

U45051 Diamagnetischer Schwebungs-Apparat

Bedienungsanleitung

1/04 ALF



- ① Grundplatte
- ② Acrylgaskörper
- ③ Plastikplatte
- ④ Grafitplatte
- ⑤ NdFeB-Magnet
- ⑥ Feststellscheibe
- ⑦ Schraubenmutter
- ⑧ Ringmagnete

Der Diamagnetische Schwebungs-Apparat dient zur Demonstration der Wirkungsweise diamagnetischer Materialien.

schwebenden Magneten jeweils von den Grafitplatten abgestoßen werden (Diamagnetismus).

1. Sicherheitshinweise

- Magnete nicht in die Nähe von elektronischen Geräten, magnetischen Datenträgern und empfindlichen Instrumenten bringen.
- Die Ringmagnete sind spröde, daher nicht fallen lassen. Bruchgefahr.
- Grafitplatten bei Herausnahme vorsichtig behandeln. Sie brechen und verkratzen leicht.
- Der würfelförmige NdFeB-Magnet ist sehr spröde. Er kann schon zerbrechen, wenn er durch die Anziehungskraft beschleunigt auf die Ringmagnete trifft.
- Schraubenmuttern nur mit Fingerdruck anziehen.
- Zur Reinigung nur warmes Wasser mit etwas Spülmittel verwenden. Niemals aggressive Reinigungs- oder Lösungsmittel.

Abmessungen:

Grundplatte: 95 mm x 95 mm
Höhe: 135 mm

2.1 Lieferumfang

- 1 Schwebungs-Apparat
- 2 Acrylglasplatten
- 1 Inbusschlüssel

2. Beschreibung, technische Daten

In einem von Acrylglas umschlossenen Raum ist ein vergoldeter NdFeB-Magnet frei schwebend zwischen zwei Grafitplatten untergebracht. Die auf ihn wirkende Gravitationskraft wird durch die Anziehungskraft von oberhalb der Kunststoffabdeckung befindlichen Ringmagneten fast vollständig aufgehoben. Die zwei diamagnetischen Grafitplatten, oberhalb und unterhalb des NdFeB-Magneten, zwingen ihn in einen stabilen Gleichgewichtszustand, da die beiden Pole des

3. Theorie

Der Physiker S. Earnshaw stellte 1848 folgendes Theorem auf: Es ist nicht möglich, in einem statischen Feld, das eine $1/r^2$ Abhängigkeit aufweist, Ladungen oder Magnete in einen stabilen Schwebezustand zu versetzen. Außerdem behauptete er, dass man mit diamagnetischen Materialien sehr wohl einen Schwebezustand herstellen kann.

Die Verfügbarkeit von sehr starken Seltenen-Erden-Magneten machten die Konstruktion dieses kleinen Schwebungsapparates mit Grafit als Diamagnet möglich. Diamagnetische Stoffe stoßen beide magnetischen Pole ab.

Die Wirkungsweise des Schwebungs-Apparates kann an Hand der wirkenden Kräfte oder der potenziellen Energie des Magnetwürfels erklärt werden.

Auf den NdFeB-Magnet wirken die Gravitations- sowie die Anziehungskraft der Ringmagnete. Die Position der Ringmagnete ist so gewählt, dass sich diese Kräfte annähernd aufheben. Ist die Gravitationskraft größer als

die Anziehungskraft, fällt der Magnetwürfel nach unten. Im umgekehrten Fall wird er nach oben gezogen. Die diamagnetische Eigenschaft von Graphit bewirkt, dass er von der jeweiligen Platte abgestoßen wird. Diese Abstoßungskräfte sind sehr klein, aber sie genügen, um den NdFeB-Magnet in einen Schwebezustand zu versetzen.

Um diesen Zustand besser zu verstehen ist es notwendig die potenzielle Energie des Magnetwürfels zu betrachten. Der Graf in Abb. 1 zeigt die potenzielle Energie des Magnetwürfels in Abhängigkeit von seiner Position in dem Gerät, jedoch ohne die Ringmagnete und die Graphitplatten. Massen haben die Tendenz sich immer zu dem Ort mit der geringsten potenziellen Energie zu bewegen. An einem höheren Platz ist ihre potenzielle Energie größer. Man muss Arbeit leisten und Energie investieren, um sie an diesen Ort zu bringen.

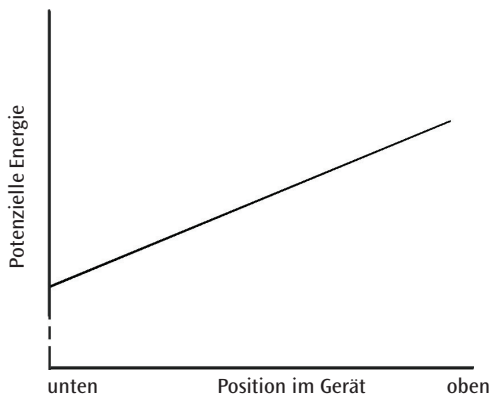


Abb. 1: Potenzielle Energie des Magnetwürfels an verschiedenen Positionen im Gerät ohne die Graphitplatten und Ringmagnete

Betrachtet man nun den Fall, dass die Gravitation nahe Null ist, so ist die potenzielle Energie umso kleiner je näher der Magnetwürfel den Ringmagneten ist. Kraft muss aufgewendet werden um den Magnetwürfel von den Ringmagneten zu trennen und seine potenzielle Energie vergrößert sich. In der Abb. 2 ist dieser Sachverhalt dargestellt.

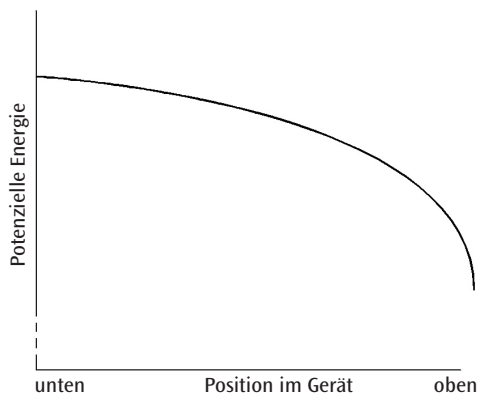


Abb. 2: Potenzielle Energie des Magnetwürfels an verschiedenen Positionen im Gerät ohne die Graphitplatten und Gravitation gegen Null

Der dritte Graf zeigt die totale potenzielle Energie des Magnetwürfels, wenn er sowohl dem Einfluss der Gravitation als auch der Anziehungskraft der Ringmagnete

unterliegt. Dabei ist der Bereich zwischen den gestrichelten Linien (Position der Acrylglasplatten) von besonderem Interesse. Abbildung 4 zeigt eine Vergrößerung dieses Bereichs.

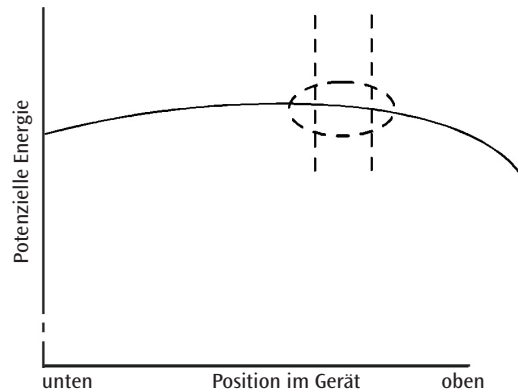


Abb. 3: Totale potenzielle Energie des Magnetwürfels an verschiedenen Positionen im Gerät mit Acrylglasplatten

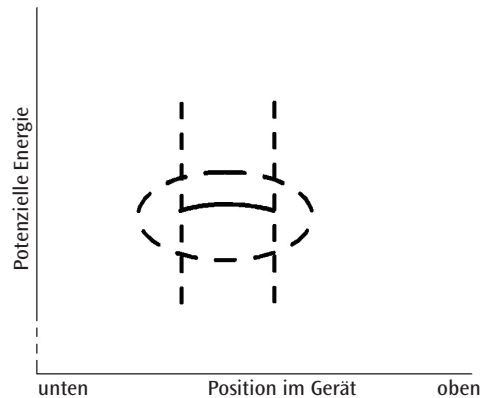


Abb. 4: Ausschnitt aus Abb. 3

Der Punkt mit der größten potentiellen Energie liegt ungefähr in der Mitte zwischen den beiden Acrylglasplatten. Der Magnetwürfel befindet sich hier in einem instabilen Gleichgewichtszustand.

