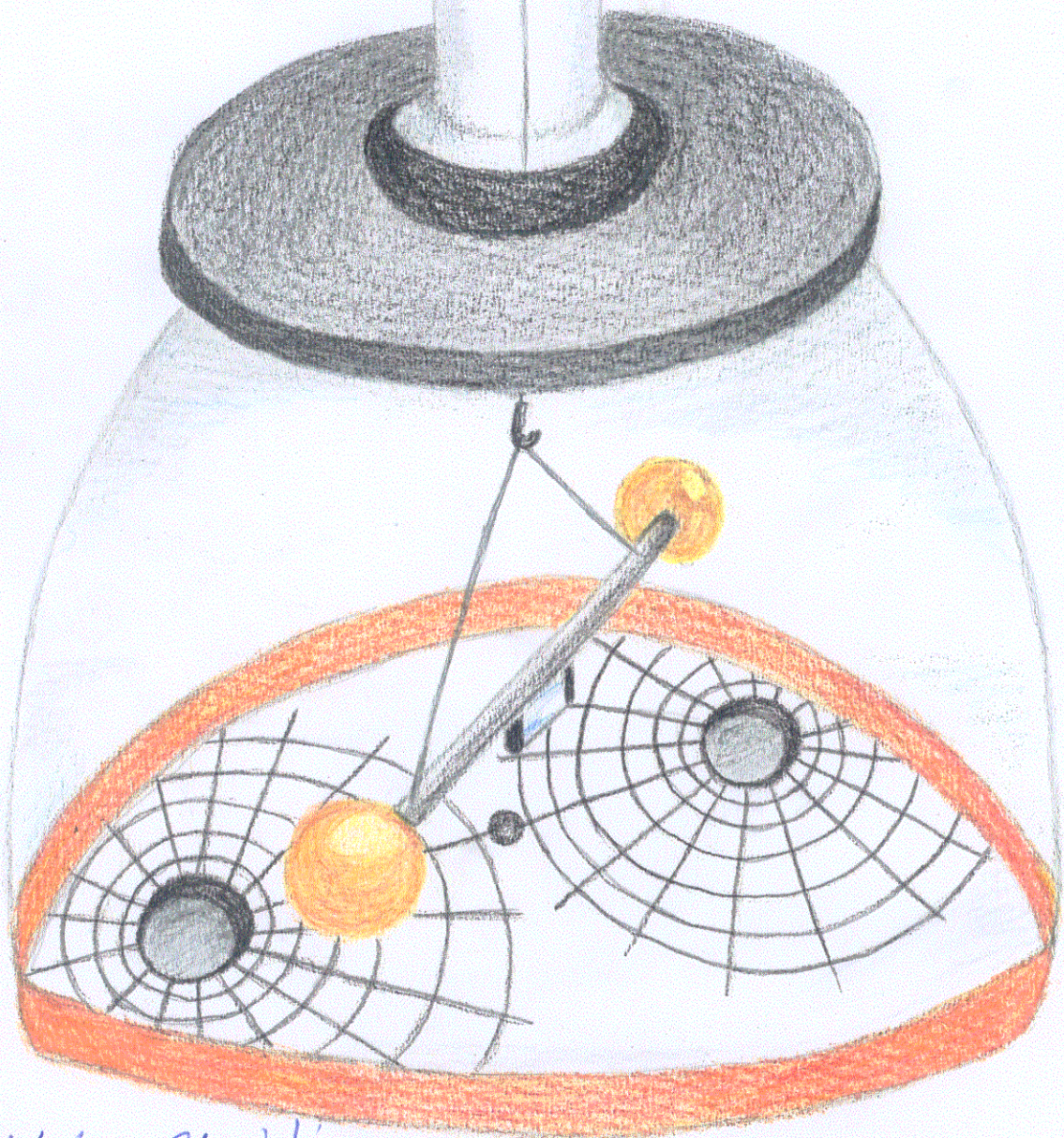


Drehwaage von Cavendish



Von Naha, Christina,
Lukas, Tudor

Christina

Inhaltsverzeichnis

| | |
|------------------------|----|
| 1. Disposition | 1 |
| 2. Vorwort | 1 |
| 3. Einleitung | 2 |
| 3.1 Funktionsprinzip | 3 |
| 4. Material & Methoden | 4 |
| 5. Resultate | 6 |
| 6. Diskussion | 10 |
| 7. Schlusswort | 11 |
| 8. Zusammenfassung | 12 |
| 9. Quellenverzeichnis | 13 |

