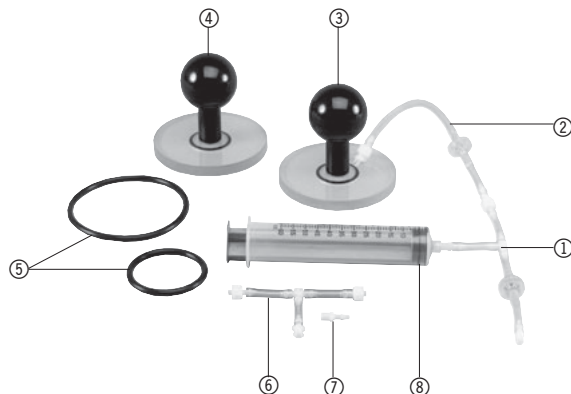


U45054 Magdeburger Platten

Bedienungsanleitung

7/03 ALF



- ① Schlauch mit T-Stück und Einwegventil
- ② Schlauch mit Einwegventil
- ③ Acrylglasplatte mit Flansch zum Anschluss der Schlauchverbindung
- ④ Acrylglasplatte
- ⑤ Gummidichtungsringe
- ⑥ T-Stück
- ⑦ Ersatzschlauchverbinder
- ⑧ Handpumpe

Kompletter Gerätesatz zur Durchführung des historischen Versuchs von Guericke zur Wirkung des atmosphärischen Luftdrucks im Demonstrations- und Praktikumsversuch.

1. Sicherheitshinweise

- Nicht versuchen die evakuierten Platten mit Werkzeug auseinander zu hebeln.
- Nicht versuchen mit Hilfe von Seilen oder ähnlichem die Platten zu trennen, da sie, wenn sie sich trennen, zu Geschossen werden können.
- Hinter den Personen, die versuchen die Magdeburger Platten zu trennen, sollte genug freier Raum sein.
- Beim Herstellen der Schlauchverbindungen keine große Kraft aufwenden. Schlauchverbinder nur mit Fingerdruck zusammenstecken.
- Beim Belüften der Platten die Apparatur festhalten, so dass eine Beschädigung durch Herunterfallen der Platten vermieden wird.
- Darauf achten, dass die Innenflächen der Platten nicht verkratzt werden.
- Zur Reinigung nur warmes Wasser mit etwas Spülmittel verwenden. Niemals Lösungsmittel.

2. Beschreibung, technische Daten

Der Gerätesatz Magdeburger Platten besteht aus zwei Acrylglasplatten mit Handgriffen und eingelegtem Gummiring, die grobvakuumdicht zusammengesetzt

werden können. Zwei verschieden große Dichtungsringe erlauben den Vergleich der Wirkung des atmosphärischen Luftdrucks bei verschiedenen großen Kontaktflächen. Eine Platte ist mit einem Flansch zum Anschluss eines Plastikschlauchs zum Evakuieren versehen. Die Evakuierung erfolgt durch eine einfache Handpumpe. Die Verbindung zur Handpumpe erfolgt über Plastikschläuche mit eingebauten Einwegventilen. Über ein zusätzliches T-Stück lässt sich ein Drucksensors (z.B. U44220) zur Messwertaufnahme mit einem Interface (z.B. LabPro U44000) anschließen. Der Vorteil der Magdeburger Platten gegenüber den üblichen im Unterricht benutzten Halbkugeln liegt darin, dass, bedingt durch das flache Design, alle Kräfte parallel auf die Platten wirken und sich so einfache Berechnungen der Kräfte durchführen lassen.

Acrylglasplatten: 13 mm x 97 mm Ø
 Dichtungsringe: 5 mm x 85 mm Ø_{innen}
 und 95 mm Ø_{außen}
 5 mm x 50 mm Ø_{innen}
 und 60 mm Ø_{außen}

2.1 Lieferumfang

- 2 Acrylglasplatten mit Handgriffen
- 2 Gummidichtungsringe mit verschiedenem Durchmesser
- 1 Handpumpe in Aufbewahrungsbehälter
- 1 Schlauch mit Einwegventil
- 1 Schlauch mit T-Stück und Einwegventil
- 1 T-Stück
- 1 Ersatzschlauchverbinder

3. Funktionsprinzip

Die Erde ist umgeben von einem Luftmantel, der Atmosphäre. Die Luftmoleküle sind wie alle anderen Stoffe der Schwerkraft ausgesetzt und konzentrieren deshalb an der Erdoberfläche. Der atmosphärische Druck, der von der Luftmasse ausgeübt wird, ist auf Meereshöhe am größten und nimmt mit steigender Entfernung von der Erdoberfläche ab. Analog zu Flüssigkeiten wirkt der Luftdruck gleichmäßig von allen Seiten auf einen Körper. In einem offenen Körper besteht immer ein Gleichgewicht zwischen dem Innen- und Außendruck. Ist der Innendruck geringer als der Außendruck, so wird sich der Gleichgewichtszustand durch Einfließen von Luft wieder herstellen. Auch im umgekehrten Fall, wenn der Innendruck größer als der Außendruck ist, besteht die gleiche Tendenz durch Austritt von Masse. In einem geschlossenen Körper ist die resultierende Kraft aus der Druckdifferenz zwischen Innen- und Außendruck im ersten Fall auf die Oberfläche des Körpers gerichtet und wird ihn zusammendrücken und im zweiten Fall nach außen mit der Tendenz ihn zur Explosion zu bringen.

Der Physiker und Bürgermeister von Magdeburg Otto von Guericke demonstrierte als erster die Wirkung des atmosphärischen Luftdrucks. Seine Vakuumversuche begannen um 1650 und fanden ihren Höhepunkt mit einem spektakulären Experiment 1654 in Regensburg vor dem Kaiser Ferdinand III: Die Magdeburger Halbkugeln. Dazu evakuierte von Guericke zwei mit einem in Öl und Wachs getränkten Lederriemen abgedichtete Kupferhalbkugeln mit einem Durchmesser von 42 cm. Die Luft drückte die Halbkugeln so stark zusammen, dass selbst 16 Pferde nicht im Stande waren diese zu trennen.

4. Bedienung

4.1 Demonstration der Wirkung des atmosphärischen Luftdrucks

- Vor dem Versuch Gummidichtungsring und Platten auf Beschädigungen überprüfen.
- Schlauchverbindung zwischen Handpumpe ⑧ und Magdeburger Platte ③ gemäß Abbildung 1 herstellen.
- Dazu Schlauchverbinder ineinander stecken und durch Drehen mit leichtem Fingerdruck zusammenstecken.
- Gewünschten Gummidichtungsring auf die Platte legen und beide Platten zusammendrücken.
- Bei Wahl des Gummiringes mit dem kleineren Durchmesser ist es leichter die Platten durch Zug zu trennen. Ein experimenteller Vergleich, bei dem nacheinander beide Gummiringe benutzt werden, demonstriert die Abhängigkeit der Kraft von der Fläche.
- Eine zweite Person startet den Evakuierungsvorgang mit der Handpumpe.
- Nach wenigen Pumpvorgängen ist die meiste Luft zwischen den Platten evakuiert.
- Wirkung des atmosphärischen Luftdrucks durch Ziehen an den Halbkugeln demonstrieren.

- Durch Lösen der Schlauchverbindung an der Magdeburger Platte die Apparatur belüften.

