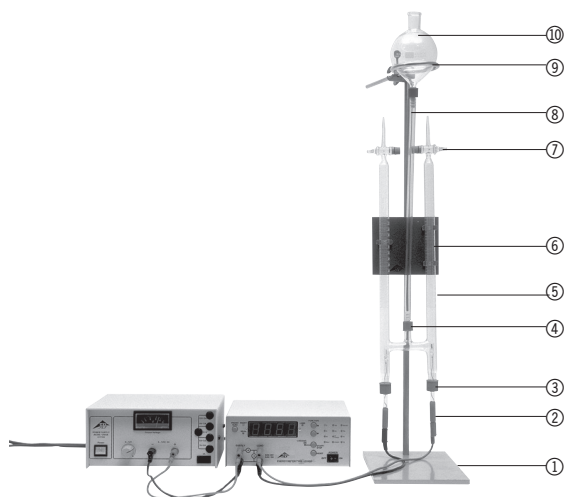


U14332 Hofmannscher Wasserzersetzungsapparat

Bedienungsanleitung

11/03 ALF



- ① Grundplatte mit Stativstab
- ② Platinelektroden
- ③ GL-18 Verschraubung
- ④ GL-14 Verschraubung
- ⑤ Gasauffangröhren
- ⑥ Halteplatte
- ⑦ Schliffhahn
- ⑧ Plastikschlauch
- ⑨ Stativring
- ⑩ Niveaugefäß

Der Wasserzersetzungsapparat dient zur Elektrolyse von Wasser (Umwandlung von elektrischer Energie in chemische), der quantitativen Bestimmung der dabei entstehenden Gase sowie zur Erarbeitung der Faradayschen Gesetze.

1. Sicherheitshinweise

- Bei der Elektrolyse von Wasser wird auf Grund der zu geringen Leitfähigkeit von destilliertem Wasser verdünnte Schwefelsäure ($c = \text{ca. } 1 \text{ mol/l}$) verwendet.
- Schwefelsäure vorsichtig unter Rühren in das Wasser geben. Niemals umgekehrt!
- Beim Herstellen der Lösung sowie beim Ablassen der Gase eine Schutzbrille tragen.
- Schüler müssen immer über die Gefahren der erforderlichen Chemikalien informiert werden.
- Vorsicht! Austretende Säure kann zu irreparablen Flecken und Löchern in Kleidung führen.
- Beim Entfernen des Gasteils von der Halteplatte vorsichtig zu Werke gehen.
- Gasteile des Wasserzersetzungsapparats keinen mechanischen Belastungen aussetzen.

2. Beschreibung, technische Daten

Der Wasserzersetzungsapparat besteht aus einem H-förmigen Gasteil auf Halteplatte, die an einem Stativstab auf einer Grundplatte befestigt ist. Der Gasteil

besteht aus zwei skalierten Gasauffangröhren, an deren oberen Enden zwei Schliffhähne angebracht sind. Zwei Platinelektroden sind durch GL-18 Verschraubungen an den unteren Enden sicher befestigt. Ein flexibler Kunststoffschlauch verbindet ein Niveaugefäß zum Druckausgleich mit den Gasauffangröhren.

Abmessungen:

Wasserzersetzungsapparat:

Höhe: ca. 800 mm
Breite: 150 mm

Grundplatte: 250 mm x 160 mm

Stab: 750 mm x 12 mm \emptyset

Halteplatte: 120 mm x 110 mm

Gasauffangröhren:

Höhe: 510 mm

Breite: 150 mm

Rohrdurchmesser: 19 mm

Skalierung: je 50 ml in 0,2 ml Teilung

Niveaugefäß:

Volumen: 250 ml

2.1 Lieferumfang:

- 1 Gasteil Gasauffangröhren
- 1 Grundplatte mit Stativstab und Halteplatte
- 1 Paar Platinelektroden mit 4-mm-Anschlussbuchsen
- 1 Niveaugefäß mit Kunststoffschlauch
- 1 Stativring zur Halterung des Niveaugefäßes
- 1 Universalnulle

2.2 Ersatzteile

U14333 Gasauffangröhren

U14334 Paar Platin-Elektroden

U14335 Niveaugefäß, 250 ml

3. Theorie

Im Gegensatz zu metallischen Leitern, in denen der Strom durch Elektronen transportiert wird, geschieht dieser Transport in Elektrolyten durch Ionen.

In mit Schwefelsäure versetztem Wasser liegen die Ionen HSO_4^- , SO_4^{2-} und H_3O^+ vor. Bei Anlegen einer Spannung setzen sich die Ionen in Bewegung und das Wasser wird elektrolysiert. Dabei kommt es zu einer Abscheidung von Wasserstoff und Sauerstoff. An der Kathode (Minuspol) bildet sich aus 2 H_3O^+ -Ionen ein H_2 -Molekül, an der Anode (Pluspol) O_2 . Die Schwefelsäure bleibt unverändert und wirkt nur als Katalysator bei der Elektrolyse von Wasser.

Die bei der Elektrolyse zwischen den Elektroden transportierte Ladungsmenge Q lässt sich aus der Stromstärke I und der Laufzeit t mit Hilfe der Gleichung

$$Q = I \cdot t$$

berechnen.

Wenn die Ladung eines Ions z Elementarladungen e beträgt, so werden also Q/ze Ionen abgeschieden.

Für H_3O^+ gilt $z = 1$, es werden also $Q/2e$ H_2 -Moleküle erzeugt, weil 2 Ionen pro Molekül nötig sind. Zur Abscheidung von n Mol H_2 ist demzufolge eine Ladung

$$Q = 2e \cdot N_L \cdot n$$

erforderlich, wobei N_L Loschmidtsche- oder Avogadro-Zahl heißt und die Anzahl der Moleküle pro Mol angibt ($N_L = 6,0 \cdot 10^{23}/\text{mol}$).