Drehwaage von Cavendish

1. Disposition

Wir vermuten, dass sich die zwei Stahlkugeln, welche symmetrisch platziert sind, durch die zwei grösseren Kugeln angezogen werden und sich dadurch verschieben. In der Mitte ist ein Spiegel platziert, der einen Laserstrahl auf eine weisse Fläche reflektiert. Durch die Bewegung der Kugeln verschiebt sich der Spiegel und somit der Laserstrahl. Anhand dieser Daten versuchen wir die Gravitationskonstante aufzustellen.

2. Vorwort

Unsere Schule hat eine Projektwoche in den Naturwissenschaftlichen Fächern organisiert. Wir haben das Fach Physik gewählt bei dem wir das Drehwaage – Experiment von Cavendish durchführen. Mit Hilfe eines Experiments, bei dem man die einfachen Bestandteile auch im Supermarkt bekommt, berechnen wir die Erdmasse um von Anbeginn an zu erfahren und zu lernen. Unser Ziel ist, die Gravitationskonstante und schliesslich die Masse der Erde berechnen zu können.

Naina & Lukas

3. Einleitung

Wir vermuten, dass die zwei kleinen Kugeln sich zu den grossen Bleikugeln bewegen werden. Diese Bewegung werden wir durch einen Laserstrahl, welcher auf einen in der Mitte des Kugelpaars platzierten Spiegels scheint, und auf die Wand reflektiert wird, sichtbar machen. Den zurückgelegten Abstand des Lasers können wir so messen.

Tudor

3.1 Das Funktionsprinzip

Der Wissenschaftler Coulumb konstruierte 1784 eine sehr empfindliche Drehwaage. Im Jahre 1798 benutzte sie Cavendish zur Bestimmung der Gravitationskonstante G . Die Drehwaage oder auch Torsionswaage genannt, braucht man für Messungen sehr kleiner Kräfte. Das Endziel ist die Masse der Erde berechnen zu können.

Die Erdanziehungskraft auf der Erde wirkt auf alle Massen senkrecht. Die Massen werden horizontal nebeneinander platziert und so werden die Kräfte dazwischen gemessen. Es wird ein Drehpendel verwendet, das an einer Fischleine befestigt ist und aus einem Alustab mit je einer Messingkugel am Ende besteht. Das Drehpendel hat eine Ruhelage und wenn sich der Alustab dreht, verdreht sich der Draht und diese Verdrehung heisst Torsion (Torsionspendel). Der tordierte Draht übt eine Gegenkraft (Drehmoment) aus. Der Alustab wird zurückgedreht, durch die Massenträgheit über seine Ruhelage hinaus.

Die Ruhelage des Torsionspendels wird verändert, durch zwei grosse Bleikugeln die neben die Kugeln des Pendels platziert werden, so wird die Gravitationskraft gedreht. Durch den

Spiegel, der am Alustab des Pendels befestigt wird, werden so kleine Änderungen der Lage erkannt. Der Spiegel reflektiert einen Lichtstrahl, der sogenannte Zeiger. Je länger der Zeiger, desto kleinere Winkeländerungen. Die Drehung des Torsionspendels kann mit dem Lichtstrahl beobachtet werden.

Durch die Dauer kann die Direktionskonstante des Drahtes berechnet werden.

Durch die Winkelposition der Pendelbewegung können die Ruhelagen ersehen werden. Die Winkeldifferenz der Ruhelage zusammen mit der Direktionskonstante des Drahtes und der Länge des Alustabes ergibt die Gravitationskraft zwischen den Kugeln.

Über das Newtonsche Gravitationsgesetz wird die Gravitationskonstante berechnet.

Naina

4. Material & Methoden

- Material

Drehwaage:

- Alustab, 27g (mit M4 – Gewinde)
- Messingkugeln, je 112g (Sackloch mit M4 – Gewinde)
- Fischleine

Die Glaskugel ist in unserem Experiment eine Salatschüssel.