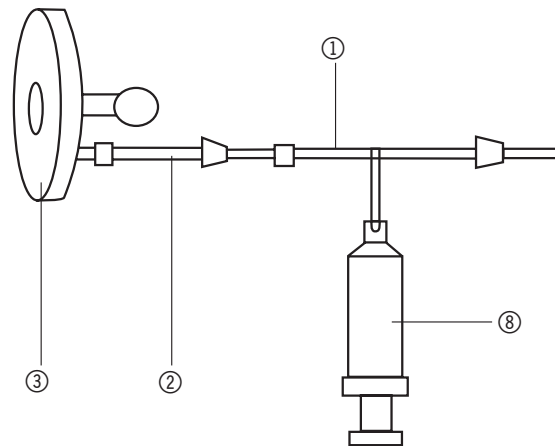


Abb.1

4.2 Quantitative Messung

4.2.1 Grobe experimentelle Bestimmung des atmosphärischen Luftdrucks

- Geräte wie im Versuch Pkt.4.1 zusammenbauen.
- Die Luft zwischen den Platten evakuieren.
- Die Person mit den Magdeburger Platten betritt eine Badezimmerwaage und beobachtet die Skala während die zweite Person versucht die Platten zu trennen, indem sie senkrecht nach unten zieht.
- Den abgelesenen Waagenwert beim Trennen der Platten notieren.
- Zur Berechnung dient die Formel $\text{Druck} = \text{Kraft}/\text{Fläche}$
- Zur Bestimmung der Kraft vom abgelesenen Waagenwert das Körpergewicht und das Gewicht der Magdeburger Platten subtrahieren. Zur Umwandlung in Newton den Wert in kg mit 9,8 multiplizieren.
- Die Kraft, mit der die Platten zusammengedrückt werden entspricht der Kraft, die der Luftdruck auf die vom Gummiring begrenzte Fläche ausübt. Deshalb zur Bestimmung der Fläche den mittleren Durchmesser des Gummiringes bestimmen und in m^2 umwandeln.
- $1 \text{ N}/\text{m}^2$ entspricht 1 Pa . Da der berechnete Werte sehr groß ist, ist es empfehlenswert das Ergebnis in kPa umzuwandeln.
- Es empfiehlt sich ein Vergleich mit dem tatsächlichen Luftdruck, gemessen mit einem Barometer.
- Fehlerquellen mit den Schülern besprechen (z.B. Ungenauigkeiten in der Badezimmerwaage und beim Ablesen, nicht genau senkrecht Herabziehen der Magdeburger Platte, Restmenge von Luft zwischen den Platten).

Zusätzlich erforderlich:

- 1 Badezimmerwaage

4.2.2 Bestimmung der Kraft, die auf die Magdeburger Platten wirkt mit einem Datenlogger

- Schlauchverbindungen gemäß Abb.2 herstellen.
- Den Drucksensor (z.B. U 44220) und ein Barometer (z.B. U 44300) an einen Datenlogger (z.B. U 44000) anschließen.
- Die Luft zwischen den Platten evakuieren.
- Die Kraft, die auf die Magdeburger Platten wirkt lässt sich durch die Gleichung $\text{Kraft} = \text{Druck} \times \text{Fläche}$ bestimmen. Dabei ist zu beachten, dass sich zwischen den Platten eine Restmenge Luft befindet, die dem atmosphärischen Druck entgegen wirkt. Sie ist bei der Bestimmung der Kraft zu berücksichtigen:
 $\text{Kraft} = (\text{Luftdruck} - \text{Restdruck}) \times \text{Fläche}$
- Mit dem Drucksensor Restdruck zwischen den Platten bestimmen.
- Mit dem Barometer den Luftdruck messen.
- Zur Bestimmung der Fläche den mittleren Durchmesser des Gummiringes bestimmen und in m^2 umwandeln.
- Berechnung durchführen.
- Versuch mit dem anderen Dichtungsring wiederholen und Ergebnisse vergleichen.

Zusätzlich erforderlich:

- 1 Datenlogger LabPro U44000
- 1 Drucksensor U44220
- 1 Barometer U44300

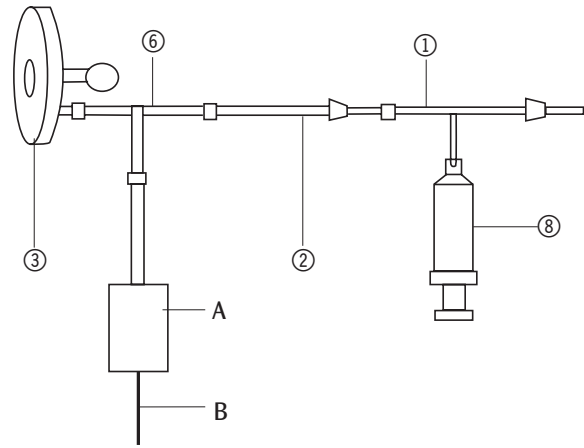


Abb.2

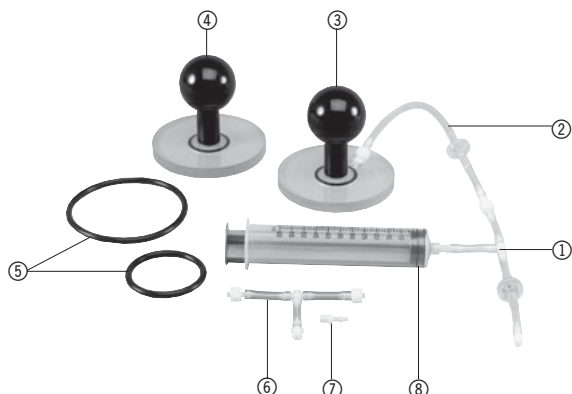
A: Drucksensor (z.B. U44220)

B: Verbindung zum Datenlogger (z.B. LabPro U44000)

U45054 Magdeburg Plates

Instruction Sheet

7/03 ALF



- ① Hose with T-piece and valve
- ② Hose with valve
- ③ Transparent acrylic plate with flange for hose attachment
- ④ Transparent acrylic plate
- ⑤ Rubber sealing rings
- ⑥ T-piece
- ⑦ Spare hose connector
- ⑧ Hand pump

Complete set of equipment for conducting Guericke's historical experiment to show the effect of atmospheric pressure. The experiment can be performed as a demonstration or as a student practical.

1. Safety Instructions

- Do not try to pry the two evacuated hemispheres apart using tools.
- Do not try to separate the hemispheres using ropes or similar, because when they do separate they can turn into projectiles.
- Ample space should be left behind the persons trying to separate the Magdeburg plates
- Do not use excessive force when connecting the hose. Do not use any more force than you can generate from your fingers to connect the hose.
- When ventilating the hemispheres hold on tight to the apparatus so that you can avoid any damage from the hemispheres falling.
- Be careful not to scratch the inner surfaces of the plates.
- To clean, only use warm water with a small amount of washing-up liquid. Never use solvents.

Description, technical data

The Magdeburg plates kit consists of two transparent acrylic plates with handles and a rubber sealing ring to be placed between them. They can be pushed to-

gether with a coarse vacuum between them. Sealing rings of two different sizes allow comparison between the effects of atmospheric for two differing contact areas. One plate is equipped with a flange for attaching a plastic hose so that a vacuum can be generated. Evacuation is performed using a simple hand pump. This can be connected via a plastic-hose with a built-in valve. An additional T-piece allows a pressure sensor (e.g. U44220) to be connected for measuring pressure in conjunction with a suitable interface (e.g. LabPro U44000).

The advantage of the Magdeburg plates over the hemispheres usually used in lessons is that, due to the flat design, all forces act parallel to the plates allowing the forces to be calculated easily.

Transparent acrylic plates: 13 mm x 97 mm Ø
 Sealing rings: 5 mm x 85 mm Ø_{inside}
 and 95 mm Ø_{outside}
 5 mm x 50 mm Ø_{inside}
 and 60 mm Ø_{outside}

2.1 Scope of delivery

- 2 Transparent acrylic plates with handles
- 2 Rubber sealing rings of different diameters
- 1 Hand pump in storage case
- 1 Hose with valve
- 1 Hose with T-piece and valve
- 1 T-piece
- 1 Spare hose connector

3. Operating principle

A protective mantle of air called the atmosphere surrounds the earth. The air molecules like all other materials are subject to the force of gravity and thus become concentrated at the earth's surface. The atmospheric pressure, which is exerted by the air mass, is highest at sea level and gradually decreases with increasing distance from the earth's surface. Air pressure like any liquid exerts equal and constant pressure on all sides of an object. In an open object equilibrium always prevails between internal and external pressure. If the internal pressure drops more than the external pressure, the state of equilibrium is reestablished by letting air in. Conversely, if the internal pressure becomes greater than the prevailing external pressure, there is the same tendency to escape. In an enclosed object the force resulting from the difference between the internal and external pressures affects the object's surface either causing it to compress or in the latter case causing the object to explode.

The physicist and mayor of Magdeburg Otto von Guericke was the first to demonstrate the effect of atmospheric pressure. His vacuum experiments commenced around 1650 and reached their zenith in 1654 in a spectacular experiment attended by Kaiser Ferdinand III in the town of Regensburg: the famous Magdeburger hemispheres. To do this von Guericke evacuated the air out of two copper hemispheres of 42 cm diameter and sealed with an oil and wax saturated leather lining. The air pressed the hemispheres together with such force that even 16 horses were unable to pull them apart.