Sind n und Q bekannt lässt sich aus dieser Gleichung die Faraday-Konstante F , das Produkt der beiden fundamentalen Konstanten Elementarladung und Loschmidtsche-Zahl, bestimmen:

$$F = e \cdot N_L \sim 10^5 \text{ C/mol}$$

Die Anzahl n der abgeschiedenen Mole ist einfach aus dem Volumen zu bestimmen.

Es gilt nämlich das Gasgesetz:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T,$$

das die Beziehung zwischen Druck p , Volumen V , Temperatur T und Molzahl n aufzeigt. Die Temperatur T in Kelvin lässt sich leicht aus der Celsius-Temperatur t_c berechnen ($T = t_c + 273 \text{ K}$). R ist die universelle Gas-konstante mit dem Wert

$$R = 8,3 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1} \text{ (Joule pro Mol und Kelvin)}.$$

Eine Ladungsmenge Q erzeugt an der Kathode $Q/2e$ H_2 -Moleküle. Dies entspricht (mit der Loschmidtschen-Zahl $N_L = 6 \cdot 10^{23}/\text{mol}$)

$$n = \frac{Q}{2e \cdot N_L} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \text{ mol}$$

Die Faradaykonstante F entspricht dann

$$F = e \cdot N_L = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V} = 96500 \text{ C/mol}.$$

4. Versuchsbeispiele

4.1 Untersuchung der Leitfähigkeit von Wasser und dessen Zusammensetzung

Benötigte Materialien:

Wasserzersetzungsapparat

Spannungsquelle (z.B. U11760 AC/DC Netzgerät)

Verbindungskabel

Destilliertes Wasser

Verdünnte Schwefelsäure

Versuchsdurchführung:

- Versuchsaufbau gemäß Abbildung 1.
- Destilliertes Wasser bei geöffneten Schlichfhähnen in Niveaugefäß füllen. Durch Veränderung der Höhe des Niveaugefäßes Gasauffangröhren komplett füllen.
- Glashähne schließen. Wasserspiegel im Niveaugefäß sollte höher liegen als der in den Gasauffangröhren.
- Apparat auf undichte Stellen überprüfen und wenn nötig Verbindungen fester schrauben.
- Netzgerät einschalten und Elektroden beobachten.
- Da keine Reaktionen wahrnehmbar sind, Netzgerät wieder abschalten.
- Ein paar Tropfen verdünnte Schwefelsäure ($c = \text{ca. } 1 \text{ mol/l}$) hinzufügen.
- Nach ca. 5 Minuten Wartezeit Netzgerät wieder einschalten.
- An beiden Elektroden steigen Gasblasen auf.
- Wenn die Gasauffangröhre am Minuspol (Kathode) halb mit Gas gefüllt ist, Netzgerät abschalten.
- Zur exakten Ablesung der Gasvolumina Niveaugefäß soweit absenken, dass die Flüssigkeitsspiegel im Niveaugefäß und in der abzulesenden Gasauffangröhre auf gleicher Höhe sind.
- Gase durch die Hähne entnehmen und in umgestülpten Reagenzgläsern pneumatisch auffangen.
- Nachweis des Wasserstoffs durch Knallgasprobe, der des Sauerstoffs mittels glimmendem Holzspan durchführen.

Ergebnis:

- Bei Verwendung von destilliertem Wasser findet keine Elektrolyse statt.
- Die Zugabe von verdünnter Schwefelsäure wirkt als Katalysator bei der Elektrolyse von destilliertem Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff.
- An der Kathode hat sich doppelt so viel Gas (Wasserstoff) gebildet wie an der Anode (Sauerstoff).



Abb. 1

4.2 Bestimmung der Faradayschen Konstante

Benötigte Materialien:

Wasserzersetzungsapparat
 Spannungsquelle (z.B. U11760 AC/DC Netzgerät)
 Amperemeter (z.B. U13000 Multimeter)
 Verbindungskabel
 Destilliertes Wasser
 Schwefelsäure
 Stoppuhr
 Thermometer
 Barometer
 Hydrometer

Versuchsdurchführung:

- Versuchsaufbau gemäß Abbildung 2.
- Destilliertes Wasser mit verdünnter Schwefelsäure versetzen und bei geöffneten Schliffhähnen in Niveaugefäß füllen. Durch Veränderung der Höhe des Niveaugefäßes Gas auffangröhren komplett füllen.
- Glashähne schließen. Wasserspiegel im Niveaugefäß sollte höher liegen als der in den Gas auffangröhren.

- Apparat auf undichte Stellen überprüfen und wenn nötig Verbindungen fester schrauben.
- Netzgerät einschalten und Spannung so einstellen, dass ca. 1 A Strom fließt. Überprüfen, ob Gas in beiden Röhren freigesetzt wird.
- Netzgerät wieder abschalten, Hähne öffnen und Gas entweichen lassen.
- Glashähne schließen. Netzgerät und Stoppuhr gleichzeitig einschalten.
- Wenn die Gas auffangröhre am Minuspol (Katode) fast voll mit Gas gefüllt ist, Netzgerät und Stoppuhr abschalten und die Zeit notieren.
- Gasvolumina bestimmen, dazu ist der hydrostatische Druck auszugleichen.
- Luftdruck und Raumtemperatur messen.

Berechnungen:

- Bei bekannter Stromstärke I (A), Zeit t (s), Luftdruck p (Nm^{-2}), Temperatur T (K), Gasvolumina V_{H_2} , V_{O_2} (m^3) und universeller Gaskonstante R ($8,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) lässt sich die Faraday-Konstante F aus

$$F = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V}$$

bestimmen.