Die grossen Kugeln sind aus Eisen.

- Methoden

Es gibt verschiedene Methoden, um die Gravitationskonstante G zu bestimmen. Wir verwenden folgende Methoden:

Mit einem Torsionspendel führt eine Schwingung (Bewegung mit Richtungsänderung um Gleichgewichtslänge) aus, mit einer Periodendauer wie folgt →

$$T = 2\pi \sqrt{J/D}$$

D ist der Richtmoment, dieser ist Abhängig von Dicke und Torsionsmodul der Fischleine.

J ist der Massenträgheitsmoment der „Hantel“

Wir gehen wie folgt vor, als erstes bestimmen wir T experimentell und erhalten 4 Minuten 50 Sekunden.

Die Massenträgheit rechnen wir mit den Massen der Messingkugel und des Alustabes mit Spiegel aus.

1 Messingkugel ist 112g

1 Alustab mit Spiegel (als dünner Stab behandelt) wiegt 27g.

Durch diese Angaben berechnen wir J und danach können wir D berechnen.

$$\sqrt{D} = 2\pi/T$$

$$D = (2\pi/T)^2 \cdot J$$

Die Methode die wir anwenden ist diese, dass wir aus der Verdrillung schauen welche Kräfte wirken.

$$F = D \cdot \varphi / h$$

h wird vom Auge abgelesen

φ ist der Winkel zwischen der Messingkugel am Alustab und der grossen Eisenkugel.

Wenn wir diese Kraft F haben, können wir aus dieser Formel G berechnen:

$$F = G m_{\text{Eisen}} \cdot m_{\text{Messing}} / h^2$$

Berechnung des Massenträgheitsmoments der Hantel

$$J = m_3 \cdot L^2 / 12 + 2m_2 [(L/2)^2 + d^2 / 10]$$

$$L = 224 \text{ mm}$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$m_2 = 112 \text{ g}$$

$$m_3 = 27 \text{ g}$$

Erläuterung: Bei einer Drehbewegung spielt das Massenträgheitsmoment eine ähnliche Rolle, wie die Masse bei der Translation (geradlinige Bewegung).

$$J = [0.027 \cdot 0.224^2 / 12 + 2 \cdot 0.112 \cdot [(0.224/2)^2 + 0.03^2 / 10]] \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$
$$= \underline{\underline{2.94 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Berechnung des Direktionsmoments der Fischleine

$$\text{Es gilt: } T = 2\pi \cdot \sqrt{J/D}$$

$$D \text{ wird gesucht: } D = (2\pi/T)^2 \cdot J = (2\pi/290\text{s})^2 \cdot 2.94 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$
$$= \underline{\underline{1.38 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2/\text{s}^2}}$$

Naina

5. Resultate

Zeit der Pendelbewegung von links nach rechts, ohne Gravitationseinwirkung der grossen Eisenkugeln:

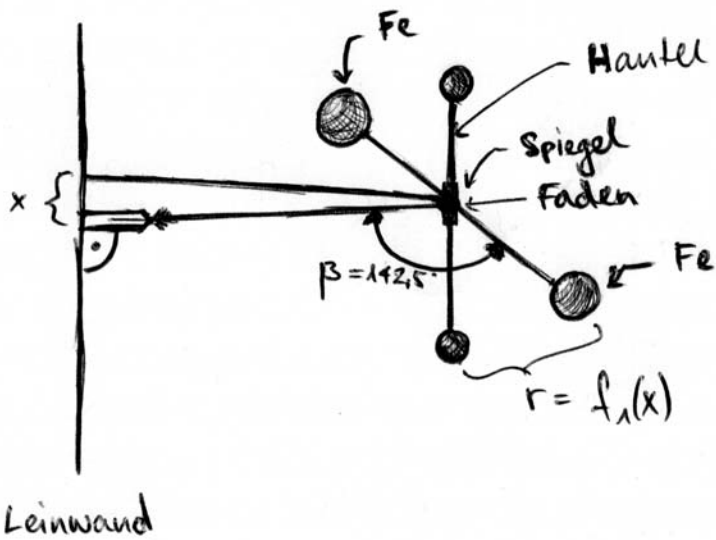
1. 2:44 min
2. 2:35 min
3. 2:33 min
4. 2:29 min
5. 2:26 min
6. 2:25 min
7. 2:25 min

