

実験の手順

- ・ねじり秤の初期の平衡位置を決定します。
- ・最終的な平衡位置付近での、ねじり秤の振動を記録して、振動周期を決定します。
- ・最終的な平衡位置を決定します。
- ・万有引力定数 G を計算して求めます。

目的

キャベンディッシュのねじり秤を使用して重力を計測し、万有引力定数を決定すること。

まとめ

キャベンディッシュのねじり秤は、精密測定が可能なねじり秤と、それに取り付けられた2個の小鉛球を主要な構成要素としています。さらに、2個の大きな鉛球が、これら的小鉛球に引力の効果を及ぼすように小鉛球の傍に設置されます。ノイズと信号中の不要な振動因子が大幅に低減された差分容量センサーを使って、ねじり秤の振動を計測します。ねじり秤を吊り下げるタングステンワイヤーは非常に細く作られているので、振動周期は2.3分程度になっています。これにより、1時間の実験中に平衡位置を中心とする数回の振動の観察が可能です。

必要機器

品番	品名	数量
U40205	万有引力測定用キャベンディッシュのねじり秤	1
U22001	レーザーダイオード・緑・532nm	1
U13265	支柱用台座	1
U13255	角型ムッフ	1
U15000	ステンレス鋼製支柱・10cm	1

追加推奨機器

U10071	ノギス・150mm	1
別途、ご用意ください		
	電子秤 (5000g)	1

基本原理

2つの物体間に働く重力を実験室内で測定する際には、実験器具の周囲にある、あらゆる物体の質量が測定結果に影響を与えることは避けられません。ところが、キャベンディッシュのねじり秤は、質量を持つ球体を対称位置に配置することにより、この問題を回避しています。

キャベンディッシュのねじり秤は、精密測定が可能なねじり秤と、それに取り付けられた2個の小鉛球を主要な構成要素としています。さらに、2個の大きな鉛球が、これら的小鉛球に引力の効果を及ぼすように小鉛球の傍に設置されます。これにより、ねじり秤の平衡位置が2個の大きな鉛球によって決められることになります。2個の大きな鉛球を小球に関して最初の位置と対称的な第2の位置に移動させると、ねじり秤は短時間の振動の後に新しい平衡位置に落ち着きます。最初の位置と第2の位置での小球の位置を測定することにより、万有引力定数の決定が可能になります。重力とねじり秤の復元トルクとの間のつり合いが、この測定を決定する因子になります。