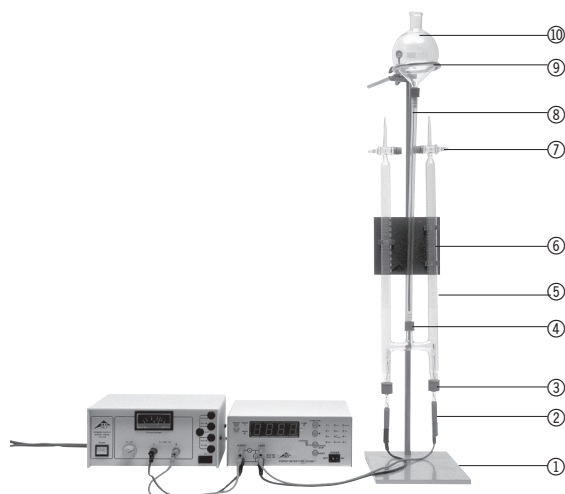


Abb. 2

U14332 Hofmann water-decomposition apparatus

Instruction sheet

11/03 ALF



- ① Base-plate with stand rod
- ② Platinum electrodes
- ③ GL-18 screw fitting
- ④ GL-14 screw fitting
- ⑤ Gas collection tubes
- ⑥ Securing plate
- ⑦ Ground stopcock
- ⑧ Plastic hose
- ⑨ Stand ring
- ⑩ Leveling bulb

The purpose of the water-decomposition is for the electrolysis of water (converting electrical energy into chemical energy), quantitative determination of the resulting gases and confirmation of Faraday's laws.

1. Safety instructions

- Since the conductivity of distilled water is too low, electrolysis is carried out using dilute sulfuric acid ($c = 1 \text{ mol/l}$ approx.).
- Carefully add the sulfuric acid to the water while stirring. Never do this the other way round.
- Wear protective goggles when mixing the solution and when releasing the gases.
- Students should always be informed of the dangers of the chemicals needed for the experiment.
- Caution. Any acid that escapes can cause irreparable stains and holes in clothing.
- Be careful when taking the glass tubing off its securing plate.
- Do not subject the glass components of the water-decomposition apparatus to mechanical stress.

2. Description, technical data

The water-decomposition apparatus consists of an H-shaped section of glass tubing attached to a securing plate fixed to a stand rod that rests on a base-plate. The glass section involves two gas collection tubes each

with a measuring scale. At the top of each tube there is a ground stopcock. Two platinum electrodes are secured at the lower ends via GL-18 screw fittings. A flexible plastic hose leads to a leveling bulb for equalising the pressure in the collection tubes.

Dimensions:

Water-decomposition apparatus:

Height: 800 mm approx.

Width: 150 mm

Base-plate: 250 mm x 160 mm

Rod: 750 mm x 12 mm \varnothing

Securing plate: 120 mm x 110 mm

Gas collection tubes:

Height: 510 mm

Width: 150 mm

Tube diameter: 19 mm

Scale: 50 ml each with 0.2 ml divisions

Leveling bulb:

Volume: 250 ml

2.1 Scope of delivery:

- 1 Glass section with gas collection tubes
- 1 Base-plate with stand rod and securing plate
- 1 Pair of platinum electrodes with 4-mm sockets
- 1 Leveling bulb with plastic hose
- 1 Stand ring to hold the leveling bulb
- 1 Universal sleeve

2.2 Spares

U14333 Gas collection tubes

U14334 Pair of platinum electrodes

U14335 Leveling bulb, 250 ml

3. Theory

Unlike metallic conductors, where current is carried by electrons, current in electrolytes is transported via ions.

In water to which sulfuric acid has been added the following ions are present: HSO_4^- , SO_4^{2-} and H_3O^+ . When a voltage is applied, ions begin to move and the water is electrolyzed. This leads to the liberation of hydrogen and oxygen gas. At the cathode (the negative pole) two H_3O^+ ions combine to form an H_2 molecule. At the anode (positive pole) O_2 is formed. The sulfuric acid remains unchanged and acts solely as a catalyst for the electrolysis of water.

The charge Q transported between the electrodes during electrolysis can be calculated from the current I and the duration of the electrolysis t by means of the following equation:

$$Q = I \cdot t.$$

If an ion has a charge of z times the charge on an electron e , then Q/ze ions are released.

For H_3O^+ $z = 1$ so that $Q/2e$ H_2 molecules are produced. 2 ions are needed to produce one molecule. To release n moles of H_2 therefore requires a charge

$$Q = 2e \cdot N_L \cdot n$$

where N_L is the Loschmidt or Avogadro number that represents the number of molecules per mole ($N_L = 6.0 \cdot 10^{23}/\text{mol}$).

If n and Q are known, the equation can be used to find the Faraday constant F , which is the product of the two fundamental constants, the charge on an electron and the Avogadro number:

$$F = e \cdot N_L \sim 10^5 \text{ C/mol}$$

The number n of moles released can simply be determined from the volume.

The gas law

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T,$$

summarizes the relationship between pressure p , volume V , temperature T and the number of moles n . The temperature T in Kelvin can easily be determined from the temperature in Celsius t_c ($T = t_c + 273 \text{ K}$). R is the universal gas constant and takes the value $R = 8.3 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ (joules per mole per Kelvin).

A charge Q produces $Q/2e$ H_2 molecules at the cathode. If the Avogadro number $N_L = 6 \cdot 10^{23}/\text{mol}$, we then obtain from

$$n = \frac{Q}{2e \cdot N_L} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \text{ mol}$$

a value for the Faraday constant of

$$F = e \cdot N_L = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V} = 96500 \text{ C/mol}.$$

3. Example experiments

3.1 Investigation of the conductivity and composition of water

Required equipment:

Water-decomposition apparatus

Voltage supply (e.g. U11760 AC/DC power supply)

Connecting leads

Distilled water

Dilute sulfuric acid

Experiment procedure:

- Set up the experiment according to Figure 1.
- Pour distilled water into the leveling bulb with both stopcocks open.
Fill the gas collection tubes completely by altering the height of the leveling bulb.
- Close the glass stopcocks. The water level in the leveling bulb should be higher than that in the collection tubes.
- Check the apparatus for leaks and tighten connections where necessary.
- Turn on the power supply and observe the electrodes.
- Since there is no perceptible reaction, turn the power supply off again.
- Add a few drops of dilute sulfuric acid ($c = 1 \text{ mol/l}$ approx.).
- After waiting for about 5 minutes, switch on the power supply again.
- Gas bubbles should rise from both electrodes.
- When the gas collection tube at the negative pole (cathode) is half filled with gas, turn off the power supply.
- To achieve a precise reading of the gas volumes, lower the leveling bulb until the water in the bulb is level with that in the tube to be measured.
- Release the gases through the stopcocks and collect them in upturned test tubes.
- Demonstrate the presence of hydrogen by the pop test and the presence of oxygen using a glowing splint.