Christina & Lukas

Schwingungen der „Hantel“ bei zwei verschiedenen Positionen der Stahlkugeln:

Position A

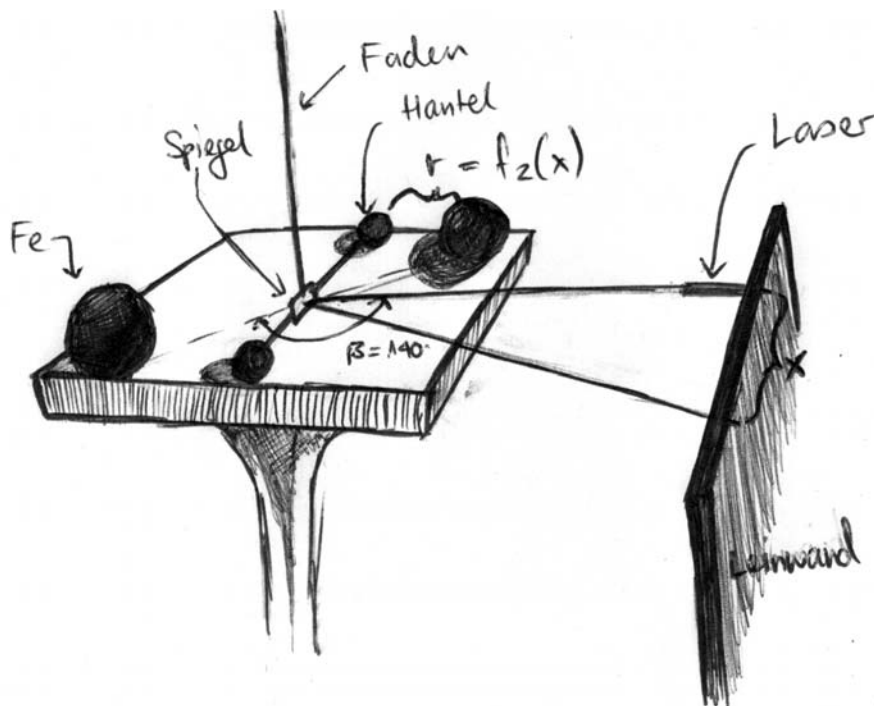
Abstand Faden – Leinwand 115 cm



Tudor

Position B

Gleich wie Position A, ausgenommen $\beta = 140^\circ$ und $r = f_2(x)$



Tudor

Periodendauer

Erste Schwingung

| | | | |
|----|----|------|-----|
| 0 | 0 | 0 | 57 |
| 2 | 40 | 160 | -81 |
| 4 | 58 | 298 | 60 |
| 7 | 22 | 442 | -80 |
| 9 | 53 | 593 | 52 |
| 12 | 15 | 735 | -74 |
| 15 | 31 | 931 | 47 |
| 17 | 47 | 1067 | -69 |
| 20 | 30 | 1230 | 44 |
| 23 | 5 | 1385 | -64 |
| 25 | 38 | 1538 | 38 |
| 28 | 8 | 1688 | -59 |