4. Operation

4.1 Demonstration of the effect of atmospheric pressure

- Check the sealing ring and the plates for damage before the experiment.
- Connect the hose between the hand pump ⑧ and the Magdeburg plate ③ as shown in Figure 1.
- Slip the hose connectors inside one another and push them together by turning lightly with the fingers.
- Place the desired sealing ring on one plate and press the plates together.
- When the smaller diameter ring is chosen, it is easier to separate the plates by pulling them apart. An experimental comparison can be made using the two rings one after the other to show how force depends on the surface area.
- A second person may start the process of evacuating the space between the plates.
- Most of the air will have been evacuated after a few pumps to form a sufficient vacuum for the experiment.
- Demonstrate the effect of atmospheric pressure by attempting to tug the plates apart.
- Loosen the hose connection to the Magdeburg plate to let air into the apparatus.

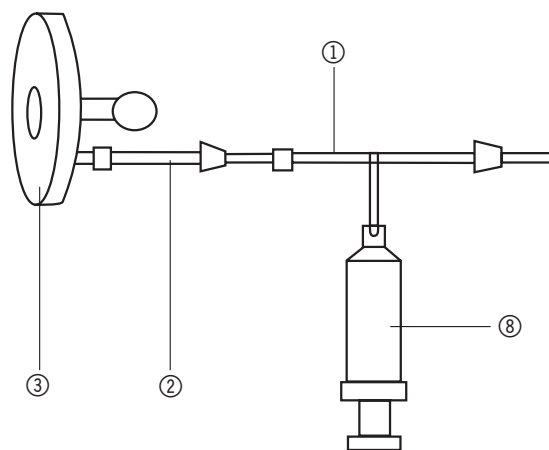


Fig.1

4.2 Quantitative measurement

4.2.1 Approximate determination of atmospheric pressure by experiment

- Assemble the equipment as in section 4.1.
- Pump out the air between the plates.
- The person holding the Magdeburg plates should step onto some bathroom scales and observed the weight indicated as a second attempts to separate the plates by pulling the bottom handle vertically downwards.
- Note the weight indicated by the scales when the plates separate.
- The following formula is used for the calculation
 $\text{Pressure} = \text{Force}/\text{Area}$
- To determine the force, subtract the weight of the Magdeburg plates and the person holding them from the weight shown at separation. To convert the force into Newtons, multiply the weight in kilograms by 9.8
- The force pressing the plates together corresponds to the atmospheric pressure being exerted on the area encompassed by the sealing ring. Calculate the area in m^2 from the inner diameter of the ring.
- $1 \text{ N}/\text{m}^2$ is equivalent to 1 Pa . Since the value will come out to be rather large, you can convert your answer into kilopascals.
- It is recommended that the result be compared to the actual atmospheric pressure as measured using a barometer.
- Discuss with the students what might be causes for any deviations (e.g. inaccuracies in the scales and the reading of them, not pulling vertically downwards when separating the plates or residual air between them).

Also required:

1 Set of bathroom scales

4.2.2 Determining the force acting on the Magdeburg plates with a data logger

- Connect the hoses as in Figure 2.
- Connect the pressure sensor (e.g. U 44220) and a barometer (e.g. U 44300) to a data logger (e.g. U 44000).

- Pump out the air between the plates.
- The force acting on the Magdeburg plates can be determined by the equation $\text{Force} = \text{Pressure} \times \text{Area}$. It should be noted that some residual air remains between the plates that acts against the atmospheric pressure. This should be considered when calculating the force:
 $\text{Force} = (\text{Atmospheric pressure} - \text{Residual pressure}) \times \text{Area}$
- Use the pressure sensor to work out the pressure due to the residual air between the plates.
- Measure the atmospheric pressure using a barometer.
- Calculate the area in m^2 from the inner diameter of the ring.
- Perform your calculations.
- Repeat the experiment using the second sealing ring and compare the results.

Also required:

- 1 Data logger LabPro U44000
- 1 Pressure sensor U44220
- 1 Barometer U44300

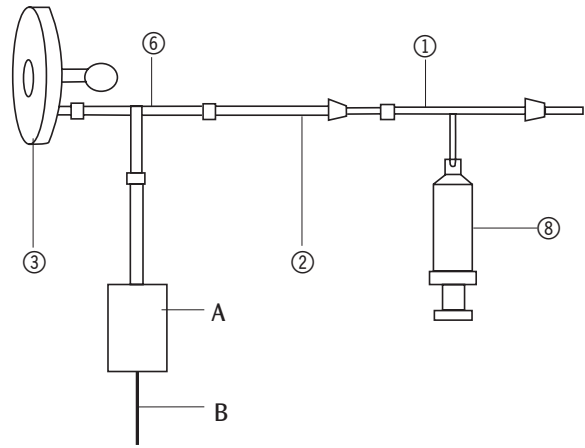


Fig.2

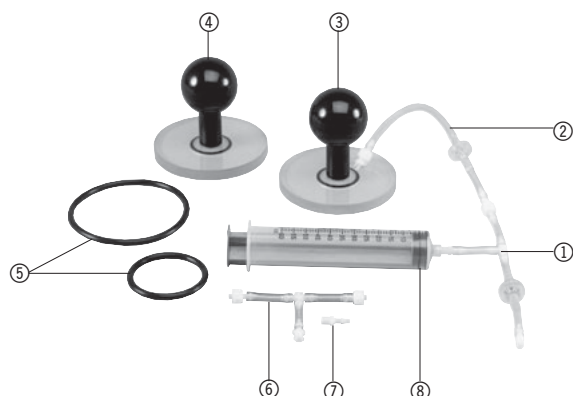
A: Pressure sensor (e.g. U44220)

B: Connection to data logger (e.g. LabPro U44000)

U45054 Plaques de Magdebourg

Instructions d'utilisation

7/03 ALF



- ① Tuyau avec pièce en T et soupape à une voie
- ② Tuyau avec olive à une voie
- ③ Plaque en verre acrylique avec bride pour le raccord du tuyau
- ④ Plaque en verre acrylique
- ⑤ Anneaux d'étanchéité en caoutchouc
- ⑥ Pièce en T
- ⑦ Raccord pour tuyau de rechange
- ⑧ Pompe manuelle

Jeu d'appareils complet permettant d'étudier l'expérience historique de Guericke pour démontrer l'effet de la pression atmosphérique.

1. Consignes de sécurité

- Ne pas essayer de desserrer les plaques sous vide à l'aide d'un outil.
- Ne pas essayer de séparer les plaques à l'aide de câbles, etc., car, lorsqu'elles se détachent, elles deviennent de véritables projectiles.
- Offrir suffisamment de place derrière les personnes qui essaient de séparer les plaques de Magdebourg.
- Etablir les raccords de tuyaux sans exercer trop de force. Enfiler le raccord pour tuyaux uniquement en appuyant avec les doigts.
- Lors de la ventilation des plaques, tenir le dispositif de telle sorte que les plaques ne puissent pas tomber.
- Veiller à ne pas rayer les surfaces intérieures des plaques.
- Pour le nettoyage, n'utiliser que de l'eau chaude avec un peu de nettoyant. Ne jamais utiliser de solvant.

2. Description, caractéristiques techniques

Les plaques de Magdebourg contiennent deux plaques en verre acrylique avec poignées et anneaux en caoutchouc insérés peuvent être assemblées sous vide primaire. Deux bagues étanches de dimensions différen-

tes permettent de comparer l'effet de la pression atmosphérique avec des surfaces de contact de différentes tailles. Une plaque est pourvue d'une bride permettant de relier un tuyau en plastique aux fins de créer le vide. Le vide est créé à l'aide d'une pompe manuelle simple. Le raccord avec la pompe manuelle est assuré par des tuyaux en plastique avec soupapes à une voie intégrées. Une pièce en T supplémentaire permet de brancher un capteur de pression (par ex. U44220), pour relever des mesures avec une interface (par ex. LabPro U44000).

L'avantage des plaques de Magdebourg par rapport aux hémisphères utilisés généralement en cours provient du design plat qui permet une action parallèle de toutes les forces sur les plaques et ainsi un calcul plus simple des forces.