Werden nun die Acrylglasplatten durch die Graphitplatten ersetzt, muss Energie aufgewendet werden, um den Magnetwürfel in die Nähe einer der Platten zu bringen. Das potenzielle Energieniveau ist dann am höchsten in unmittelbarer Nähe der Graphitplatten. Abb. 5 zeigt diesen Sachverhalt.

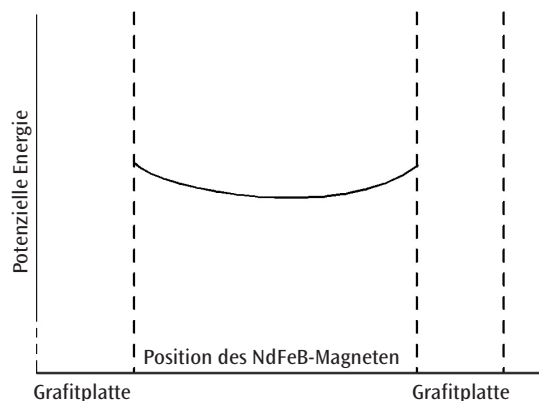


Abb. 5: Potenzielle Energie des Magnetwürfels zwischen den Graphitplatten

Der Punkt mit der geringsten potenziellen Energie liegt in der Mitte zwischen den Grafitplatten. In diesem Punkt befindet sich der NdFeB-Magnet in einer stabilen Gleichgewichtslage und kann deshalb schweben.

4. Bedienung

- Das Gerät wird in zusammengebautem Zustand ausgeliefert. Für Experimente kann es auseinander genommen werden.
- Dazu mit dem Inbusschlüssel die vier Schrauben an den Seiten der Grundplatte lösen. Den Inbusschlüssel drei volle Drehungen gegen den Uhrzeigersinn drehen.
- Das Gerät mit einer Hand halten und vorsichtig den Acrylglaskörper mit der anderen Hand abnehmen.
- Die lose Seitenplatte entfernen. Die Grafitplatten können nun heraus genommen und durch die Acrylglasplatten ersetzt werden.
- Den Zusammenbau in umgekehrter Reihenfolge durchführen. Schrauben nur mit Fingerdruck an-

ziehen, um eine Beschädigung des Acrylglaskörpers zu vermeiden.

- Zur Justierung der Position des NdFeB-Magneten die obere Schraubenmutter lösen und mit der unteren Schraubenmutter die Ringmagnete nach oben bzw. nach unten verschieben, um die Anziehungskraft zu verringern bzw. zu vergrößern. Dabei falls nötig die Feststellscheibe mit einem Finger festhalten. Die obere Schraubenmutter mit leichtem Fingerdruck festziehen.

5. Versuchsbeispiele

- Beide Grafitplatten durch die Acrylglasplatten ersetzen und versuchen den NdFeB-Magnet in eine Gleichgewichtslage zu bringen.
- Versuch mit jeweils einer Grafitplatte und einer Acrylglasplatte (oben oder unten) wiederholen.
- Versuchsergebnisse anhand der Theorie diskutieren.

U45051 Diamagnetic Levitation Apparatus

Instruction Sheet

1/04 ALF



- ① Base plate
- ② Plastic bell housing
- ③ Plastic plate
- ④ Graphite plate
- ⑤ NdFeB-magnet
- ⑥ Retaining ring
- ⑦ Hex nut
- ⑧ Ring magnets

The Diamagnetic Levitation Apparatus allows the demonstration of the mode of action of diamagnetic materials.

1. Safety instructions

- Keep all the magnets away from electronic equipment, magnetic media and delicate instruments.
- The ring magnets are brittle and may break if dropped.
- The graphite plates are easily broken or scratched. Handle with care.
- The cube shaped magnet is very brittle and may break merely by flying to the ring magnets.
- Use only finger pressure to tighten the hex nuts.
- If needed clean only with mild dish soap. Do not use abrasive cleaners or solvents.

2. Description, technical data

Within a plastic bell housing there are two graphite plates. Between these plates a cubic shaped NdFeB-magnet, plated with 24K gold, levitates freely. The gravitational force acting on the magnet is almost entirely counteracted by the force of attraction from a ring magnet located above the plastic covering. The two diamagnetic graphite plates, one above and one below the NdFeB magnet, compel it into a stable equilibrium since both poles of the magnet are repelled by the graphite plates (diamagnetism).

Dimensions:

Base plate: 95 mm x 95 mm
Height: 135 mm

2.1 Scope of delivery

- 1 Levitation apparatus
- 2 Transparent plastic plates
- 1 Socket wrench

3. Theory

The physicist S. Earnshaw proposed the following theorem in 1848: it is not possible for charges or magnets to be placed in a stable levitated state in a static field obeying an inverse square law. He further stated, however, that it would be possible to achieve this with the help of diamagnetic materials.

The availability of very powerful rare-earth metal magnets has made it possible to design a levitation apparatus such as this using graphite as the diamagnets. Diamagnetic materials are repelled from both magnetic poles.

The action of this levitation apparatus may be understood in terms of either forces, or potential energy.

The force of earth's gravity pulls downward on the cube magnet, while the ring magnets exert an upward force. The position of the ring magnets is chosen in such a way, that the two forces equal each other. If the gravity is stronger than the force of attraction, the cubic magnet will fall down. In the opposite case it will move upwards.

The diamagnetic property of graphite effects the cubic magnet in such a way that it is repelled from the respective plate. This force is tiny but it is enough to stabilize the NdFeB-magnet in a state of stable equilibrium.

To get a deeper understanding of the state of equilibrium we look at the potential energy of the cubic mag-

net. The graph in figure 1 shows the potential energy of the cube if it were located at different heights within the apparatus, assuming the ring magnets and graphite plates were removed. Masses tend to move to the place where their potential energy is the lowest. To move them to a higher place where their potential energy is greater one has to do work and expend energy.

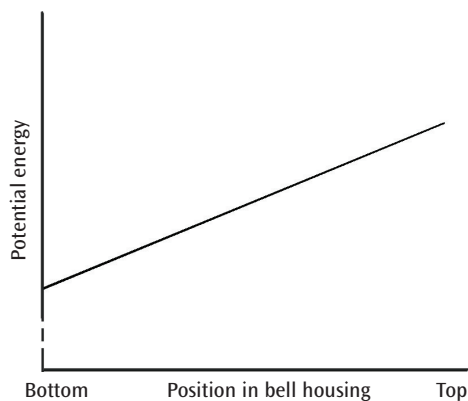


Fig.1: Potential energy of the cubic magnet at different positions in the apparatus without graphite plates and without ring magnets

The next graph in fig. 2 considers the potential energy of the cube as the result only of the nearness to the ring magnets, assuming that gravity is not a significant force. Its potential energy would be the lowest at a position closest to the ring magnets. We would have to expend energy to remove it from the magnets and it would gain this energy as potential energy.

