bring the arrangement to an extreme position. In carrying out this step make absolutely sure that the housing does not come into contact with either your finger or a lead ball.

3.4 Versuchsdurchführung; Meßbeispiel

Wichtig!

Anordnung nach dem Aufbau gemäß Abschnitt 3.3 mindestens zwei Stunden erschütterungsfrei stehen lassen, sodaß das Pendel in die Gleichgewichtslage einschwngen kann.

Kugelträger ⑨ ohne Gehäuseberührung umschwenken. Zur Verkürzung der Beruhigungszeit für das Pendel den Diamagnetismus des Bleis ausnutzen: Wenn sich eine der Bleikugeln des Pendelkörpers der Glasabdeckung nähert, einen starken Magneten bis zur Umkehr des Systems dagegenhalten, ohne das Glas zu berühren.

Versuchsanordnung während der Meßwerterfassung keiner mechanischen Erschütterung und keinen Temperaturschwankungen, die zu Konvektionen in Gehäuse der Drehwaage führen können, aussetzen (s. Fig. 6)

Vor Beginn der Messungen Stabilität des Nullpunktes kontrollieren. Nullpunktschwankungen erforderlichenfalls über mindestens 10 Minuten beobachten und dokumentieren; daraus x_0 mitteln.

Zum Zeitpunkt $t = 0$ den Träger mit den Bleikugeln zügig, aber so vorsichtig von der einen in die andere Extremstellung schwenken, daß das Gehäuse weder von den Fingern, noch von den Bleikugeln berührt wird. Unmittelbar nach dem Umschwenken Stoppuhr starten.

Für die Endausschlagmethode über mindestens 3 Schwingungsperioden, für die Beschleunigungsmethode über 1 Periode die Stellung des Lichtzeigers auf der Skala alle 30 s ablesen und notieren (Fig. 6)

3.4 Experiment procedure; measuring example

Important!

After the experiment has been set up as described in section 3.3, it must be left undisturbed for at least two hours so that the pendulum can settle in its equilibrium state.

Turn the ball carrier ⑨ without touching the housing.

To shorten this settling time, make use of the diamagnetism of the lead: each time one of the pendulum lead balls approaches the glass cover, hold up a strong magnet - without touching the glass - until the motion of the system is reversed.

The experiment setup must not be subjected to any shocks or temperature variations which may cause convection in the torsion balance housing while recording measured values (see Fig. 6)

Check the zero-point stability before starting the measurement. If necessary, observe and note the zero-point fluctuations for at least 10 minutes so that you can determine an average value for x_0 .

At time $t = 0$ rotate the carrier with the lead balls quickly from one extreme position to the other. However, in carrying out this movement, make sure that fingers or lead balls do not come into contact with the housing. Start the stop-clock immediately after shifting the carrier.

Read off and note the position of the light pointer on the scale every 30 s (Fig. 6) for at least 3 periods when using the end displacement method and for 1 period when using the acceleration method.

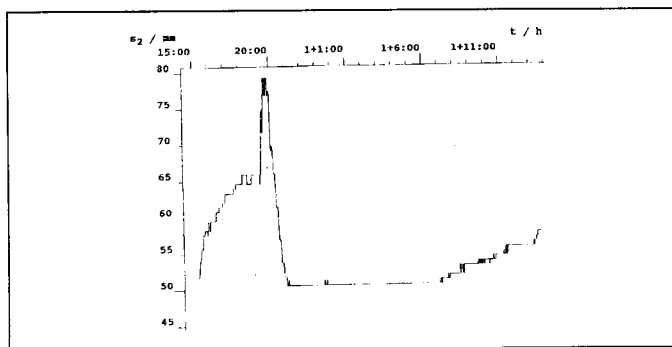


Fig. 6
24-Stunden-Protokoll über die Position des Torsionspendels: Positionsänderung im wesentlichen bedingt durch tageszeitabhängige Temperaturschwankungen (besonders ausgeprägt bei direkter Sonneneinstrahlung)

24-hour log of the position of the torsion pendulum: position changes are essentially due to (day)time dependent variations in temperature (particularly noticeable for exposure to direct sunlight)

Meßbeispiel:

Gerätekosten:

Masse der großen Bleikugel: $m_1 = 1,5 \text{ kg}$
 Abstand des Kugelmittelpunktes zur Drehachse: $d = 0,05 \text{ m}$
 Abstand zwischen den Mittelpunkten der großen Kugel (bei Gehäuseberührung) und der kleinen Kugel (in Gleichgewichtslage): $b = 0,047 \text{ mm}$