Plaques en verre acrylique : 13 mm x Ø 97 mm
 Bagues étanches : 5 mm x Ø^{intérieur} 85 mm
 et Ø^{extérieur} 95 mm
 5 mm x Ø^{intérieur} 50 mm
 et Ø^{extérieur} 60 mm

2.1 Matériel fourni

- 2 plaques en verre acrylique avec poignées
- 2 bagues d'étanchéité en caoutchouc de différents diamètres
- 1 pompe manuelle dans un boîtier de rangement
- 1 tuyau avec olive à une voie
- 1 tuyau avec pièce en T et soupape à une voie
- 1 pièce en T
- raccord pour tuyau de rechange

3. Principe du fonctionnement

La Terre est enveloppée dans de l'air, l'atmosphère. Comme toutes les autres substances, les molécules d'air subissent l'attraction terrestre et se concentrent pour cette raison à la surface de la Terre. La pression atmosphérique exercée par la masse d'air est la plus importante au niveau de la mer et diminue au fur et à mesure qu'on s'en éloigne. Comme les liquides, la pression d'air exerce une action uniforme sur tous les côtés d'un corps. Dans un corps ouvert, il y a toujours un contre-poids entre la pression intérieure et extérieure. Si la pression intérieure est inférieure à la pression extérieure, on peut rétablir l'équilibre en laissant pénétrer de l'air. Dans le cas inverse, si la pression intérieure est supérieure à la pression extérieure, on observe la même tendance lorsque de la masse s'échappe. Dans un corps fermé, la force résultant de la différence entre les pressions intérieure et extérieure est, dans le premier cas, orientée vers la surface du corps et la comprimera et, dans le second cas, vers l'extérieur, avec tendance à l'explosion.

Le physicien et bourgmestre de Magdebourg Otto von Guericke fut le premier à démontrer l'effet de la pression atmosphérique de l'air. Vers 1650, il commença ses expériences sur le vide, dont la plus spectaculaire fut celle de 1654 à Regensburg sous les yeux de l'Empereur Ferdinand III : les hémisphères de Magdebourg. Von Guericke fit le vide entre deux hémisphères en cuivre d'un diamètre de 42 cm, l'étanchéité étant assurée par une courroie en cuir imbibée d'huile et de cire. L'air comprima les hémisphères avec une telle force qu'il fut impossible même à 16 chevaux de les séparer.

4. Manipulation

4.1 Démonstration de l'effet de la pression atmosphérique

- Avant de réaliser l'expérience, vérifier le bon état de l'anneau d'étanchéité en caoutchouc et des plaques.
- Raccorder le tuyau entre la pompe manuelle ⑧ et la plaque de Magdebourg ③, comme le montre la figure 1.
- Enficher les raccords l'un dans l'autre et appuyer légèrement dessus tout en les tournant.
- Placer l'anneau en caoutchouc souhaité sur la plaque et presser les deux plaques l'une contre l'autre.
- Avec un anneau d'un petit diamètre, il est plus facile de séparer les plaques. Une comparaison, au cours de laquelle on utilise successivement les deux anneaux en caoutchouc, démontre le rapport entre la force et la surface.
- Une seconde personne se charge de faire le vide avec la pompe manuelle.
- Après quelques pompages, la majeure partie de l'air entre les plaques est évacuée.

- Démontrer l'action de la pression atmosphérique en tirant sur les deux hémisphères.
- Desserrer le raccord de la plaque de Magdebourg pour ventiler le dispositif.

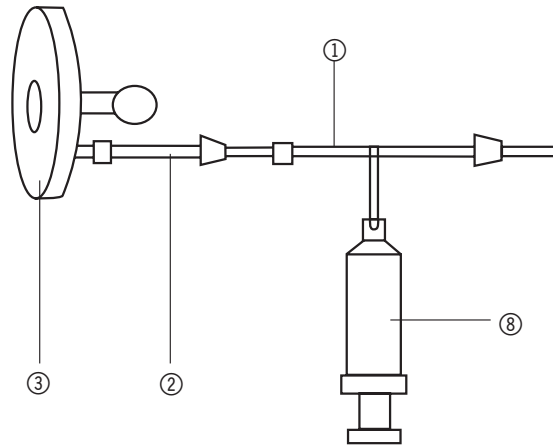


Fig. 1

4.2 Mesure quantitative

4.2.1 Détermination approximative de la pression atmosphérique

- Assembler les appareils comme pour l'expérience au point 4.1.
- Evacuer l'air entre les plaques.
- La personne tenant les plaques de Magdebourg se place sur une balance de salle de bain et observe la graduation, tandis que la seconde personne essaie de séparer les plaques en tirant dessus vers le bas.
- Noter la valeur de la balance lorsque les plaques sont séparées.
- Se servir de la formule suivante :
$$\text{pression} = \text{force} / \text{surface}$$
- Pour déterminer la force à partir de la valeur de la balance, soustraire le poids des plaques du poids du corps. Pour convertir en Newton la valeur en kg, multiplier par 9,8.
- La force qui comprime les plaques correspond à la force que la pression de l'air exerce sur la surface limitée par l'anneau en caoutchouc. Aussi, pour déterminer la surface, calculer le diamètre moyen de l'anneau et convertir la valeur en m².
- 1 N/m² correspond à 1 Pa. Comme les valeurs calculées peuvent être très importantes, il est recommandé de convertir le résultat en kPa.
- Il est conseillé d'effectuer une comparaison avec la pression d'air réelle mesurée avec un baromètre.
- Discuter des sources d'erreurs avec les élèves (par ex. imprécision de la balance et lors de la lecture, séparation pas tout à fait verticale des plaques, résidu d'air entre les plaques).

Articles complémentaires nécessaires :

- 1 balance de salle de bain

4.2.2 Détermination avec un enregistreur de la force exercée sur les plaques de Magdebourg

- Raccorder les tuyaux comme le montre la figure 2.
- Brancher le capteur de pression (par ex. U 44220) et un baromètre (par ex. U 44300) à un enregistreur (par ex. U 44000).
- Evacuer l'air entre les plaques.
- La force exercée sur les plaques de Magdebourg peut être déterminée à l'aide de la formule $\text{force} = \text{pression} \times \text{surface}$. Noter toutefois qu'un résidu d'air subsiste entre les plaques et agit à l'encontre de la pression atmosphérique. Il faut en tenir compte lors du calcul de la force :
 $\text{force} = (\text{pression d'air} - \text{pression résiduelle}) \times \text{surface}$
- A l'aide du capteur de pression, déterminer la pression résiduelle entre les plaques.
- Mesurer la pression de l'air avec le baromètre.
- Pour déterminer la surface, calculer le diamètre moyen de l'anneau et convertir la valeur en m^2 .
- Effectuer le calcul.
- Répéter l'expérience avec l'autre anneau d'étanchéité et comparer les résultats.

Articles complémentaires nécessaires :

- 1 enregistreur LabPro U44000
- 1 capteur de pression U44220
- 1 baromètre U44300

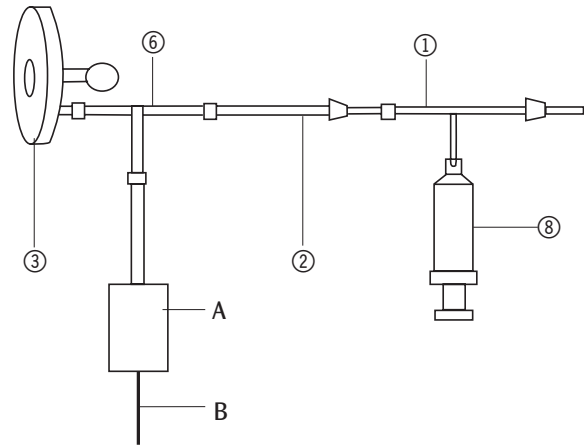


Fig. 2

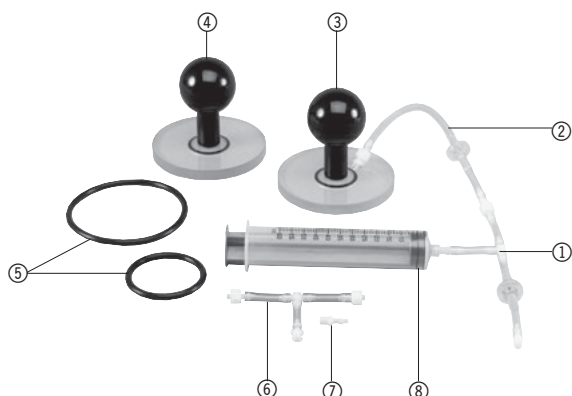
A: Capteur de pression (par ex. U44220)

B: Connexion avec l'enregistreur (par ex. LabPro U44000)

U45054 Piastre di Magdeburgo

Istruzioni per l'uso

7/03 ALF



- ① Tubo con raccordo a T e valvola a una via
- ② Tubo con valvola a una via
- ③ Piastra in vetro acrilico con flangia per il collegamento agli attacchi dei tubi
- ④ Piastra in vetro acrilico
- ⑤ Guarnizioni di tenuta in gomma
- ⑥ Raccordo a T
- ⑦ Connettore per tubi di ricambio
- ⑧ Pompa manuale

Kit completo per l'esecuzione dell'esperimento storico di Guericke, per dimostrare l'effetto della pressione atmosferica in esperimenti dimostrativi e a scopo di training.