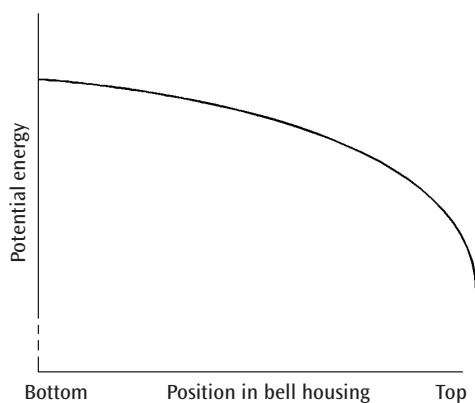


Fig.2: Potential energy of the cubic magnet at different positions in the apparatus without graphite plates and no gravity

The third graph in fig. 3 shows the total potential energy of the cubic magnet in various positions within the apparatus, when both the gravity and the attraction of the ring magnets are considered. Of special interest is the area between the vertical lines, which represent the positions of the plastic plates. Fig. 4 shows this area magnified.

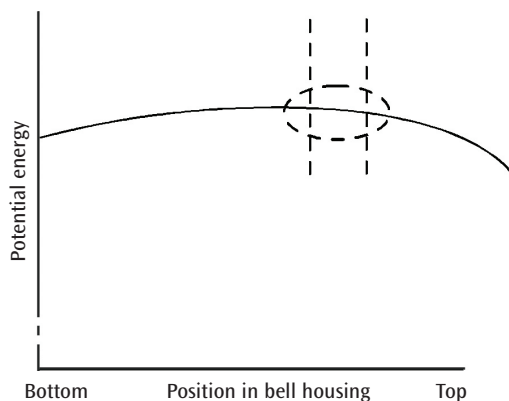


Fig. 3: Total potential energy of the cubic magnet at different positions in the apparatus with plastic plates

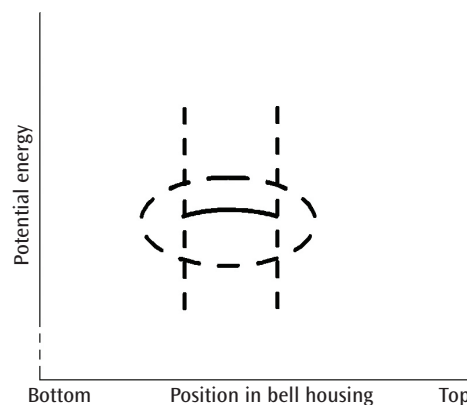


Fig.4: Magnification of fig.3

The graph shows that the cube has the greatest potential energy at a point approximately half way between the plastic plates. At this point the cube magnet is in equilibrium, but it is unstable equilibrium.

If the plastic plates are now replaced by the graphite plates, we would have to expend energy to push the cube magnet closer to the graphite plates. Its potential energy would be greater near the graphite plates. The graph in fig. 5 shows this fact.

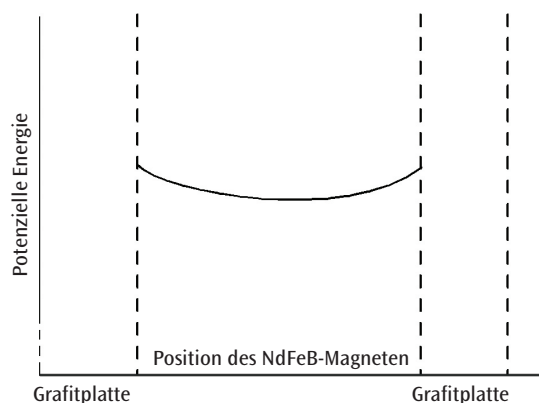


Fig.5: Potential energy of the cubic magnet between the graphite plates

The point with the lowest potential energy is about midway between the two graphite plates. In this point the NdFeB-Magnet is in a stable state of equilibrium and is able to levitate at this location.

4. Operation

- The apparatus is supplied as a sealed unit. It may be opened to permit experimentation.
- Insert the long arm of the socket wrench into the four holes in the side of the base of the apparatus. Unscrew the screws three full turns. Turn counter-clockwise.
- Place one hand on the base, and using the other hand gently lift the bell housing.
- Remove the loose side panel. The graphite plates may now be replaced by the plastic plates.
- Reassemble the apparatus in the opposite way. Care-

fully tighten the four screws. Do not use excessive force to avoid damaging the bell housing.

- To adjust the position of the NdFeB-magnet loosen the upper hex nut and move the ring magnets with the help of the lower hex nut up or down to decrease respectively increase the attraction. If necessary hold the retaining ring with one finger. Do not use tools to tighten the nuts.

5. Sample experiments

- Replace both graphite plates with the plastic plates and try to put the NdFeB-magnet into a state of equilibrium.
- Repeat the experiment with one graphite and one plastic plate (top or bottom).
- Discuss the results on the basis of the theory.

U45051 Appareil de lévitation diamagnétique

Instructions d'utilisation

1/04 ALF



- ① Plaque de base
- ② Corps en verre acrylique
- ③ Plaque en plastique
- ④ Plaque de graphite
- ⑤ Aimant NdFeB
- ⑥ Disque de fixation
- ⑦ Ecrou
- ⑧ Aimants toriques

L'appareil de lévitation diamagnétique permet de démontrer le fonctionnement de matériaux diamagnétiques.

1. Consignes de sécurité

- N'approchez pas les aimants à proximité d'appareils électroniques, de supports de données magnétiques et d'instruments sensibles.
- Les aimants toriques sont fragiles, ne les laissez pas tomber. Risque de cassure.
- Lorsque vous les retirez, manipulez les plaques de graphite avec précaution. Elles se cassent et se rayent facilement.
- L'aimant NdFeB en forme de dé est très fragile. Un choc contre les aimants toriques causé par l'accélération due à la force d'attraction suffit à le casser.
- Serrez les écrous uniquement avec les doigts.
- Pour le nettoyage, n'utilisez que de l'eau chaude avec un peu de nettoyant. N'utilisez jamais de nettoyants agressifs ou de solvants.

2. Description, caractéristiques techniques

Dans un espace entouré de verre acrylique, un aimant NdFeB doré est levité librement entre deux plaques de graphite. La force gravitationnelle agissant sur lui est annulée presque intégralement par la force d'attraction d'un aimant torique se trouvant au-dessus de la protection en plastique.

Les deux plaques de graphite diamagnétiques, l'une au-dessus et l'autre au-dessous de l'aimant NdFeB, transposent celui-ci dans un équilibre stable, car les

deux pôles de l'aimant en suspension sont repoussés par les plaques de graphite (diamagnétisme).

Dimensions :

Plaque de base : 95 mm x 95 mm
Hauteur : 135 mm

2.1 Matériel fourni

- 1 appareil de lévitation
- 2 plaques de verre acrylique
- 1 clé mâle coudée

3. Théorie

En 1848, le physicien S. Earnshaw postula le théorème suivant : il n'est pas possible d'atteindre une lévitation stable de charges ou d'aimants dans un champ statique qui présente une dépendance $1/r^2$. Il affirma qu'il était possible en revanche d'obtenir un état de lévitation avec des matériaux diamagnétiques.

Des aimants de terres rares très puissants ont permis de construire ce petit appareil de lévitation, le graphite servant d'aimant diamagnétique. Les substances diamagnétiques repoussent les deux pôles magnétiques.

Le fonctionnement de l'appareil de lévitation s'explique par les forces en action ou l'énergie potentielle du dé magnétique.

La force gravitationnelle et la force d'attraction des aimants toriques agissent sur l'aimant NdFeB. La position des aimants toriques est choisie de telle sorte que ces forces s'annulent pratiquement. Si la force gravitationnelle est supérieure à la force d'attraction, le dé magnétique tombe. Dans le cas inverse, il est tiré vers

le haut. La propriété diamagnétique du graphite a pour effet qu'il est repoussé par la plaque. Ces forces répulsives sont très faibles, mais elles suffisent pour mettre l'aimant NdFeB dans un état de suspension.