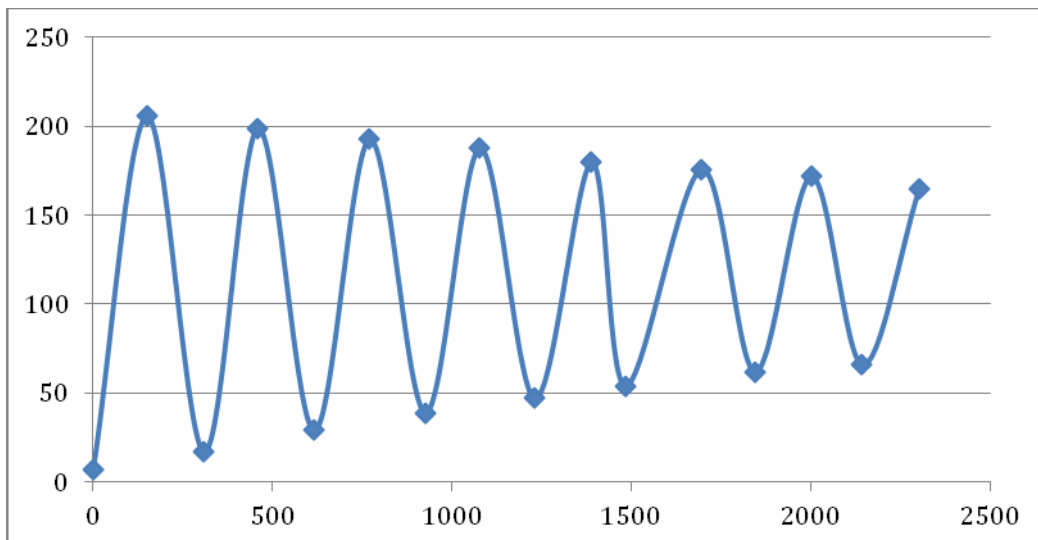
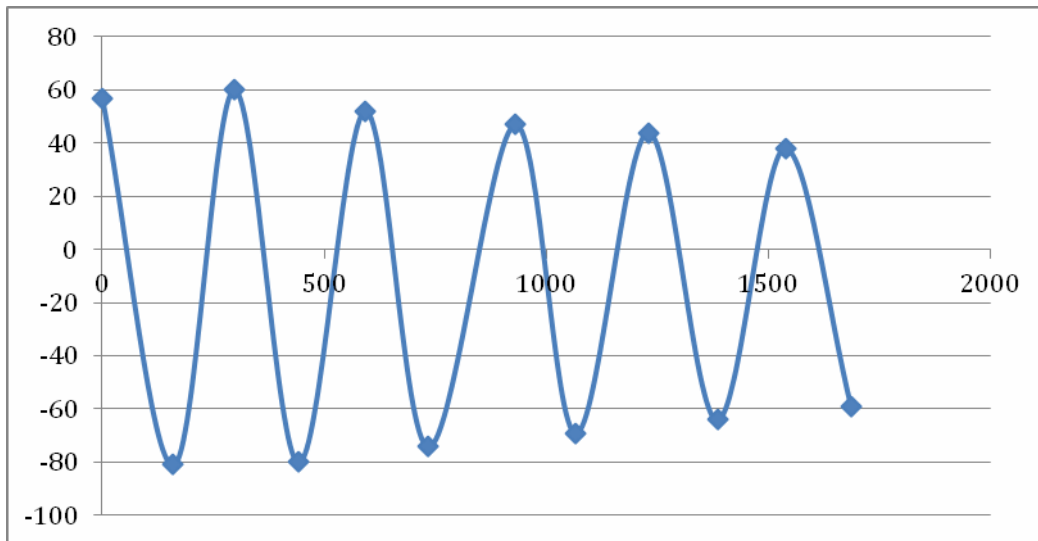
Zweite Schwingung

| | | | |
|----|----|------|-----|
| 0 | 0 | 0 | 7 |
| 2 | 30 | 150 | 206 |
| 5 | 9 | 309 | 17 |
| 7 | 39 | 459 | 199 |
| 10 | 15 | 615 | 29 |
| 12 | 50 | 770 | 193 |
| 15 | 25 | 925 | 39 |
| 17 | 57 | 1077 | 188 |
| 20 | 30 | 1230 | 47 |
| 23 | 8 | 1388 | 180 |
| 24 | 42 | 1482 | 54 |
| 28 | 15 | 1695 | 176 |
| 30 | 43 | 1843 | 62 |
| 33 | 20 | 2000 | 172 |
| 35 | 42 | 2142 | 66 |
| 38 | 20 | 2300 | 165 |

Pendelschwingung

Zeit in Sekunden (horizontal, Abszisse)

Grösse x (siehe Skizze!) in mm (vertikal)



Naina & Christina (mit Hilfe von Herr Senn)

6. Diskussion

Mit diesem Experiment von Cavendish konnten wir nachweisen, dass die Gravitationskraft existiert. Aufgrund der Bewegung der Hantel nach dem Einsetzen der Eisenkugeln konnten wir feststellen, dass die Eisenkugeln einen Einfluss auf die kleineren Messingkugeln hatten. Die Messinghantel wurde zum Eisenkugelpaar hingezogen und der Laserstrahl bewegte sich auf der Leinwand. Aus der Bewegung des Laserstrahls konnten wir die Gravitationskonstante aufstellen.