1. Norme di sicurezza

- Non tentare di separare le piastre facendo leva con un utensile dopo la creazione del vuoto.
- Non cercare di separare le piastre utilizzando corde o simili, poiché potrebbero trasformarsi in proiettili.
- Lasciare sufficiente spazio libero dietro le persone che tentano di separare le piastre di Magdeburgo.
- Non esercitare una forza eccessiva mentre si collegano i tubi. Collegare i connettori per tubi con la semplice pressione delle dita.
- Quando si introduce aria fra le piastre tenere saldamente l'apparecchiatura, in modo tale da evitare che le piastre cadano e si danneggino.
- Fare attenzione che le superfici interne delle piastre non si graffino.
- Per la pulitura utilizzare solo una quantità minima di detergente in acqua calda. Non utilizzare mai solventi.

2. Descrizione, caratteristiche tecniche

Il kit delle piastre di Magdeburgo è costituito da due piastre di vetro acrilico con impugnature e anelli in gomma inseriti che possono essere unite insieme per creare una guarnizione a tenuta di vuoto grossolano.

Due anelli di tenuta di diversa grandezza permettono il confronto dell'effetto della pressione atmosferica in caso di superfici di contatto di diversa grandezza. Una piastra è dotata di una flangia per collegare un tubo flessibile in plastica per la creazione del vuoto. La creazione del vuoto avviene mediante una semplice pompa manuale. La pompa manuale viene collegata mediante tubi di plastica con valvole a una via incorporate. Mediante un raccordo a T supplementare è possibile collegare a un'interfaccia (ad es. LabPro U44000) un sensore di pressione (ad es. U44220) per il rilevamento dei dati misurabili.

Rispetto agli emisferi, utilizzati normalmente durante le lezioni, le piastre sono più vantaggiose perché sono piatte, quindi le forze agiscono parallelamente ed è più semplice misurarle.

Piastre di vetro acrilico: 13 mm x 97 mm Ø
 Anelli di tenuta: 5 mm x 85 mm Ø_{interno}
 e 95 mm Ø_{esterno}
 5 mm x 50 mm Ø_{interno}
 e 60 mm Ø_{esterno}

2.1 Fornitura

- 2 piastre di vetro acrilico con impugnature
- 2 anelli di tenuta in gomma di diverso diametro
- 1 pompa manuale in un contenitore per il magazzino
- 1 tubo con valvola a una via
- 1 tubo con raccordo a T e valvola a una via
- 1 raccordo a T
- 1 connettore per tubi di ricambio

3. Principio di funzionamento

La Terra è circondata da uno strato d'aria, l'atmosfera. Le molecole presenti nell'aria sono sottoposte, come tutta la materia in generale, alla forza di gravità e si concentrano quindi sulla superficie terrestre. La pressione atmosferica esercitata dalla massa d'aria è massima a livello del mare e diminuisce man mano che ci si allontana dalla superficie della Terra. Analogamente a quanto accade con i liquidi, la pressione dell'aria agisce uniformemente su tutte le parti di un corpo. In un corpo aperto la pressione interna e quella esterna si trovano sempre in equilibrio. Se la pressione interna è minore di quella esterna, lo stato di equilibrio si ricrea con l'introduzione di aria. Nel caso contrario, se la pressione interna è maggiore di quella esterna la compensazione avviene con la fuoriuscita d'aria. In un corpo chiuso la forza risultante dalla differenza fra la pressione interna e quella esterna agisce nel primo caso comprimendo la superficie del corpo e nel secondo caso esercitando una spinta verso l'esterno, portando il corpo ad esplodere.

Il fisico nonché borgomastro di Magdeburgo Otto von Guericke dimostrò per primo l'azione della pressione atmosferica. Iniziò a fare esperimenti sul vuoto intorno al 1650 e ottenne il suo risultato migliore durante un esperimento spettacolare condotto nel 1654 a Regensburg davanti all'imperatore Ferdinando III: gli emisferi di Magdeburgo. Si trattava di due semisfere di rame del diametro di 42 cm, unite ermeticamente grazie a una striscia di pelle impregnata di olio e cera, dentro le quali Guericke aveva creato il vuoto. La pressione dell'aria premeva a tal punto le semisfere una contro l'altra che 16 cavalli non riuscirono a separarle.

4. Comandi

4.1 Dimostrazione dell'effetto della pressione atmosferica

- Prima dell'esperimento verificare che l'anello di tenuta in gomma e le piastre non presentino danni.
- Eseguire il collegamento dei tubi fra la pompa manuale ⑧ e la piastra di Magdeburgo ③ come illustrato nella figura 1.
- A tal fine inserire uno nell'altro i connettori per tubi e innestarli facendoli ruotare premendo leggermente.
- Posizionare sulla piastra l'anello di tenuta in gomma desiderato e premere una contro l'altra le due piastre.
- Se si sceglie l'anello in gomma con diametro minore è più facile separare le piastre tirando. È possibile eseguire un confronto empirico; utilizzando uno di seguito all'altro i due anelli in gomma si dimostra la dipendenza della forza dalla superficie.
- Una seconda persona inizia a creare il vuoto utilizzando la pompa manuale.
- È sufficiente pompare alcune volte per eliminare la maggior parte dell'aria fra le piastre.
- Dimostrare l'azione della pressione atmosferica tirando gli emisferi.

- Immettere aria nell'apparecchiatura allentando il tubo collegato alla piastra di Magdeburgo.

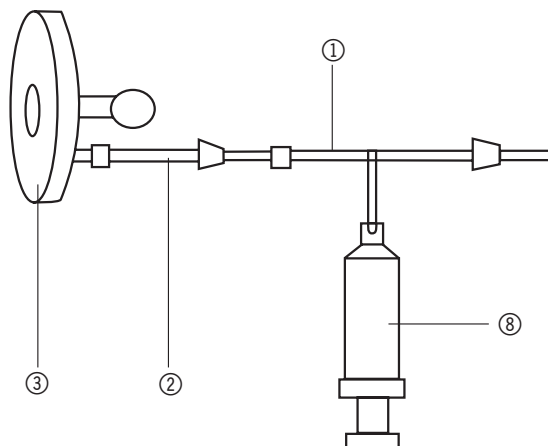


Fig.1

4.2 Misurazione quantitativa

4.2.1 Determinazione grossolana in via sperimentale della pressione atmosferica

- Assemblare l'apparecchio come descritto al punto 4.1 dell'esperimento.
- Creare il vuoto eliminando l'aria fra le piastre.
- La persona che tiene le piastre di Magdeburgo sale su una bilancia pesapersona e osserva la scala graduata mentre la seconda persona cerca di separare le piastre tirandole verso il basso il senso verticale.
- Annotare il valore segnato dalla bilancia nel momento in cui le piastre si separano.
- Effettuare il calcolo utilizzando la formula $\text{pressione} = \text{forza}/\text{superficie}$
- Per determinare la forza, sottrarre dal valore letto sulla bilancia il peso del corpo e il peso delle piastre di Magdeburgo. Per convertire in Newton moltiplicare per 9,8 il valore indicato in kg.
- La forza che comprime le piastre una contro l'altra corrisponde alla forza esercitata dalla pressione dell'aria sulla superficie limitata dall'anello in gomma. Quindi per determinare la superficie calcolare il diametro medio dell'anello in gomma e convertire in m^2 .
- 1 N/m^2 corrisponde a 1 Pa. Poiché il valore calcolato è molto grande, è consigliabile convertire il risultato in kPa.
- Si consiglia di eseguire un confronto con la pressione dell'aria effettiva misurata con un barometro.
- Parlare con gli studenti delle cause di errore (ad es. imprecisione della bilancia pesapersona e lettura imprecisa del valore, trazione della piastra di Magdeburgo non in direzione perfettamente verticale, quantità residua di aria fra le piastre).