Pour mieux comprendre cet état, il faut considérer l'énergie potentielle du dé magnétique. Le graphe de la figure 1 montre l'énergie potentielle du dé magnétique en fonction de sa position dans l'appareil, sans toutefois les aimants toriques et les plaques de graphites. Les masses ont toujours tendance à se déplacer vers l'emplacement ayant la plus faible énergie potentielle. A un endroit plus élevé, l'énergie potentielle est plus importante. Il faut fournir du travail et investir de l'énergie pour l'amener à cet emplacement.

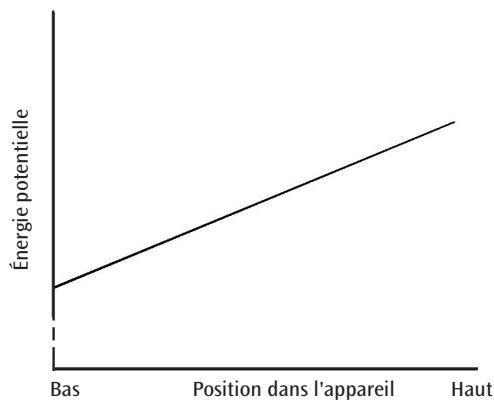


Fig. 1 : Énergie potentielle du dé magnétique à différentes positions dans l'appareil, sans les plaques de graphite et les aimants toriques

Si l'on considère à présent le cas dans lequel la gravitation est pratiquement nulle, l'énergie potentielle est d'autant plus faible que le dé magnétique est proche des aimants toriques. Il faut appliquer de la force pour séparer le dé des aimants toriques et son énergie potentielle augmente. Cette situation est représentée dans la fig. 2.

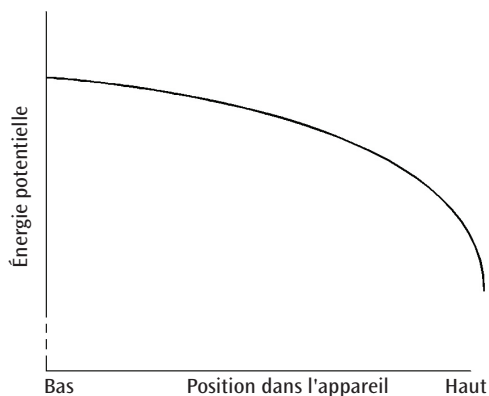


Fig. 2 : Énergie potentielle du dé magnétique à différentes positions dans l'appareil, sans les plaques de graphite et avec une gravitation presque nulle

Le troisième graphe représente l'énergie potentielle totale du dé magnétique lorsqu'il subit tant l'influence de la gravitation que la force d'attraction des aimants

toriques. La zone entre les lignes hachurées (position des plaques d'acrylique) revêt un intérêt particulier. La figure 4 représente un agrandissement de cette zone.

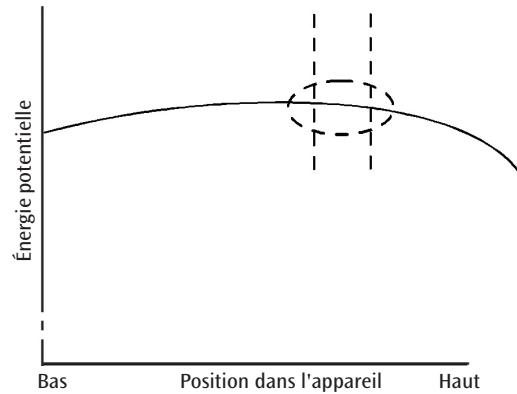


Fig. 3 : Énergie potentielle totale du dé magnétique à différentes positions dans l'appareil, avec les plaques d'acrylique

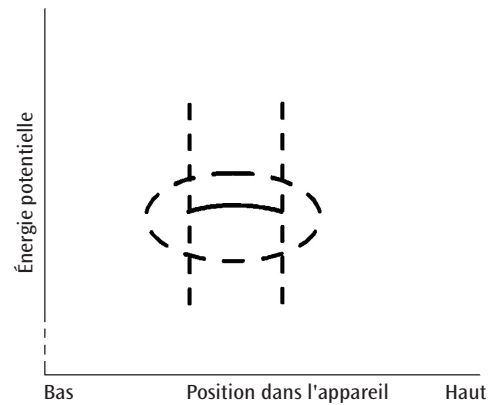


Fig. 4 : Agrandissement de la Fig. 3

Le point présentant la plus forte énergie potentielle se situe environ au milieu des deux plaques d'acrylique. Dans ce cas, le dé magnétique se trouve dans un état d'équilibre instable.

Si l'on remplace maintenant les plaques d'acrylique par les plaques de graphite, il faut employer de l'énergie pour déplacer le dé à proximité de l'une des plaques. Le niveau d'énergie potentiel est alors à son maximum à proximité immédiate des plaques de graphite. La figure 5 illustre cette situation.

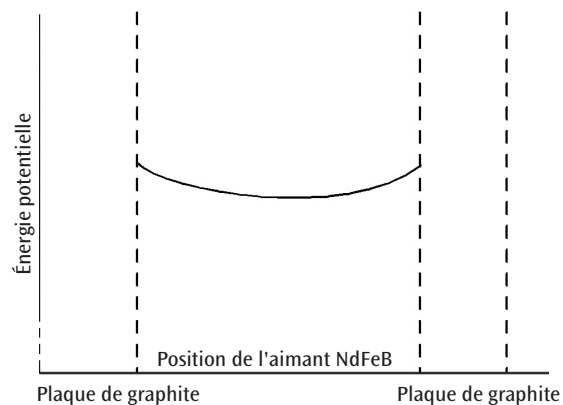


Fig. 5 : Énergie potentielle du dé magnétique entre les plaques de graphite

Le point présentant la plus faible énergie potentielle se situe au milieu des deux plaques de graphite. A ce point, l'aimant NdFeB se trouve dans un équilibre stable et peut léviter.

4. Manipulation

- L'appareil est livré à l'état assemblé. Il peut être désassemblé pour des expériences.
- Pour cela, à l'aide de la clé mâle, desserrez les quatre vis se trouvant sur les côtés de la plaque de base. Tournez la clé de trois tours dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.
- Tenez l'appareil d'une main et, de l'autre, retirez avec précaution le corps en verre acrylique.
- Retirez la plaque latérale détachée. A présent, les plaques de graphite peuvent être extraites et remplacées par celles en verre acrylique.
- Procédez au réassemblage dans l'ordre inverse.

Serrez les vis uniquement à la force des doigts pour éviter d'endommager le corps en verre acrylique.

- Pour ajuster la position de l'aimant NdFeB, desserrez l'écrou supérieur et, avec l'écrou inférieur, déplacez les aimants toriques vers le haut ou le bas pour diminuer ou augmenter la force d'attraction. Au besoin, tenez le disque de serrage avec un doigt. Serrez légèrement l'écrou supérieur avec les doigts.

5. Exemples d'expériences

- Remplacez les deux plaques de graphite par celles en verre acrylique et essayez de transposer l'aimant NdFeB dans un état d'équilibre.
- Répétez l'expérience avec une plaque de graphite et une plaque en verre acrylique (en haut ou en bas).
- Discutez les résultats des expériences, théorie à l'appui.

U45051 Apparecchio diamagnetico di fluttuazione

Istruzioni per l'uso

1/04 ALF



- ① Piastra di base
- ② Corpo in vetro acrilico
- ③ Piastra di plastica
- ④ Piastra di grafite
- ⑤ Magnete NdFeB
- ⑥ Disco di fissaggio
- ⑦ Madrevite
- ⑧ Magneti ad anello

L'apparecchio diamagnetico di fluttuazione serve a dimostrare l'azione dei materiali diamagnetici.