Abstand Spiegel - Drehwaage: $L = 4,425 \text{ m}$

Schwingungsdauer T (aus Fig. 7):

$$T = \frac{(2790 - 315) \text{ s}}{4} = 618,8 \text{ s}$$

Anfangsgleichgewichtslage: $x_0 = 47 \text{ cm}$

Endgleichgewichtslage x_{00} (aus drei aufeinanderfolgenden Extrema ermitteln) z.B.

$$x_{00} = \frac{(x_1 + x_3)/2 + x_2}{2} = \frac{x_1}{4} + \frac{x_2}{2} + \frac{x_3}{4} = 62,3 \text{ cm}$$

Differenz S der Lichtzeigerpositionen für die Anfangs- und Endgleichgewichtslage des Pendels:

$$S = x_{00} - x_0 = 62,3 \text{ cm} - 47 \text{ cm} = 15,3 \text{ cm}$$

Durch Einsetzen in Gleichung (1) für die Endausschlagmethode ergibt sich die Gravitationskonstante f

$$f = \frac{\pi^2 \cdot (0,047 \text{ m})^2 \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 0,153 \text{ m}}{1,5 \text{ kg} \cdot (618,8 \text{ s})^2 \cdot 4,425 \text{ m}}$$

$$= 6,56 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2$$

3.5 Nullpunkt-Justierung

Ziel der Nullpunkt-Justierung ist es, das Torsionspendel so zu positionieren, daß der hantelförmige Pendelkörper ⑤ (siehe Fig. 2) parallel zu den Glasplatten des Gehäuses ausgerichtet ist.

Eine Justierung ist erforderlich

eventuell vor der Erstinbetriebnahme, falls die vom Hersteller vorgenommene Justierung z. B. durch den Transport beeinträchtigt wurde,

nach unsachgemäßer Behandlung (durch unkontrolliertes Drehen von Torsionskopf ③),

nach dem Einsetzen eines neuen Torsionsbandes gemäß Abschnitt 4.

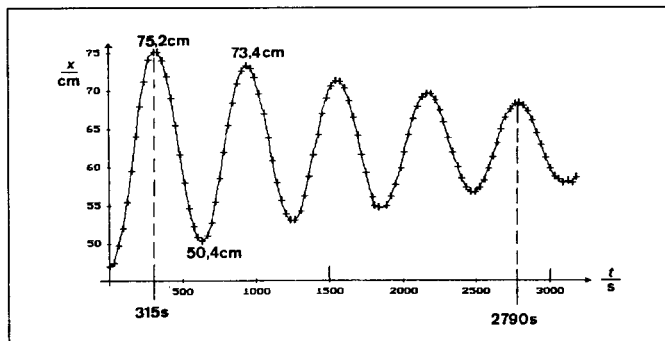


Fig. 7
Schwingungen der Gravitationsdrehwaage um die Endgleichgewichtslage x_{00}

Oscillations of the gravitation torsion balance around the final equilibrium position x_{00}

Measuring example:

Equipment constants:

Mass of the large lead ball: $m_1 = 1.5 \text{ kg}$
 Distance between ball center and axis of rotation: $d = 0.05 \text{ m}$
 Distance between center point of the large ball (when touching housing) and the small ball (in equilibrium position): $b = 0.047 \text{ mm}$

Distance between mirror and torsion balance: $L = 4.425 \text{ m}$

Oscillation period T (from Fig. 7):

$$T = (2790 - 315)/4 \text{ s} = 618.8 \text{ s}$$

Equilibrium position at start: $x_0 = 47 \text{ cm}$

Equilibrium position at end x_{00} (determined from three sequential extremes) e.g.

$$x_{00} = \frac{(x_1 + x_3)/2 + x_2}{2} = \frac{x_1}{4} + \frac{x_2}{2} + \frac{x_3}{4} = 62.3 \text{ cm}$$

Difference S between light pointer positions for the initial and final pendulum equilibrium states:

$$S = x_{00} - x_0 = 62.3 \text{ cm} - 47 \text{ cm} = 15.3 \text{ cm}$$

Substitution in equation (1) for the end displacement method gives the gravitation constant f as

$$f = \frac{\pi^2 \cdot (0.047 \text{ m})^2 \cdot 0.05 \text{ m} \cdot 0.153 \text{ m}}{1.5 \text{ kg} \cdot (618.8 \text{ s})^2 \cdot 4.425 \text{ m}}$$

$$= 6.56 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2$$

3.5 Zero-point adjustment

The objective of zero-point adjustment is to position the torsion pendulum so that the dumbbell-shaped pendulum body ⑤ (see Fig. 2) is aligned parallel to the glass plates of the housing in the equilibrium position.

An adjustment is necessary:

possibly before first using the system if the manufacturer's adjustment has been modified, e.g. as a result of transportation, after improper handling (through uncontrolled rotation of torsion head) ③,

after a new torsion band has been inserted as described in section 4.