Result:

- Electrolysis does not take place when distilled water is used on its own.
- Addition of dilute sulfuric acid has a catalytic effect so that the distilled water is electrolyzed into its two components, hydrogen and oxygen.
- The volume of hydrogen gas formed at the cathode is twice the volume of the oxygen gas formed at the anode.



Fig. 1

3.2 Determining the Faraday constant

Required equipment:

Water-decomposition apparatus
 Voltage supply (e.g. U11760 AC/DC Power supply)
 Ammeter (e.g. U13000 multimeter)
 Connecting leads
 Distilled water
 Sulfuric acid
 Stopwatch
 Thermometer
 Barometer
 Hydrometer

Experiment procedure:

- Set up the experiment according to Figure 2.
- Pour distilled water into the leveling bulb with both stopcocks open.
 Fill the gas collection tubes completely by altering the height of the leveling bulb.
- Close the glass stopcocks. The water level in the leveling bulb should be higher than that in the collection tubes.

- Check the apparatus for leaks and tighten where necessary.
- Turn on the power supply and set the voltage so that approximately 1 A of current flows. Check to see that gas is being emitted into both tubes.
- Turn the power supply off again, open the stopcocks and release the gas.
- Close the glass stopcocks. Turn on the power supply and the stopwatch at the same time.
- When the glass collection tube at the negative pole (cathode) is nearly full, turn off the power supply and the stopwatch together and record the time.
- Determine the volumes of gas. The hydrostatic pressure should be equalized in order to do this.
- Measure the air pressure and room temperature.

Calculation:

- For a known current I (A), time t (s), air pressure p (Nm^{-2}), temperature T (K), volumes of gas V_{H_2} , V_{O_2} (m^3) and universal gas constant R ($8.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) the Faraday constant F is given by

$$F = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V}$$

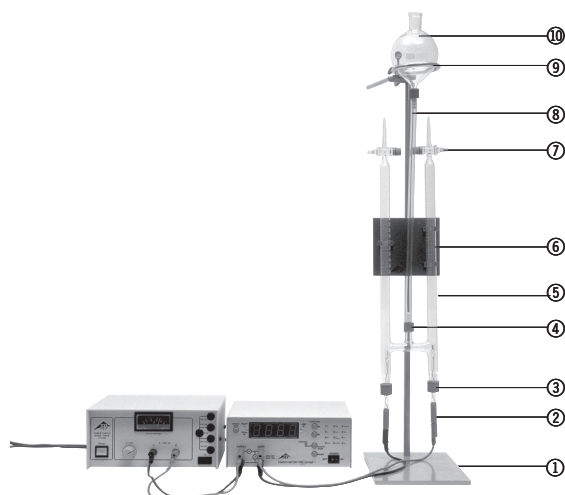


Fig. 2

U14332 Appareil de décomposition d'eau de Hofmann

Instructions d'utilisation

11/03 ALF



- ① Plaque de base avec barre de support
- ② Electrodes en platine
- ③ Raccord à vis GF-18
- ④ Raccord à vis GF-14
- ⑤ Tubes collecteurs de gaz
- ⑥ Plaque de maintien
- ⑦ Robinet
- ⑧ Tuyau en plastique
- ⑨ Bague de support
- ⑩ Récipient de détente

L'appareil de décomposition d'eau sert à l'électrolyse de l'eau (transformation d'énergie électrique en énergie chimique), à la détermination quantitative des gaz qui se développent ainsi qu'à l'initiation aux lois de Faraday.

1. Consignes de sécurité

- Lors de l'électrolyse de l'eau, en raison de la faible conductivité de l'eau distillée, on utilise de l'acide sulfurique dilué ($c = \text{env. } 1 \text{ mole/l}$).
- Ajouter avec précaution de l'acide sulfurique à l'eau. Jamais l'inverse !
- Pendant que la solution est préparée et que les gaz s'échappent, porter des lunettes de protection.
- Les élèves doivent être informés sur les risques émanant des produits chimiques nécessaires.
- Prudence ! L'acide peut provoquer des taches et des trous irréparables dans les vêtements.
- Retirer la partie en verre de la plaque de maintien avec une extrême prudence.
- Ne pas exposer les parties en verre de l'appareil à des charges mécaniques.

2. Description, caractéristiques techniques

L'appareil de décomposition de l'eau est constitué d'une partie en verre en H montée sur une plaque de maintien qui est fixée à une barre de support sur une plaque de base. La partie en verre est constituée de deux tubes collecteurs de gaz gradués dont les extré-

mités supérieures sont pourvues de deux robinets. Deux électrodes en platine sont fixées sûrement par des raccords à vis GL-18 aux extrémités inférieures. Pour compenser la pression, un tuyau flexible en plastique relie un récipient de détente aux tubes collecteurs de gaz.

Dimensions :

Appareil de décomposition de l'eau :

Hauteur : env. 800 mm

Largeur : 150 mm

Plaque de base : 250 mm x 160 mm

Poignée : 750 mm x \varnothing 12 mm

Plaque de maintien : 120 mm x 110 mm

Tubes collecteurs de gaz :

Hauteur : 510 mm

Largeur : 150 mm

Diamètre de tube : 19 mm

Graduation : 50 ml en pas de 0,2 ml

Récipient de détente :

Volume : 250 ml

2.1 Matériel fourni :

1 partie en verre (tubes collecteurs de gaz)

1 plaque de base avec barre de support et plaque de maintien

1 paire d'électrodes en platine avec douilles de raccord 4 mm

1 récipient de détente avec tuyau en plastique

1 bague pour la fixation du récipient de détente

1 manchon universel

2.2 Pièces de rechange

U14333 Tubes collecteurs de gaz

U14334 Paire d'électrodes en platine

U14335 Récipient de détente, 250 ml

3. Théorie

Contrairement aux conducteurs métalliques dans lesquels le courant est transporté par des électrons, ce transport est assuré par des ions au cours des électrolyses.