1. Norme di sicurezza

- Non posizionare i magneti in prossimità di apparecchi elettronici, supporti magnetici di dati e strumenti sensibili.
- I magneti ad anello sono fragili, pertanto non farli cadere. Pericolo di rottura!
- Durante l'estrazione, maneggiare con cautela le piastre di grafite. Si rompono e si graffiano facilmente.
- Il magnete NdFeB a forma di cubo è fragilissimo. Può rompersi anche solo toccando i magneti ad anello con una certa accelerazione impartita dalla forza di attrazione.
- Serrare le madreviti semplicemente con la pressione delle dita.
- Per la pulitura utilizzare solo una quantità minima di detergente in acqua calda. Non utilizzare mai solventi o detersivi o aggressivi.

2. Descrizione, dati tecnici

In uno spazio racchiuso da vetro acrilico è presente un magnete NdFeB dorato, che oscilla liberamente tra due piastre di grafite. La forza gravitazionale che agisce sul magnete viene compensata quasi completamente dalla forza di attrazione dei magneti ad anello che si trovano al di sopra della copertura di plastica.

Le due piastre di grafite diamagnetiche, presenti sopra e sotto il magnete NdFeB, lo mantengono in uno stato di equilibrio stabile, poiché i due poli del ma-

gnete oscillante vengono rispettivamente respinti dalle piastre di grafite (diamagnetismo).

Dimensioni:

Piastra di base: 95 mm x 95 mm

Altezza: 135 mm

2.1 Fornitura

- 1 apparecchio di fluttuazione
- 2 piastre di vetro acrilico
- 1 chiave per viti ad esagono cavo

3. Teoria

Nel 1848 il fisico S. Earnshaw enunciò il seguente teorema: in un campo statico, che presenta una dipendenza $1/r^2$, non è possibile fare fluttuare stabilmente cariche o magneti. Affermò inoltre che con i materiali diamagnetici è possibile creare perfettamente uno stato di fluttuazione.

La disponibilità di magneti estremamente potenti, realizzati con terre rare, rese possibile la costruzione di questo piccolo apparecchio di fluttuazione, che utilizza la grafite come diamagnete. I materiali diamagnetici respingono i due poli magnetici.

L'azione dell'apparecchio di fluttuazione può essere spiegata in base alle forze agenti o all'energia potenziale del cubo magnetico.

Sul magnete NdFeB agiscono la forza gravitazionale e la forza di attrazione dei magneti ad anello. La posizione dei magneti ad anello è scelta in modo tale che queste forze si compensino approssimativamente. Se la forza gravitazionale è maggiore della forza di attrazione, il cubo magnetico cade verso il basso. Nel caso

contrario, viene sospinto verso l'alto. La caratteristica diamagnetica della grafite agisce in modo tale che la stessa viene respinta dalla relativa piastra. Queste forze repulsive sono estremamente piccole ma sono sufficienti per fare fluttuare il magnete NdFeB.

Per comprendere meglio questo stato, è necessario osservare l'energia potenziale del cubo magnetico. Il grafo nelle fig. 1 indica l'energia potenziale del cubo magnetico in base alla sua posizione nell'apparecchio, tuttavia senza i magneti ad anello e le piastre di grafite. Le masse hanno la tendenza a spostarsi sempre verso il punto con minore energia potenziale. In una posizione superiore, la loro energia potenziale è maggiore. Servono lavoro ed energia per portarle in questo punto.

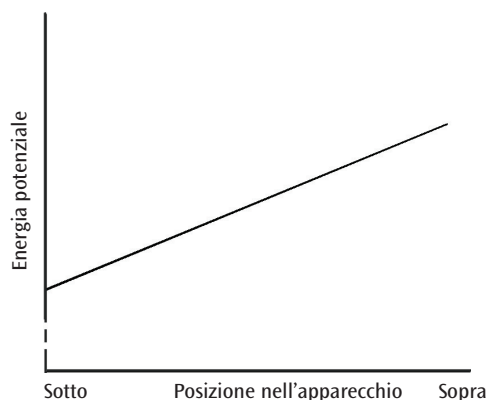


Fig. 1: Energia potenziale del cubo magnetico in diverse posizioni nell'apparecchio senza le piastre di grafite e i magneti ad anello

Se ora si considera il caso in cui la gravitazione è quasi nulla, l'energia potenziale è tanto più piccola quanto più vicino il cubo magnetico si trova ai magneti ad anello. Deve essere impiegata forza per staccare il cubo magnetico dai magneti ad anello e la sua energia potenziale aumenta. Nella fig. 2 viene rappresentato questo comportamento.

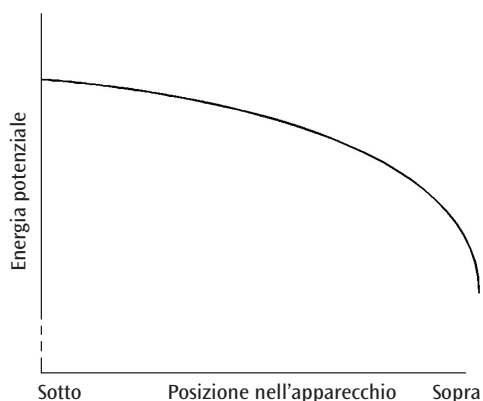


Fig. 2: Energia potenziale del cubo magnetico in diverse posizioni nell'apparecchio senza le piastre di grafite e con gravitazione quasi nulla

Il terzo grafo mostra l'energia potenziale totale del cubo magnetico, quando è sottoposto sia all'influsso della gravitazione che a quella della forza di attrazione dei magneti ad anello. Particolarmente interessante è la zona compresa tra le linee tratteggiate (posizio-

ne delle piastre di vetro acrilico). La figura 4 mostra un ingrandimento di questa zona.

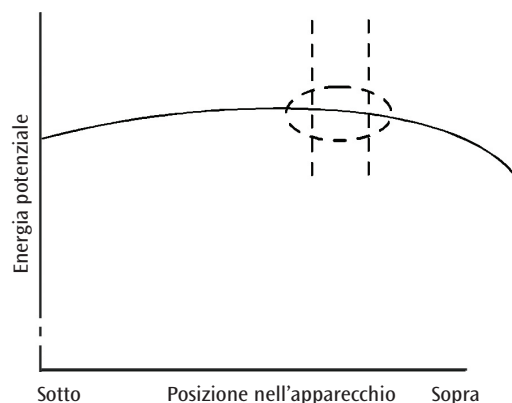


Fig. 3: Energia potenziale totale del cubo magnetico in diverse posizioni nell'apparecchio con piastre di vetro acrilico

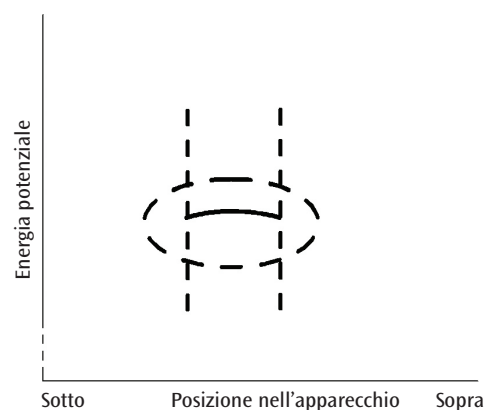


Fig. 4: Sezione dalla fig. 3

Il punto con l'energia potenziale massima si trova circa a metà tra le due piastre di vetro acrilico: qui il cubo magnetico si trova in uno stato di equilibrio instabile.

Se ora le piastre di vetro acrilico vengono sostituite con le piastre di grafite, deve essere utilizzata energia, per portare il cubo magnetico in prossimità di una delle piastre. Il livello energetico potenziale è massimo nelle immediate vicinanze delle piastre di grafite. La fig. 5 mostra questo comportamento.