Dotazione supplementare necessaria:

- 1 bilancia pesapersona

4.2.2 Determinazione della forza esercitata sulle piastre di Magdeburgo mediante un logger di dati

- Eseguire il collegamento dei tubi come illustrato nella fig.2.
- Collegare un sensore di pressione (ad es. U 44220) e un barometro (ad es. U 44300) a un logger di dati (ad es. U 44000).
- Creare il vuoto eliminando l'aria fra le piastre.
- La forza esercitata sulle piastre di Magdeburgo viene calcolata con l'equazione $\text{forza} = \text{pressione} \times \text{superficie}$. Osservare che l'aria residua rimasta fra le piastre esercita una forza opposta alla pressione atmosferica. Questo fatto deve essere considerato nel determinare la forza:
 $\text{forza} = (\text{pressione dell'aria} - \text{pressione residua}) \times \text{superficie}$
- Determinare la pressione residua fra le piastre mediante il sensore di pressione.
- Misurare con il barometro la pressione dell'aria.
- Per determinare la superficie calcolare il diametro medio dell'anello in gomma e convertire in m^2 .
- Eseguire il calcolo.
- Ripetere l'esperimento con l'altro anello di tenuta e confrontare i risultati.

Dotazione supplementare necessaria:

- 1 logger di dati LabPro U44000
- 1 sensore di pressione U44220
- 1 barometro U44300

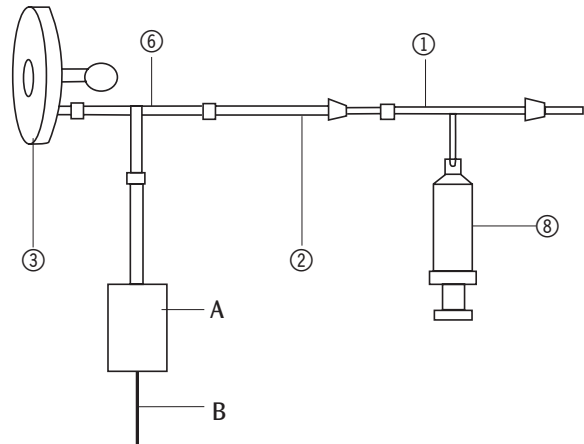


Fig.2

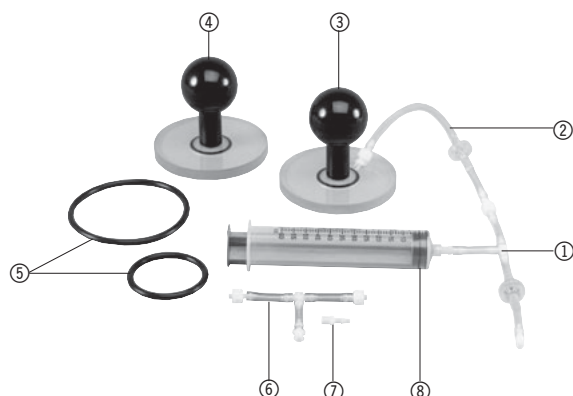
A: sensore di pressione (ad es. U44220)

B: collegamento al logger di dati (ad es. LabPro U44000)

U45054 Placas de Magdeburgo

Instrucciones de uso

7/03 ALF



- ① Pieza en T con válvula de retención
- ② Manguera con con válvula de retención
- ③ Placa de acrílico con brida para conexión de manguera
- ④ Placa de acrílico
- ⑤ Juntas anulares de estanqueidad
- ⑥ Pieza en T
- ⑦ Conector de manguera de recambio
- ⑧ Bomba de mano

Equipo completo para la realización del experimento histórico de Guericke, sobre la acción de la presión atmosférica, en experimentos de demostración y prácticas de laboratorio.

1. Aviso de seguridad

- No trate de separar las placas evacuadas empleando alguna herramienta como palanca.
- No trate de separar las semiesferas usando cuerdas, o algún medio semejante, puesto que, en el momento de la separación, se pueden disparar como proyectiles.
- Es necesario que exista suficiente espacio libre por detrás de las personas que intenten separar las placas de Magdeburgo.
- No se debe emplear mucha fuerza para conectar las mangueras. Basta oprimir los conectores con los dedos.
- Al airear las semiesferas, sostenga el equipo para evitar el daño que podría producirse tras la caída de las placas.
- Tener cuidado de que las superficies internas de las placas no sufran rayaduras.
- Para su limpieza sólo se debe usar agua caliente con un poco de detergente. Jamás se deben usar disolventes.

2. Descripción, datos técnicos

El equipo de placas de Magdeburgo consta de dos placas de vidrio acrílico con agarraderas y un aro de goma

alrededor de las placas, las cuales se pueden unir formando entre sí un vacío grosero. Dos juntas anulares de estanqueidad, de diferentes dimensiones, posibilitan la comparación de la acción de la presión atmosférica sobre superficies de contacto de distinto tamaño. Una de las placas está provista de una brida para conectar una manguera de plástico con fines de evacuación del aire. Ésta se lleva a cabo por medio de una bomba manual sencilla. La conexión a la bomba se realiza por medio de mangueras de plástico con válvulas de retención incorporadas. Por medio de una pieza adicional en T, se puede conectar un sensor de presión (p. ej.: U44220) para el registro de valores de medida con una interfaz (p. ej.: LabPro U44000). La ventaja de las placas de Magdeburgo en comparación con las semiesferas, empleadas usualmente en el salón de clases, radica en que, gracias al diseño plano, todas las fuerzas actúan paralelamente sobre las placas, lo cual permite un cálculo sencillo del valor de dichas fuerzas.

Placas de vidrio acrílico:	13 mm x 97 mm Ø
Juntas anulares de estanqueidad:	5 mm x 85 mm Ø _{interior} y 95 mm Ø _{exterior} 5 mm x 50 mm Ø _{interior} y 60 mm Ø _{exterior}

2.1 Volumen de suministro

- 2 placas de vidrio acrílico con empuñaduras
- 2 juntas de estanqueidad de diferente diámetro
- 1 bomba de mano con recipiente de almacenamiento

- 1 manguera con válvula de retención
- 1 pieza en T con válvula de retención
- 1 pieza en T
- 1 conector de manguera de recambio

3. Principio de funcionamiento

La tierra está cubierta por una capa de aire: la atmósfera. Al igual que sucede con el resto de la materia, la fuerza de gravedad también atrae las moléculas de aire y, por tanto, éstas se concentran sobre la superficie terrestre. La presión atmosférica, ejercida por la masa de aire que rodea la tierra, tiene su mayor valor al nivel del mar, y disminuye si aumenta la distancia con respecto a la superficie terrestre. De manera análoga al comportamiento de los fluidos, la presión atmosférica actúa homogéneamente sobre todos los lados de un cuerpo determinado. En un cuerpo que posea una cavidad abierta, existe siempre un equilibrio entre la presión externa e interna del aire. Si la presión interna se vuelve menor a la externa, fluiría aire hacia el interior, con lo que se restablecerá el equilibrio. También en el caso contrario, si la presión interna se torna mayor a la externa, se mantiene la misma tendencia de equilibrio puesto que el aire fluiría hacia el exterior. Si la cavidad del cuerpo se encuentra cerrada, en el primer caso, la fuerza resultante de la diferencia de presión entre el exterior y el interior actúa sobre la superficie del cuerpo, apretándolo, y, en el segundo caso, se ejerce una presión hacia afuera, la cual tiende a provocar la explosión del cuerpo.

El físico y burgomaestre de Magdeburgo, Otto von Guericke, fue el primero en demostrar la acción de la presión atmosférica. Sus experimentos sobre el vacío empezaron en 1650 y llegaron a la cima con el espectacular experimento del año 1654, en Regensburg, en presencia del emperador Ferdinand III: Las semiesferas de Magdeburgo. Guericke evacuó dos semiesferas de cobre, de un diámetro de 42 cm, hermetizadas gracias a una junta formada por una correa de cuero impregnada de aceite y cera. El aire mantuvo unidas las semiesferas con tal fuerza que ni siquiera 16 caballos consiguieron separarlas.