L'eau contenant de l'acide sulfurique présente les ions HSO_4^- , SO_4^{2-} et H_3O^+ . Lorsqu'on applique une tension, les ions se mettent en mouvement et l'eau est électrolysée. L'hydrogène et l'oxygène sont séparés. A partir de 2 ions H_3O^+ , il se forme une molécule H_2 à la cathode (pôle négatif) et une molécule O_2 à l'anode (pôle positif). L'acide sulfurique reste inchangé et n'agit que comme catalyseur pour l'électrolyse de l'eau.

La charge Q transportée au cours de l'électrolyse entre les électrodes peut être calculée à partir de l'intensité I et la durée t à l'aide de l'équation suivante :

$$Q = I \cdot t$$

Si la charge d'un ion z comporte des charges élémentaires e , Q/ze ions sont donc séparés.

Pour H_3O^+ , $z = 1$; $Q/2e$ molécules H_2 sont donc générées, car il faut 2 ions par molécule. Pour séparer n moles H_2 , il faut donc une charge de

$$Q = 2e \cdot N_L \cdot n$$

N_L étant le nombre d'Avogadro et représentant le nombre de molécules par mole ($N_L = 6,0 \cdot 10^{23}/\text{mole}$).

Si l'on connaît n et Q , cette équation permet de déterminer la constante de Faraday F , le produit des deux constantes fondamentales que sont la charge élémentaire et le nombre d'Avogadro :

$$F = e \cdot N_L \sim 10^5 \text{ C/mole}$$

Le nombre n de moles séparées peut être aisément calculé à partir du volume.

Car la loi sur les gaz

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T,$$

montre le rapport entre la pression p , le volume V , la température T et le nombre molaire n . La température T en Kelvin peut être facilement calculée à partir de la température en Celsius t_c ($T = t_c + 273 \text{ K}$). R représente la constante de gaz universelle avec la valeur $R = 8,3 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ (Joule par mole et Kelvin).

Une charge Q génère à la cathode $Q/2e$ molécules H_2 . Cela correspond (avec le nombre d'Avogadro $N_L = 6 \cdot 10^{23}/\text{mole}$)

$$n = \frac{Q}{2e \cdot N_L} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \text{ mol}$$

La constante de Faraday F correspond alors à

$$F = e \cdot N_L = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V} = 96500 \text{ C/mol.}$$

3. Exemples d'expériences

3.1 Etude de la conductivité de l'eau et de sa composition

Matériel requis

Appareil de décomposition de l'eau

Source de tension (par ex. U11760 Alimentation CA/CC)

Câble de raccord

Eau distillée

Acide sulfurique dilué

Réalisation de l'expérience :

- Monter l'expérience comme le montre la fig. 1.
- Remplir le récipient de détente avec de l'eau distillée, les robinets étant ouverts.
Modifier la hauteur du récipient de détente pour remplir complètement les tubes collecteurs de gaz.
- Refermer les robinets de gaz. Le niveau d'eau du récipient de détente doit être plus élevé que celui des tubes collecteurs de gaz.
- Vérifier l'étanchéité de l'appareil et, au besoin, resserrer des raccords.
- Mettre l'alimentation en service et observer les électrodes.
- Comme aucune réaction n'est perceptible, remettre l'alimentation hors service.
- Verser quelques gouttes d'acide sulfurique ($c = \text{env. } 1 \text{ mole/l}$).
- Patienter env. 5 minutes, puis remettre l'alimentation en service.
- Des bulles de gaz se forment aux deux électrodes.
- Lorsque le tube collecteur à la cathode (pôle négatif) est rempli de moitié de gaz, mettre l'alimentation hors service.
- Pour permettre une lecture exacte du volume de gaz, abaisser le récipient de détente jusqu'à ce que les niveaux dans le récipient et dans le tube collecteur soient similaires.
- Ouvrir les robinets et récupérer du gaz pneumatiquement dans des éprouvettes retournées.
- Démontrer la présence de l'hydrogène par explosion, celle de l'oxygène à l'aide d'un copeau de bois couvant.

Résultat :

- Avec de l'eau distillée, il n'y a pas d'électrolyse.
- Au cours de l'électrolyse de l'eau distillée, l'adjonc-

tion d'acide sulfurique dilué agit comme catalyseur et la décompose en hydrogène et en oxygène.

- A la cathode, il s'est formé deux fois plus de gaz (hydrogène) qu'à l'anode (oxygène).



Fig. 1

3.2 Détermination de la constante de Faraday

Matériel requis

Appareil de décomposition de l'eau
Source de tension (par ex. U11760 Alimentation CA/CC)
Ampèremètre (par ex. U13000 Multimètre)
Câble de raccord
Eau distillée
Acide sulfurique
Chronomètre
Thermomètre
Baromètre
Hydromètre

Réalisation de l'expérience :

- Monter l'expérience comme le montre la fig. 2.
- Remplir le récipient de détente avec de l'eau distillée contenant de l'acide sulfurique dilué, les robinets étant ouverts. Modifier la hauteur du récipient de détente pour remplir complètement les tubes collecteurs de gaz.
- Refermer les robinets de gaz. Le niveau d'eau du récipient de détente doit être plus élevé que celui

des tubes collecteurs de gaz.

- Vérifier l'étanchéité de l'appareil et, au besoin, resserrer des raccords.
- Mettre l'alimentation en marche et régler la tension pour obtenir un courant d'env. 1 A. Vérifier que du gaz est libéré dans les deux tubes.
- Remettre l'alimentation hors service, ouvrir les robinets et laisser le gaz s'échapper.
- Refermer les robinets de gaz. Mettre l'alimentation et le chronomètre en marche en même temps.
- Lorsque le tube collecteur à la cathode (pôle négatif) est presque rempli de gaz, mettre l'alimentation et le chronomètre hors service et noter le temps.
- Déterminer le volume de gaz en compensant la pression hydrostatique.
- Mesurer la pression de l'air et la température ambiante.