Dieses in der Theorie simple Experiment mit Alltagsgegenständen hat uns gezeigt, wie man die Natur mit einfachen Mitteln begründen kann. Das Resultat hätte genauer sein können, wenn wir mehr Zeit und bessere Utensilien zur Verfügung gehabt hätten.

Tudor & Christina

7. Schlusswort

Wir haben uns für dieses Experiment entschieden, da wir es als interessant empfunden haben, was sich auch bestätigt hatte, obwohl es zu kleineren Komplikationen kam. Uns hat es überrascht, dass ein Pendel sich so von seiner Umwelt beeinflussen lässt. Sobald sich zu viele Menschen im Raum aufhielten, war das Pendel nicht mehr in seiner Ruhelage. Deshalb mussten wir für diesen Vorgang sehr viel Geduld aufbringen. Leider konnten wir durch diese ständigen Zwischenfälle nie richtig an unserem Experiment arbeiten. Unsere Ergebnisse waren dementsprechend unvollständig.

Dennoch haben wir gelernt Eigeninitiative zu zeigen und versucht selbstständig zu arbeiten. Da die Ergebnisse zu ungenau für eine Berechnung der Gravitationskonstante waren, sind wir zu dem Schluss gekommen, dass das Experiment theoretisch gut funktionieren könnte, uns dazu aber dennoch die erforderlichen Utensilien, in diesem Falle ein Faradayschen Käfig zur elektrostatischen Abschirmung, fehlt. Unter anderen Voraussetzungen hätte das Experiment durchaus erfolgreich werden können.

Naina & Christina

8. Zusammenfassung

Unsere Arbeit begann mit Schwierigkeiten beim Aufbau des Experimentes, welches Herr Senn bereits vor der Projektwoche vorbereitet hatte. Das Pendel hatte schon bei kleinster Erschütterung eine sehr lange Periodendauer. Lange Wartezeiten waren die Folge. So verlangten auch die Abmessungen viel Geduld.

Danach passierte bei der Platzierung der schweren Metallkugeln ein Missgeschick, sodass das Pendel wieder in Bewegung kam, was wiederum ein langes Auspendeln zur Folge hatte. In der Zwischenzeit verfassten wir die Methoden zur Berechnung der Gravitationskonstante, wobei wir uns für eine Methode, in welcher wir die Verdrillung der Kräfte beachtetten, entschieden.

Es folgten weitere Versuche zur Justierung des Laserstrahls mit dem Einfallswinkel auf den Spiegel, bei dem wir zunächst das Problem hatten, dass die grossen Kugeln den Weg versperrten. Nach vielen Versuchen gelang es uns schließlich, das Experiment so umzustellen, dass erste Messungen vorgenommen werden konnten.

Während dem Auspendeln der Drehwaage drehten wir unter der Leitung von unserem Physiklehrer Herr Senn einen kleinen Film, in welchem wir die Prozesse und Voraussetzungen zum klassischen Cavendish-Experiment dokumentierten und erläuterten.

Dieser Film ist auf YouTube mit folgendem Link zu sehen:

<http://www.youtube.com/watch?v=j3ZoR1ZmWAY>

Ein weiteres Problem stellten die elektrostatischen Effekte dar:

Für zwei Anordnungen der Stahlkugeln konnte die Gleichgewichtslage der Hantel eruiert werden, indem die Umkehrpunkte der Schwingung auf dem Papier markiert wurde. Es zeigte sich dabei, dass die Kugeln sich abstossen. Dies wird verursacht durch elektrostatische Effekte. Unsere Untersuchungen haben ergeben, dass das Experiment im Prinzip funktioniert. Es muss jedoch wiederholt werden, mit den Apparaturen in einem Faradayschen Käfig (völlig abgeschlossene Hülle, welche als elektrische Abschirmung wirkt), das heisst sie müssen gegen elektrische Felder abgeschirmt werden.

Lukas & Naina

9. Quellenverzeichnis

http://en.wikipedia.org/wiki/Cavendish_experiment

<http://de.wikipedia.org/wiki/Torsionspendel>

<http://www.wgg-neumarkt.de/texte/physik/grav.php>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Drehwaage>