4. Servicio

4.1 Demostración de la acción de la presión atmosférica

- Antes del experimento se debe comprobar que las juntas anulares de goma y las placas no presenten daños.
- Realizar la conexión entre la bomba de mano ⑧ y la placa de Magdeburgo ③ tal como se muestra en la figura 1.
- Unir los conectores de manguera, ejerciendo presión con los dedos y girándolos para fijarlos.
- Colocar la junta anular de goma deseada sobre la placa y presionar las dos placas entre sí.
- Si se selecciona la junta anular de menor diámetro, será más fácil separar las dos placas al tirar

de ellas. Una comparación experimental, en la que se empleen las dos juntas, una tras otra, demostrará la dependencia entre fuerza y superficie.

- Una segunda persona debe iniciar el proceso de evacuación del aire con la bomba de mano.
- Tras una corta secuencia de bombeo se evacua casi todo el aire entre las placas.
- Demostrar la acción de la presión atmosférica tratando de separar las placas.
- Airear las placas de Magdeburgo separando la conexión de manguera.

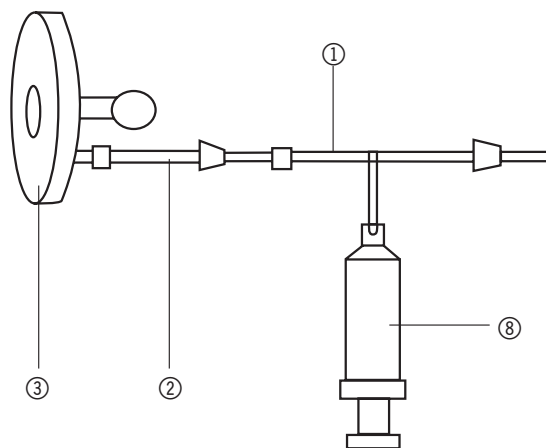


Fig.1

4.2 Medición cuantitativa

4.2.1 Aproximada determinación experimental de la presión atmosférica

- Montar el equipo como en 4.1.
- Evacuar el aire entre las placas.
- La persona que sostenga las placas de Magdeburgo debe subirse a una balanza personal y observar la escala, mientras la segunda persona intenta separar las placas, halando perpendicularmente hacia el suelo.
- Anotar el valor leído en la balanza al tratar de separar las placas.
- Para el cálculo se utiliza la siguiente fórmula:
Presión = fuerza / superficie
- Para determinar la fuerza se debe restar del valor leído el peso corporal y el peso de las placas de Magdeburgo. Para convertir el valor de kg a newtons se lo multiplica por 9,8.
- La fuerza con la que las placas se adhieren corresponde a la fuerza ejercida por la presión del aire sobre la superficie limitada por la junta anular. Por tanto, para determinar la superficie se debe determinar el diámetro interior de la arandela y convertirlo a m².
- 1 N/m² corresponde a 1 Pa. Dado que el valor calculado es muy grande, se recomienda transformar el resultado a kPa.

- Se recomienda también una comparación con la presión atmosférica efectiva, medida con un barómetro.
- Discutir con los alumnos las causas de los errores en el resultado (p. ej.: imprecisión de la balanza y de la lectura o, si al tirar de la placa, ésta no se hizo de una manera exactamente perpendicular, o presencia de restos de aire entre las placas).

Se requiere adicionalmente:

1 balanza personal

4.2.2 Determinación de la fuerza que actúa sobre las placas de Magdeburgo utilizando un datenlogger

- Realizar las conexiones de manguera como se muestra en la figura 2.
- Conectar el sensor de presión (p. ej.: U 44220) y un barómetro (p. ej.: U 44300) a un datenlogger (p. ej.: U 44000).
- Evacuar el aire de entre las placas.
- La fuerza que actúa sobre las placas de Magdeburgo se puede calcular por medio de la ecuación: fuerza = presión x superficie. Aquí se debe tener en cuenta la presencia de aire residual entre las placas, el cual contrarresta la presión atmosférica. Para determinar la fuerza, este valor se debe incluir en el cálculo:
fuerza = (presión de aire – presión residual) x superficie.
- Determinar la presión residual por medio del sensor de presión.
- Medir la presión atmosférica con el barómetro.

- Para determinar la superficie se debe determinar el diámetro interior de la junta de goma y convertirlo a m².
- Efectuar el cálculo.
- Repetir el experimento con la otra junta anular y comparar los resultados.

Se requiere adicionalmente:

1 datenlogger LabPro U44000

1 sensor de presión U44220

1 barómetro U44300

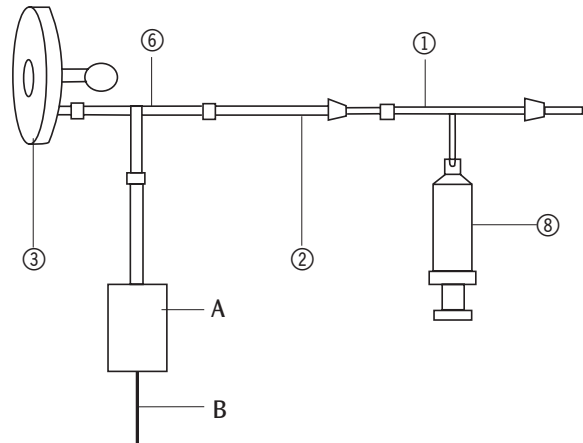


Fig. 2

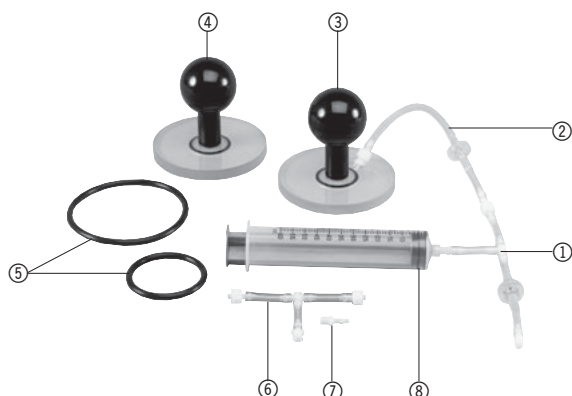
A: sensor de presión (p. ej.: U44220)

B: conexión al datenlogger (p. ej.: LabPro U44000)

U45054 Placas de Magdeburgo

Instruções para o uso

7/03 ALF



- ① Mangueira com peça em T e válvula unidirecional
- ② Mangueira com válvula unidirecional
- ③ Placa de acrílico transparente com flange para inserção do conector da mangueira
- ④ Placa de acrílico transparente
- ⑤ Anéis de borracha de vedação
- ⑥ Peça em T
- ⑦ Conector para mangueira sobressalente
- ⑧ Bomba manual

Conjunto completo de aparelhos para a execução da experiência histórica de Guericke sobre o efeito da pressão do ar atmosférico em experiências de demonstração e práticas.

1. Indicações de segurança

- Não tentar separar as placas evacuadas por alavanca com alguma ferramenta.
- Não tentar separar as placas com cordas ou semelhante, já que estas ao separar-se podem se tornar projéteis.
- Deve haver suficiente espaço livre detrás das pessoas que tentam separar as placas de Magdeburgo.
- Ao estabelecer as conexões de mangueiras, não aplicar força excessiva. Juntar os conectores só com a pressão dos dedos.
- Ao ventilar as placas, segurar firmemente a aparelhagem de forma a evitar eventuais danos por queda das placas.
- Tomar particular cuidado para que as superfícies internas das placas não sejam arranhadas.
- Para a limpeza, utilizar somente água quente com um pouco de detergente. Nunca utilizar solventes.

2. Descrição, dados técnicos

O conjunto de aparelhos placas de Magdeburgo consiste em duas placas de acrílico transparente com alças um anel de borracha integrado, podendo ser montadas hermeticamente para criar vácuo absoluto. Dois

tamanhos de anel de borracha diferentes permitem a comparação dos efeitos da pressão do ar atmosférico sobre superfícies de contato de diferentes tamanhos. Uma das placas está equipada com uma flange para a conexão de uma mangueira de plástico para evacuação. A evacuação é obtida com uma simples bomba manual. A conexão com a bomba manual é efetuada com mangueiras de plástico com válvula unidirecional integrada. Através de uma peça T extra, pode-se conectar um sensor de pressão (por exemplo o U44220) para registrar medidas com uma interface (por exemplo o LabPro U44000).