Calculs :

- Si l'on connaît l'intensité I (A), le temps t (s), la pression d'air p (Nm^{-2}), la température T (K), le volume de gaz V_{H_2} , V_{O_2} (m^3) et la constante de gaz universelle R ($8,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), l'équation suivante permet de calculer la constante de Faraday:

$$F = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V}$$

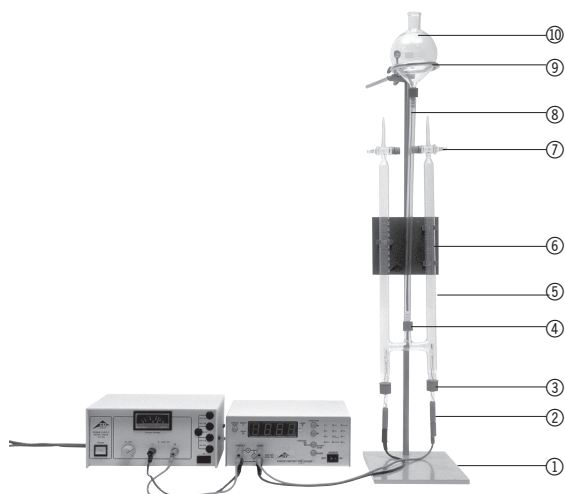


Fig. 2

U14332 Apparecchio di scomposizione dell'acqua di Hofmann

Istruzioni per l'uso

11/03 ALF



- ① Piastra di base con supporto stativo
- ② Elettrodi di platino
- ③ Raccordo a vite GL-18
- ④ Raccordo a vite GL-14
- ⑤ Tubi di raccolta del gas
- ⑥ Piastra di fissaggio
- ⑦ Rubinetto smerigliato
- ⑧ Tubo in plastica
- ⑨ Anello stativo
- ⑩ Recipiente di livello

L'apparecchio di scomposizione dell'acqua serve per l'elettrolisi dell'acqua (trasformazione di energia elettrica in energia chimica), per la determinazione quantitativa dei gas che si formano durante il processo e per l'elaborazione delle leggi di Faraday.

1. Norme di sicurezza

- Durante l'elettrolisi dell'acqua, a causa della ridotta conducibilità dell'acqua distillata, viene utilizzato acido solforico diluito ($c = \text{ca. } 1 \text{ mol/l}$).
- Versare con cautela l'acido solforico nell'acqua mescolando. Non procedere mai in modo contrario!
- Durante la preparazione della soluzione e durante lo scarico dei gas indossare occhiali protettivi.
- Gli studenti devono sempre essere informati dei pericoli connessi con le sostanze chimiche necessarie.
- Attenzione! L'acido che eventualmente fuoriesce può causare macchie e fori irreparabili sui vestiti.
- Rimovendo la parte in vetro dalla piastra di fissaggio procedere con cautela.
- Non sottoporre le parti in vetro dell'apparecchio di scomposizione dell'acqua ad alcuna sollecitazione meccanica.

2. Descrizione, dati tecnici

L'apparecchio di scomposizione dell'acqua è composto da una parte in vetro a forma di H che si trova sulla

piastra di fissaggio, a sua volta fissata ad un supporto stativo su una piastra di base. La parte in vetro è composta da due tubi di raccolta del gas graduati, alle cui estremità superiori sono applicati due rubinetti smerigliati. Due elettrodi in platino sono fissati saldamente alle estremità inferiori mediante raccordi a vite GL-18. Un tubo flessibile di plastica collega un recipiente di livello per la compensazione della pressione ai tubi di raccolta del gas.

Dimensioni:

Apparecchio di scomposizione dell'acqua:

Altezza:	ca. 800 mm
Larghezza:	150 mm
Piastra di base:	250 mm x 160 mm
Stativo:	750 mm x 12 mm Ø
Piastra di fissaggio:	120 mm x 110 mm
Tubi di raccolta del gas:	
Altezza:	510 mm
Larghezza:	150 mm
Diametro del tubo:	19 mm
Graduazione:	da 50 ml cad. in divisioni da 0,2 ml

Recipiente di livello:

Volume:	250 ml
---------	--------

2.1 Fornitura:

- 1 parte in vetro tubi di raccolta del gas
- 1 piastra di base con supporto stativo e piastra di fissaggio

- 1 coppia di elettrodi di platino con jack di raccordo da 4 mm
- 1 recipiente di livello con tubo flessibile in plastica
- 1 anello stativo per il supporto del recipiente di livello
- 1 manicotto universale

2.2 Parti di ricambio

- U14333 Tubi di raccolta del gas
- U14334 Coppia di elettrodi in platino
- U14335 Recipiente di livello, 250 ml

3. Teoria

A differenza dei conduttori metallici, nei quali la corrente viene trasportata mediante elettrodi, negli elettroliti questo trasporto avviene mediante ioni.

Nell'acqua scomposta con acido solforico sono presenti gli ioni HSO_4^- , SO_4^{2-} e H_3O^+ . Applicando una tensione, gli ioni si mettono in moto e l'acqua viene elettrolizzata. In tal modo si ottiene una separazione tra idrogeno e ossigeno. Sul catodo (polo negativo) si formano, a partire da 2 ioni H_3O^+ , una molecola di H_2 , sull'anodo (polo positivo) una molecola di O_2 . L'acido solforico rimane inalterato e funge solo da catalizzatore nell'elettrolisi dell'acqua.

La quantità di carica Q trasportata tra gli elettrodi durante l'elettrolisi può essere calcolata partendo dall'intensità di corrente I e dalla durata del processo t con l'aiuto dell'equazione

$$Q = I \cdot t.$$

Se la carica di uno ione z corrisponde a cariche fondamentali e , allora vengono separati ioni Q/ze .