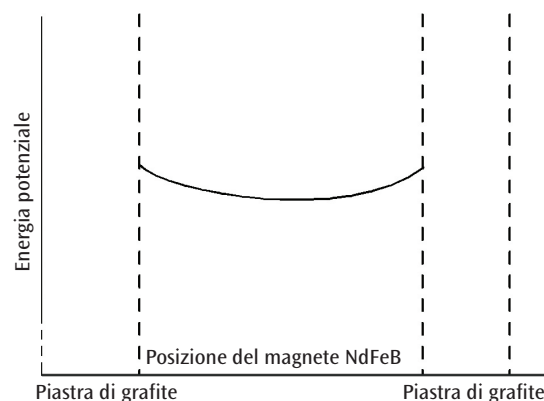


Fig. 5: Energia potenziale del cubo magnetico tra le piastre di grafite

Il punto con l'energia potenziale minima si trova al centro delle piastre di grafite. In questo punto il magnete NdFeB si trova in uno stato di equilibrio stabile e può pertanto oscillare.

4. Utilizzo

- L'apparecchio viene consegnato assemblato. Per eseguire gli esperimenti può essere scomposto.
- A tale scopo allentare con la chiave per viti ad esagono cavo le quattro viti presenti sui lati della piastra di base. Ruotare la chiave per viti ad esagono cavo di tre giri completi in senso antiorario.
- Con una mano tenere l'apparecchio e con l'altra estrarre con cautela il corpo in vetro acrilico.
- Rimuovere la piastra laterale allentata. Le piastre di grafite possono ora essere estratte e sostituite con le piastre di vetro acrilico.
- Eseguire l'assemblaggio nella sequenza inversa. Serrare le viti con la sola pressione delle dita, per

evitare di danneggiare il corpo in vetro acrilico.

- Per regolare la posizione del magnete NdFeB, allentare la madrevite superiore e con la madrevite inferiore spostare i magneti ad anelli verso l'alto e verso il basso, per ridurre o aumentare la forza di attrazione. A tale scopo, se necessario, tenere saldamente il disco di fissaggio con un dito. Serrare la madrevite superiore con una leggera pressione delle dita.

5. Esempi di esperimenti

- Sostituire le due piastre di grafite con le piastre di vetro acrilico e cercare di portare il magnete NdFeB in una posizione di equilibrio.
- Ripetere l'esperimento rispettivamente con una piastra di grafite e una piastra di vetro acrilico (sopra o sotto).
- Discutere i risultati degli esperimenti sulla base della teoria.

U45051 Aparato de levitación diamagnética

Instrucciones de uso

1/04 ALF



- ① Placa base
- ② Cuerpo de cristal acrílico
- ③ Placa de plástico
- ④ Placa de grafito
- ⑤ Imán de NdFeB
- ⑥ Disco de fijación
- ⑦ Tuercas
- ⑧ Imán anular

El aparato de levitación diamagnética sirve para demostrar las propiedades de los materiales diamagnéticos.

1. Aviso de seguridad

- No acercar los imanes a equipos electrónicos, portadores magnéticos de datos u otros instrumentos sensibles.
- Los imanes anulares son frágiles, por lo tanto, se debe evitar su caída. Peligro de rompimiento.
- Es necesario manipular con cuidado las placas de grafito al momento de extraerlas. Este material se rompe y se raya con facilidad.
- El imán de NdFeB, con forma de cubo, es sumamente frágil y podría incluso romperse al chocar con los imanes anulares, impulsado por la fuerza de atracción.
- Las tuercas sólo se deben manipular con los dedos.
- Para limpiar el aparato, se debe emplear únicamente agua con un poco de detergente. Jamás se debe lavar con agentes de limpieza agresivos o con soluciones.

2. Descripción, datos técnicos

En el interior de un espacio cercado por un cuerpo de vidrio acrílico, se encuentra un imán de NdFeB, dorado, el cual levita libremente entre dos placas de grafito. La fuerza de la gravedad que actúa sobre él se ve anulada casi por completo por los imanes anulares que se encuentran sobre la cubierta de plástico.

Las dos placas diamagnéticas de grafito, ubicadas por encima y por debajo del imán de NdFeB, lo obligan a

mantenerse en un estado de equilibrio estable, puesto que las placas de grafito repelen ambos polos del imán en levitación (diamagnetismo).

Dimensiones:

Placa base: 95 mm x 95 mm
 Altura: 135 mm

2.1 Volumen de suministro

- 1 aparato de levitación
- 2 placas de cristal acrílico
- 1 llave Allen

3. Teoría

En 1848, el físico S. Earnshaw planteó el siguiente teorema: En un campo estático, que presente una dependencia de $1/r^2$, no es posible mantener cargas o imanes en un estado de levitación de carácter estable. Aseguró, además, que con materiales diamagnéticos sí se podría establecer perfectamente tal estado de levitación.

La disponibilidad de imanes terrestres raros, y muy fuertes, hizo posible la construcción de este pequeño aparato de levitación que emplea grafito como material diamagnético. En los materiales diamagnéticos, ambos polos se repelen.

El funcionamiento del aparato de levitación se puede explicar a partir de las fuerzas actuantes, propias del imán en forma de cubo, o de su energía potencial.

Sobre el imán de NdFeB actúa tanto la gravedad como la fuerza de atracción de los imanes anulares. La posición de los imanes anulares se ha establecido de manera que sus fuerzas se anulen por aproximación. Si la fuerza de la gravedad es mayor que la atracción de los

imanes, el imán con forma de cubo descenderá. Si se produce el caso contrario, será atraído hacia arriba. La propiedad diamagnética del grafito hace que el imán se vea repelido por la placa hacia la que se acerca. Estas fuerzas de repulsión son muy pequeñas pero, no obstante, suficientes para mantener al imán de NdFeB en un estado de levitación.

Para entender de mejor manera este estado, es necesario tomar en cuenta la energía potencial del imán con forma de cubo. En la ilustración 1 se muestra la energía potencial de este imán, en función a su posición dentro del aparato, pero sin la presencia de los anillos anulares y las placas de grafito. Las masas siempre poseen la tendencia a desplazarse hacia el lugar en donde la energía potencial es menor. Mientras más elevado sea el lugar en donde se encuentren, la energía potencial será mayor. Para llevarlas a dicho lugar se requiere ejecutar un trabajo e invertir energía.

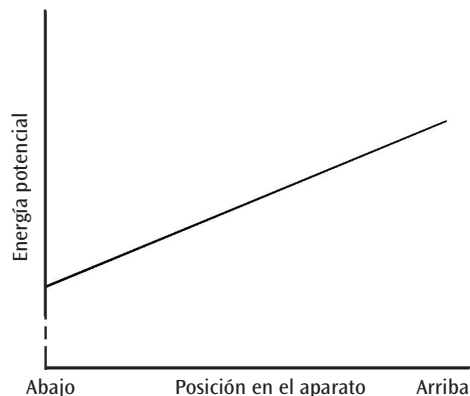


Fig. 1: Energía potencial del imán con forma de cubo, en diferentes posiciones dentro del aparato, sin las placas de grafito ni los imanes anulares

Si se observa ahora el caso en el que la gravedad es casi igual a cero, la energía potencial será menor mientras el imán se encuentre más cerca de los imanes anulares. Para separar el imán con forma de cubo de los imanes anulares, es necesario aplicar una fuerza, por otra parte, su energía potencial aumenta. La figura 2 ilustra lo expresado anteriormente.