A vantagem das placas de Magdeburgo com relação aos hemisférios utilizados habitualmente em aula é que todas as forças agem de forma paralela sobre as placas por causa do design plano, de forma que o cálculo da força é simples de realizar.

Placas de acrílico transparente: 13 mm x 97 mm Ø

Anéis de vedação: 5 mm x 85 mm Ø_{interno}
e 95 mm Ø_{externo}
5 mm x 50 mm Ø_{interno}
e 60 mm Ø_{externo}

2.1 Fornecimento

- 2 placa de acrílico transparente com alças
- 2 anéis de borracha de vedação de diversos diâmetros
- 1 bomba manual com caixa de armazenamento
- 1 mangueira com válvula unidirecional
- 1 mangueira com peça T e válvula unidirecional
- 1 Peça T
- 1 Conector de mangueira sobressalente

3. Princípios de funcionamento

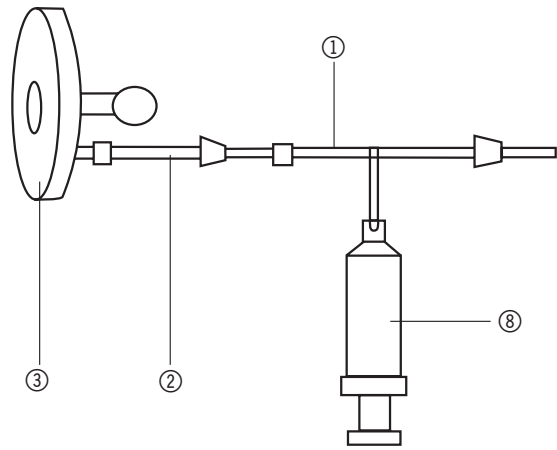
A terra está envolta por uma camada de ar, a atmosfera. Como qualquer outra matéria, as moléculas de ar estão sujeitas à força de gravidade e concentram-se por isso na superfície da terra. A pressão atmosférica produzida pela massa de ar é maior ao nível do mar e diminui quanto maior a distância da superfície terrestre. De forma análoga aos líquidos, a pressão do ar age sobre um corpo uniformemente por todos os lados. Num corpo aberto existe sempre equilíbrio entre a pressão interna e externa. Sendo a pressão interna menor do que a externa, o estado de equilíbrio é restabelecido por absorção de ar. Também no caso contrário, quando a pressão interna é maior do que a externa, existe a mesma tendência por exaustão de massa. Tratando-se de um corpo fechado, a força resultante da diferença de pressão interna e externa age sobre a superfície do corpo e tende, no primeiro caso, a amassa-lo, e no segundo caso dirigida para fora a leva-lo a explodir.

O físico e burgomestre de Magdeburgo Otto von Guericke foi o primeiro a demonstrar o efeito da pressão atmosférica do ar. Os seus ensaios de vácuo começaram a volta de 1650 e chegaram ao seu ápice numa experiência espectacular frente ao Imperador Ferdinand III em 1654 em Regensburg: os hemisférios de Magdeburgo. Para isso, Guericke evacuou dois hemisférios de 42 cm juntos e vedados com tiras de couro embebidas em óleo e cera. O ar pressionava os dois hemisférios um contra o outro com tal força que nem mesmo a potência de 16 cavalos foi capaz de separá-los.

4. Utilização

4.1 Demonstração do efeito da pressão do ar atmosférico

- Antes de iniciar a experiência, controlar se há eventuais danos no anel de borracha de vedação ou nas placas.
- Efetuar a conexão entre a bomba manual ⑧ e a placa de Magdeburgo ③ conforme a ilustr. 1.
- Para tal, inserir os conectores de mangueira uns nos outros e junta-los girando e pressionando levemente com os dedos.
- Colocar o anel de borracha de vedação desejado sobre a placa e pressionar as placas uma contra a outra.
- Ao escolher o anel de menor diâmetro será mais fácil separar as placas puxando. Uma comparação experimental, na qual ambos os anéis de vedação são utilizados, demonstra que a intensidade da força é dependente da superfície.
- Uma segunda pessoa inicia o procedimento de evacuação com a bomba manual.
- Após um curto bombeio, a maior parte do ar entre as duas placas já terá sido evacuado.
- Demonstrar a ação da pressão atmosférica do ar puxando as placas.
- Ventilar a aparelhagem soltando a conexão à mangueira na placa de Magdeburgo.



Ilustr. 1

4.2 Medição quantitativa

4.2.1 Determinação experimental aproximada da pressão do ar atmosférico

- Montar os aparelhos como indicado no ensaio em 4.1.
- Evacuar o ar que se encontra entre as placas.
- A pessoa com as placas de Magdeburgo sobe numa balança de pessoas caseira e observa a escala enquanto a segunda pessoa tenta separar as placas puxando verticalmente para baixo.
- Tomar nota do valor observado na balança no momento da separação das placas.
- Para efetuar o cálculo serve a fórmula $\text{pressão} = \text{força}/\text{superfície}$
- Para determinar a força, a partir da leitura do valor na balança, subtrair o peso do corpo do peso das placas de Magdeburgo. Para converter o valor em Newton, multiplicar o valor em kg por 9,8.
- A força que pressiona as placas uma contra a outra corresponde à força exercida pela pressão do ar sobre a superfície delimitada pelo anel de borracha. Por isso, para determinar a superfície definir o diâmetro médio do anel de borracha e converter em m^2 .
- 1 N/m^2 corresponde a 1 Pa. Sendo que os valores calculados são muito grandes, é recomendável converter o resultado em kPa.
- Recomenda-se uma comparação com o valor real da pressão do ar, medida com um barômetro.
- Discutir as fontes de erro com os alunos (por exemplo, imprecisão da balança caseira e da leitura dos valores, a placa não é puxada em perfeita verticalidade, ar residual entre as placas).

Adicionalmente necessário:

1 balança de pessoas caseira

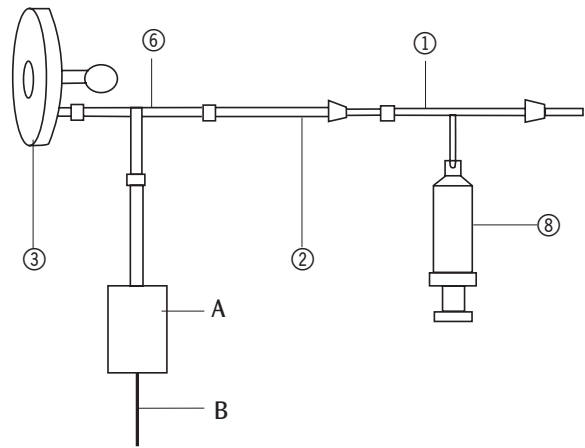
4.2.2 Determinação da força que age sobre as placas de Magdeburgo com um registrador de dados (logger)

- Efetuar as conexões da mangueira conforme a ilustr. 2.
- Conectar o sensor de pressão (por ex. U 44220) e um barômetro (por ex. U 44300) a um registrador de dados (por ex. U 44000).

- Evacuar o ar retido entre as placas.
- A força que age sobre as placas de Magdeburgo pode ser determinada através da equação $\text{força} = \text{pressão} \times \text{superfície}$. Ao fazê-lo, deve-se levar em consideração o ar residual que resta entre as placas e que age em contra da pressão atmosférica. Isto deve ser levado em conta ao determinar a força:
 $\text{força} = (\text{pressão do ar} - \text{pressão residual}) \times \text{superfície}$
- Determinar a pressão residual entre as placas com sensor de pressão.
- Medir a pressão do ar atmosférico com o barômetro.
- Para determinar a superfície definir o diâmetro médio do anel de borracha e converter em m^2 .
- Efetuar o cálculo.
- Repetir a experiência com o outro anel de vedação e comparar os resultados.

Adicionalmente necessário:

- 1 registrador de dados (logger) LabPro U44000
- 1 sensor de pressão U44220
- 1 Barômetro U44300



Ilustr.2

- A: sensor de pressão (por ex. U44220)
- B: conexão ao registrador de dados (logger) (por ex. LabPro U44000)