Per H_3O^+ vale $z = 1$, ossia vengono prodotte molecole $Q/2e$ H_2 , poiché sono necessari 2 ioni per molecola. Per la separazione di n moli di H_2 è di conseguenza necessaria una carica

$$Q = 2e \cdot N_L \cdot n,$$

dove N_L è il numero di Loschmidt o di Avogadro e indica il numero di molecole per mole ($N_L = 6,0 \cdot 10^{23}/\text{mol}$). Se sono noti n e Q , è possibile determinare la costante di Faraday F , il prodotto delle due costanti fondamentali, carica fondamentale e numero di Loschmidt, a partire da questa equazione:

$$F = e \cdot N_L \sim 10^5 \text{ C/mol}$$

Il numero n delle moli separate è facilmente determinabile partendo dal volume.

Vale infatti la legge dei gas:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T,$$

che mostra la relazione tra pressione p , volume V , temperatura T e numero di mole n . La temperatura T in Kelvin può essere calcolata facilmente partendo dalla temperatura in $^\circ\text{C}$ t_c ($T = t_c + 273 \text{ K}$). R è la costante dei gas universale con il valore

$$R = 8,3 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1} \text{ (Joule per mole e Kelvin)}.$$

Una quantità di carica Q produce sul catodo molecole $Q/2e$ H_2 . Ciò corrisponde (con il numero di Loschmidt

$$N_L = 6 \cdot 10^{23}/\text{mol}) \text{ a}$$

$$n = \frac{Q}{2e \cdot N_L} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \text{ mol}$$

La costante di Faraday F corrisponde quindi a

$$F = e \cdot N_L = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V} = 96500 \text{ C/mol}.$$

3. Esempi di esperimenti

3.1 Esperimento sulla conducibilità dell'acqua e sulla sua composizione

Materiali necessari:

- Apparecchio di scomposizione dell'acqua
- Sorgente di tensione (ad es. U11760 Alimentatore AC/DC)
- Cavo di collegamento
- Acqua distillata
- Acido solforico diluito

Esecuzione dell'esperimento:

- Struttura di prova come da figura 1.
- Riempire di acqua distillata il recipiente di livello con i rubinetti smerigliati aperti. Variando l'altezza del recipiente di livello riempire completamente i tubi di raccolta del gas.
- Chiudere i rubinetti del gas. Il livello dell'acqua nel recipiente di livello deve essere superiore a quello nei tubi di raccolta dei gas.
- Verificare l'eventuale presenza nell'apparecchio di punti non a tenuta e, se necessario, avvitarli maggiormente i raccordi a vite.
- Accendere l'alimentatore e osservare gli elettrodi.
- Poiché non si riscontra alcuna reazione, spegnere nuovamente l'alimentatore.
- Aggiungere alcune gocce di acido solforico diluito ($c = \text{ca. } 1 \text{ mol/l}$).
- Dopo ca. 5 minuti di attesa riaccendere nuovamente l'alimentatore.
- Sui due elettrodi salgono le bolle di gas.
- Quando il tubo di raccolta del gas del polo negativo (catodo) è pieno a metà di gas, spegnere l'alimentatore.
- Per la lettura esatta dei volumi dei gas abbassare il recipiente di livello fino a quando il livello del liquido nel recipiente e quello del tubo di raccolta del gas, su cui effettuare la lettura, sono alla stessa altezza.
- Estrarre i gas mediante i rubinetti e raccogliarli mediante pressione nelle provette capovolte.
- Eseguire la prova della presenza dell'idrogeno mediante un campione di gas detonante e quella dell'ossigeno mediante truciolo di legno ardente.

Risultato:

- Se si utilizza acqua distillata, non ha luogo alcuna elettrolisi.



Fig. 1

- L'aggiunta di acido solforico diluito funge da catalizzatore nell'elettrolisi dell'acqua distillata nelle sue componenti idrogeno e ossigeno.
- Sul catodo si è formato il doppio di gas (idrogeno) rispetto all'anodo (ossigeno).

3.2 Determinazione della costante di Faraday

Materiali necessari:

Apparecchio di scomposizione dell'acqua
 Sorgente di tensione (ad es. U11760 Alimentatore AC/DC)
 Amperometro (ad es. U13000 Multimetro)
 Cavo di collegamento
 Acqua distillata
 Acido solforico
 Cronometro
 Termometro
 Barometro
 Idrometro

Esecuzione dell'esperimento:

- Struttura di prova come da figura 2.
- Scomporre l'acqua distillata con acido solforico diluito e riempire il recipiente di livello con i rubinetti smerigliati aperti. Variando l'altezza del recipiente di livello riempire completamente i tubi di raccolta dei gas.

- Chiudere i rubinetti dei gas. Il livello dell'acqua nel recipiente di livello deve essere superiore a quello nei tubi di raccolta dei gas.
- Verificare l'eventuale presenza nell'apparecchio di punti non a tenuta e, se necessario, avvitare maggiormente i raccordi a vite.
- Accendere l'alimentatore e impostare una tensione tale per cui scorra una corrente di ca. 1 A. Verificare che il gas venga rilasciato nei due tubi.
- Spegnerne nuovamente l'apparecchio, aprire i rubinetti e lasciare fuoriuscire il gas.
- Chiudere i rubinetti dei gas. Avviare contemporaneamente l'alimentatore e il cronometro.
- Quando il tubo di raccolta del gas del polo negativo (catodo) è quasi pieno di gas, spegnere l'alimentatore e il cronometro e annotare il tempo.
- Determinare i volumi dei gas, compensando la pressione idrostatica.
- Misurare la pressione atmosferica e la temperatura ambiente.