重力は、次の式で与えられます。

$$(1) \quad F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

G : 万有引力定数
 m_1 : 小鉛球の質量
 m_2 : 大鉛球の質量
 d : 測定時における、小鉛球と大鉛球間の距離

計測時に大鉛球を設置すると、ねじり秤は平衡位置からずらされます。このずらす力によるトルクは、

$$(2) \quad M_1 = 2 \cdot F \cdot r$$

という式で表されます。ここで、
 r : 支持板の支点から小鉛球までの距離
 です。

ねじり秤が平衡位置から角度 ϕ だけずらされると、

$$(3) \quad M_2 = D \cdot \phi$$

で表される復元トルクが働きます。ここで D は、タングステンワイヤーの捩れ係数を表します。

この復元トルクは、ねじり秤の支持板を吊り下げているタングステンワイヤーの捩れによるものです。平衡位置では、 M_1 と M_2 は同じ値になります。

捩れ係数 D は、平衡位置を中心とするねじり秤の振動周期 T から、以下の式で求められます。

$$(4) \quad D = J \cdot \frac{4\pi^2}{T^2}$$

慣性モーメント J は、2個の小球の慣性モーメント J_1 と、支持板の慣性モーメント J_k との和になります。

$$(5) \quad J = 2 \cdot m_1 \cdot r^2 + \frac{m_B}{12} \cdot (a^2 + b^2)$$

ここで、 m_B : 支持板の質量、 a 、 b : 支持板の寸法 (長さ & 幅) です。

2個の大鉛球に対して、測定が実行できる2つの対称位置があります。

これらの位置における平衡位置からのずれの角度を、 ϕ と ϕ' とします。

これらの角度に対応する、ずれのトルクは、大きさが同じで互いに逆向きになります。

したがって、平衡状態においては (2) 式と (3) 式から、以下の式が得られます。

$$(6) \quad 4 \cdot F \cdot r = D \cdot (\phi - \phi') = D \cdot \Delta\phi$$

実験でねじり秤の振動は、ノイズと信号中の不要な振動因子が大幅

に低減された差分容量センサーを使って計測します。ねじり秤を吊り下げるタングステンワイヤーは非常に細く作られているので、振動周期は2.3分程度になっています。これにより、1時間の実験中に、平衡位置を中心とする数回の振動の観察が可能です。ねじり秤に取り付けられた鏡を使って光を反射させることにより、捩れ振動を眼で追うことが可能です。これにより、ねじり秤の必要な調整と校正が非常に容易になります。

評価

式 (1)、(4)、(5)、(6) を組み合わせることにより、以下の式が得られます。

$$G = \frac{\Delta\phi \cdot d^2 \cdot \pi^2}{m_2 \cdot T^2} \cdot \left(2 \cdot r + \frac{1}{12} \cdot \frac{m_B}{m_1} \cdot \frac{a^2 + b^2}{r} \right)$$

この式は、2個の小球が、より離れた側の大球による引力も受けていることを考慮していないので、この式によるねじり秤のトルクの計算値は過去の類似の計算値に比べて、少し小さな値になります。

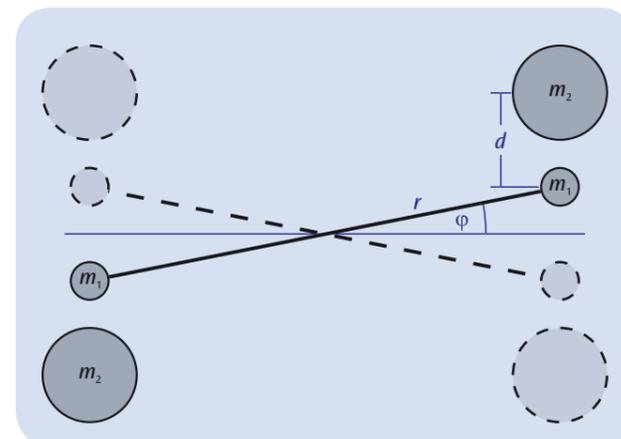


図1：キャベンディッシュのねじり秤による測定装置の模式図

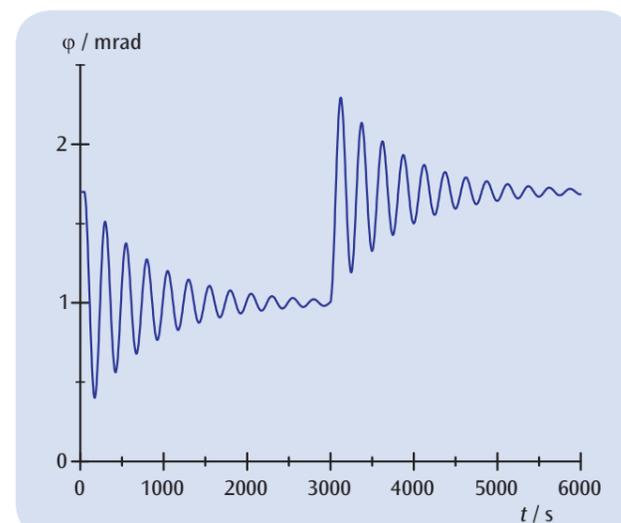


図2：2個の大鉛球の位置を2度変更した場合の、ねじり秤のずれの角度の時間変動

基礎実験

- 仕様は予告なく変更されることがあります。
- 品番・品名をクリックすると製品仕様ページ (外部サイト) が開きます。