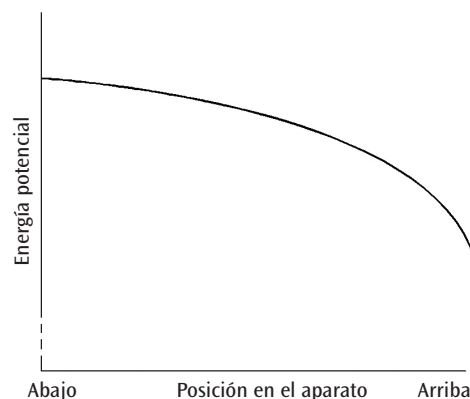


Fig. 2: Energía potencial del imán con forma de cubo, en diferentes posiciones dentro del aparato, sin las placas de grafito y con gravedad tendiendo a cero

La tercera ilustración muestra la energía potencial total del imán con forma de cubo, cuando se encuentra sometido tanto a la gravedad como la fuerza de atracción de los imanes anulares. En este caso, cobra especial interés el área comprendida entre las líneas punteadas (posición de las placas de vidrio acrílico). La ilustración 4 muestra una ampliación de esta área.

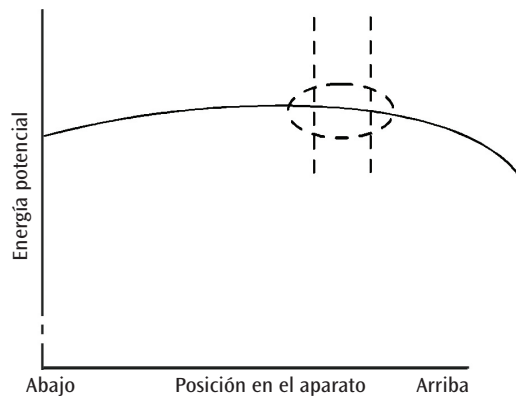


Fig. 3: Energía potencial total del imán con forma de cubo en diferentes posiciones dentro del aparato, con las placas de cristal acrílico

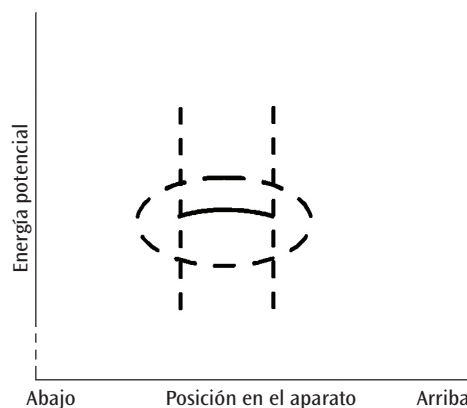


Fig. 4: Sección de la fig. 3

El punto con la mayor energía potencial se ubica, aproximadamente, en el centro, entre ambas placas de cristal acrílico. El imán con forma de cubo se encuentra aquí en un estado de equilibrio inestable.

Si se reemplazan las placas de cristal acrílico por las de grafito, se deberá aplicar energía para acercar el imán a una de las placas. Por tanto, el mayor nivel de energía potencial se encuentra en la cercanía directa de las placas de grafito. La figura 5 (ver siguiente pág.) muestra lo expresado anteriormente.

El punto con el menor valor de energía potencial se encuentra, en el centro, entre las placas de grafito. En este punto, el imán de NdFeB se encuentra en una posición de equilibrio estable y, por lo tanto, puede levitar.

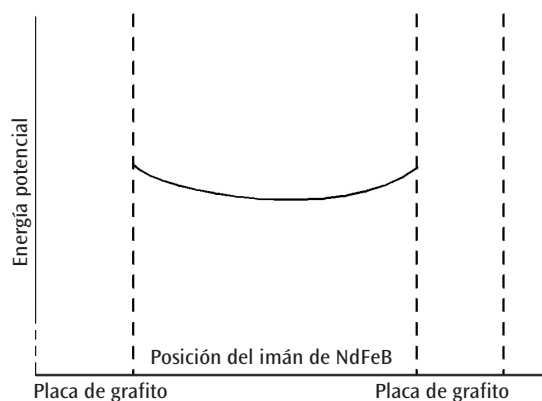


Fig. 5: Energía potencial del imán ubicado entre las placas de grafito

4. Servicio

- El equipo se suministra completamente montado. Para la experimentación, se pueden separar sus partes.
- Para realizar lo anterior, se deben aflojar los cuatro tornillos, ubicados a los lados de la placa base, por medio de la llave Allen. Girar la llave Allen, tres vueltas completas, en sentido contrario a las manecillas del reloj.

5. Ejemplos de experimentos

- Reemplazar ambas placas de grafito por las de vidrio acrílico y tratar de llevar el imán de NdFeB a una posición de equilibrio.
- Repetir el experimento con una placa de grafito y otra de vidrio acrílico (por encima o por debajo).
- Discutir los resultados de experimentación a partir de la teoría.

- Sujetar el aparato con una mano y retirar cuidadosamente con la otra el cuerpo de vidrio acrílico.
- Retirar las placas laterales sueltas. Ahora se pueden sacar las placas de grafito para reemplazarlas por las de vidrio acrílico.
- Realizar el montaje en el orden inverso. Los tornillos sólo se deben apretar con los dedos para evitar daños en el cuerpo de vidrio acrílico.
- Para ajustar la posición del imán de NdFeB, se afloja la tuerca superior y, por medio de la inferior, se desplazan los imanes anulares hacia arriba o hacia abajo para, de esta manera, aumentar o disminuir la fuerza de atracción. Al hacerlo, se debe sostener el disco de fijación con un dedo, en el caso de que sea necesario. Apretar la tuerca superior ejerciendo una leve presión con los dedos.

U45051 Aparelho diamagnético de flutuação no ar

Instruções para o uso

1/04 ALF



- ① Placa base
- ② Corpo de acrílico transparente
- ③ Placa de plástico
- ④ Placa de grafite
- ⑤ Ímã de NdFeB
- ⑥ Disco de fixação
- ⑦ Porca do parafuso
- ⑧ Anéis magnéticos

O aparelho diamagnético de flutuação no ar serve para a demonstração da ação de materiais diamagnéticos.

1. Indicações de segurança

- Não aproximar os ímãs de aparelhos eletrônicos, suportes magnéticos de dados ou instrumentos sensíveis.
- Os anéis magnéticos são porosos, portanto, não os deixe cair. Eles podem quebrar.
- Manipular as placas de grafite com cuidado ao retirá-las. Elas quebram e se arranham com facilidade.
- O ímã de NdFeB em forma de cubo é muito poroso. Ele pode quebrar mesmo ao bater nos anéis magnéticos quando acelerado pela força de gravidade.
- Apertar as porcas do parafuso só com a força dos dedos.
- Para a limpeza, só utilizar água quente e um pouco de detergente. Jamais utilize produtos agressivos ou solventes.

2. Descrição, dados técnicos

Num espaço fechado por acrílico transparente encontra-se um ímã NdFeB dourado, o qual foi colocado flutuando livremente entre duas placas de grafite. A força de gravidade que age sobre ele é quase completamente anulada pela força de atração de um ímã em anel que se encontra acima da tampa de acrílico. As duas placas de grafite, uma acima e outra abaixo do ímã NdFeB, forçam-no a manter uma posição de

equilíbrio estável, já que ambos os pólos do ímã são repelidos pelas placas de grafite (diamagnetismo).

Medidas:

Placa base: 95 mm x 95 mm
 Altura: 135 mm

2.1 Fornecimento

- 1 aparelho de flutuação no ar
- 2 placas de acrílico transparente
- 1 chave soquete

3. Teoria

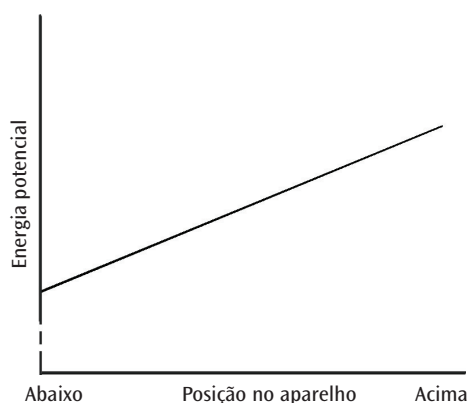
Em 1848, o físico S. Earnshaw estabeleceu o seguinte teorema: não é possível levar cargas elétricas ou ímãs a um estado de flutuação estável num campo estático que apresente uma dependência de $1/r^2$. Além disso, ele afirmava que sim podia-se muito bem criar um estado de flutuação com materiais diamagnéticos. A disponibilidade de ímãs terrestres raros de grande força tornava possível a construção deste pequeno aparelho de flutuação no ar com grafite como ímã diamagnético. Materiais diamagnéticos repelem ambos pólos magnéticos.

A ação do aparelho de flutuação no ar pode ser explicada por meio das forças ativas ou da energia potencial do ímã cúbico.

A força de gravitação e de atração dos anéis magnéticos age sobre o ímã de NdFeB. A posição dos anéis magnéticos foi escolhida de modo que forças em ação quase se anulem mutuamente. Se a força de gravitação for maior que a força de atração, o ímã cai. em caso

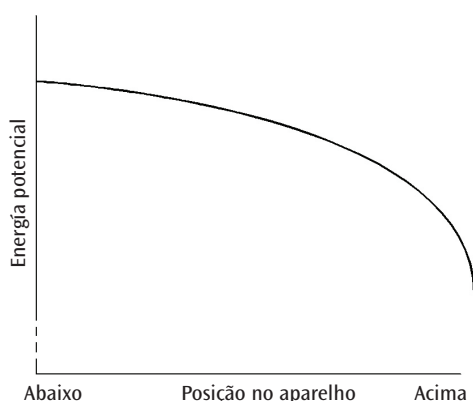
contrário este será atraído para cima. A característica diamagnética do grafite faz com ele seja repellido por ambas placas. Estas forças de repulsão são muito pequenas, mas suficientes para manter o ímã de NdFeB em estado de flutuação.

Para entender esse estado é necessário observar a energia potencial do ímã cúbico. O gráfico na ilustr. 1 mostra a energia potencial do cubo magnético em relação à sua posição no aparelho, porém, sem os anéis magnéticos e sem as placas de grafite. As massas tendem a se deslocar para o local com a menor energia potencial. Nu local mais alto, a sua energia potencial é maior. É necessário trabalhar e investir energia para levá-los a esse ponto.



Ilustr. 1: Energia potencial do ímã cúbico e diversas posições no aparelho sem placas de grafite e sem anéis magnéticos

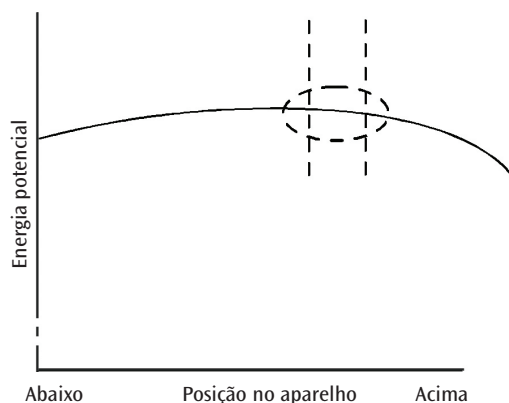
Observa-se o caso em que a gravitação se aproxima de zero, então a energia potencial será menor na medida em que o ímã cúbico se aproxime dos anéis magnéticos. É necessário aplicar força para separar o cubo magnético dos anéis magnéticos, e a sua energia potencial cresce. Na ilustr. 2 está representado esse comportamento.



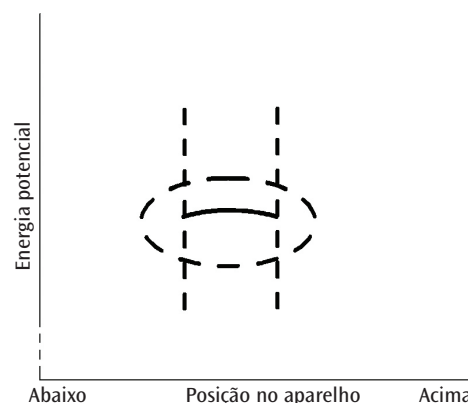
Ilustr. 2: Energia potencial do cubo magnético em diferentes pontos do aparelho próxima de zero sem as placas de grafite e sem gravitação

O terceiro gráfico mostra a energia potencial total do cubo magnético quando ele é sujeito tanto à influência da gravitação como a atração dos anéis magnéticos. A área entre as linhas cruzadas (posição das pla-

cas de acrílico) é de particular interesse. A ilustr. 4 mostra uma ampliação desta área.



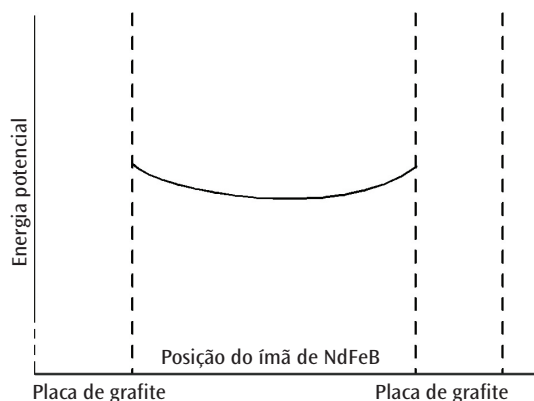
Ilustr.3: Energia potencial total do ímã cúbico em diferentes posições no aparelho com placas de acrílico transparente



Ilustr. 4: detalhe da ilustr. 3

O ponto com a maior energia potencial encontra-se aproximadamente no ponto mediano entre ambas placas de acrílico. O cubo magnético encontra-se aqui num estado de equilíbrio instável.

Se as placas de acrílico são agora substituídas pelas placas de grafite, deve-se gastar energia para levar o cubo magnético para perto das placas. O nível potencial de energia é então o mais alto na proximidade imediata das placas de grafite. A ilustr. 5 mostra esse comportamento.



Ilustr. 5: Energia potencial do cubo magnético entre as placas de grafite

O ponto com a menor energia potencial encontra-se no ponto mediano entre as placas de grafite. Neste ponto, o ímã de NdFeB encontra-se num estado de equilíbrio estável e por isso ele pode flutuar.

4. Utilização

- O aparelho é fornecido já completamente montado. Ele pode ser desmontado para experiências.
- Para tal, afrouxar os quatro parafusos nos lados da placa base com a chave soquete. Efetuar três giros completos em sentido anti-horário com a chave soquete.
- Segurar o aparelho com uma mão, retirar com cuidado o corpo de acrílico transparente com a outra mão.
- Retirar a placa lateral solta. Agora, as placas de grafite podem ser retiradas e substituídas pelas placas de acrílico transparente.
- Efetuar a montagem na seqüência inversa. Apertar

os parafusos com a força dos dedos para evitar eventuais danos no corpo de acrílico transparente.

- Para ajustar a posição do ímã de NdFeB, soltar a porca de parafuso superior e deslocar os anéis magnéticos para cima ou para baixo com a porca inferior para aumentar ou diminuir a força de atração. Caso necessário, manter o disco de fixação com o dedo. Apertar a porca de parafuso superior com ligeira força dos dedos.

5. Exemplos de experiências

- Substituir ambas placas de grafite pelas placas de acrílico transparente e tentar colocar o ímã de NdFeB em posição de equilíbrio.
- Repetir o ensaio com uma placa de grafite e uma placa de acrílico (encima ou em baixo).
- Discutir os resultados da experiência na base da teoria.