Calcoli:

- Se si conosce l'intensità di corrente I (A), il tempo t (s), la pressione atmosferica p (Nm^{-2}), la temperatura T (K), i volumi dei gas V_{H_2} , V_{O_2} (m^3) e la costante dei gas universale R ($8,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) la costante di Faraday F può essere calcolata con la formula

$$F = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V}$$

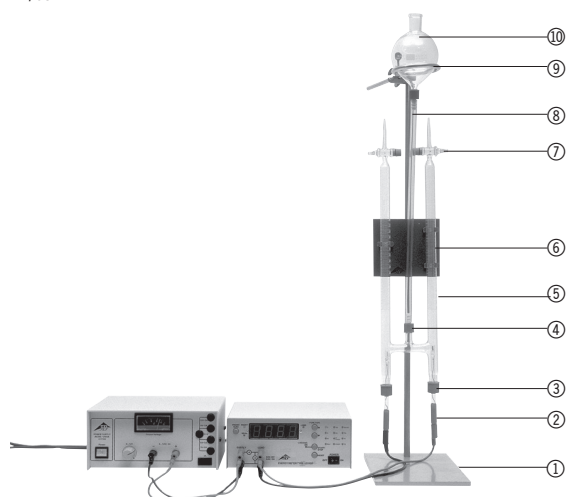


Fig. 2

U14332 Aparato de Hofmann para electrólisis del agua

Instrucciones de uso

11/03 ALF



- ① Placa base con varilla de sujeción
- ② Electrodos de platino
- ③ Unión roscada GL-18
- ④ Unión roscada GL-14
- ⑤ Tubos colectores de gas
- ⑥ Placa de sujeción
- ⑦ Grifo pulido
- ⑧ Tubo de plástico
- ⑨ Anillo de sujeción
- ⑩ Ampolla de compensación

Este equipo sirve para producir la electrólisis del agua (transformación de la energía eléctrica en química), para determinar la cantidad cuantitativa de gas generada durante dicho proceso así como para el estudio de las leyes de Faraday.

1. Aviso de seguridad

- Debido a la escasa conductibilidad del agua destilada, para la electrólisis, se utiliza ácido sulfúrico diluido ($c = \text{aprox. } 1 \text{ mol/l}$).
- Verter con cuidado el ácido sulfúrico en el agua mientras se revuelve la mezcla. ¡No hacerlo nunca de manera inversa!
- Mientras se prepara la solución, al igual que durante el proceso de evacuación de los gases, se deben usar gafas de protección.
- Se debe informar siempre a los estudiantes acerca de los peligros que conlleva la manipulación de las sustancias químicas requeridas.
- ¡Atención! El ácido puede provocar manchas indelebles o agujeros en la ropa.
- La acción de retirar las piezas de vidrio de la placa de sujeción debe realizarse con mucho cuidado.
- No someter las piezas de vidrio del aparato a ningún esfuerzo mecánico.

2. Descripción, datos técnicos

El aparato para electrólisis del agua está compuesto de una pieza de vidrio en forma de H, sostenida por

una placa de sujeción, que se encuentra fijada a una placa base por medio de una varilla. La pieza de vidrio consta de dos tubos colectores de gas, graduados, en cuyos extremos superiores se han montado dos grifos. En el extremo inferior se encuentran dos electrodos de platino sujetos fijamente por medio de uniones roscadas GL-18. Un tubo de plástico, flexible, conecta una ampolla de compensación con los tubos colectores de gas, para efectos de compensación de presión.

Dimensiones:

Aparato para electrólisis del agua:

Altura: aprox. 800 mm

Ancho: 150 mm

Placa base: 250 mm x 160 mm

Varilla: 750 mm x 12 mm Ø

Placa de sujeción: 120 mm x 110 mm

Tubos colectores de gas:

Altura: 510 mm

Ancho: 150 mm

Diámetro de tubo: 19 mm

Escala: 50 ml c/u en divisiones de 0,2 ml

Ampolla de compensación:

Volumen: 250 ml

2.1 Volumen de suministro:

- 1 pieza de vidrio, tubos colectores de gas
- 1 placa base con varilla y placa de sujeción
- 1 par de electrodos de platino con clavijeros de conexión de 4 mm

- 1 ampolla de compensación con tubo de plástico
- 1 anillo de soporte para sujetar la ampolla de compensación
- 1 manguito universal

2.2 Piezas de recambio

- U14333 Tubos colectores de gas
- U14334 Par de electrodos de platino
- U14335 Ampolla de compensación, 250 ml

3. Teoría

Al contrario de los conductores metálicos, en los que la corriente eléctrica fluye transportada por electrones, en los electrolitos, son los iones los que realizan esta función.

En el agua mezclada con ácido sulfúrico se encuentran presentes iones de HSO_4^- , SO_4^{2-} y H_3O^+ . Si se aplica una tensión, estos iones entran en movimiento y el agua se electroliza. Durante este proceso se produce una separación del hidrógeno y el oxígeno. En el cátodo (polo negativo) se forma una molécula de H_2 a partir de 2 iones de H_3O^+ , y en el ánodo (polo positivo) se forma O_2 . El ácido sulfúrico no sufre alteraciones y actúa únicamente como catalizador durante la electrólisis del agua.

La carga Q , transportada entre los electrodos durante la electrólisis, se puede calcular, a partir de la intensidad de corriente I y la duración del proceso t , por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = I \cdot t.$$

Si la carga de un ión z posee un valor de cargas elementales e , entonces se separará una cantidad de iones igual a Q/ze .

Para H_3O^+ es válida la relación $z = 1$, por lo tanto, se genera una cantidad $Q/2e$ de moléculas de H_2 , dado que se necesitan dos iones por molécula. De esto se deduce que para la separación de n Mol H_2 se requiere una carga

$$Q = 2e \cdot N_L \cdot n$$

en donde N_L corresponde al índice de Loschmidt o de Avogadro, e indica la cantidad de moléculas por mol

$$(N_L = 6,0 \cdot 10^{23}/\text{mol}).$$

Si se conoce el valor de n y Q , se puede determinar, a partir de esta ecuación, la constante F de Faraday, y el producto de las dos constantes fundamentales denominadas carga elemental e índice de Loschmidt:

$$F = e \cdot N_L \sim 10^5 \text{ C/mol}$$

La cantidad n de moles separados se puede determinar sencillamente a partir del volumen.

En este caso se cumple la ley de los gases:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T,$$

que describe la relación entre la presión p , el volumen V , la temperatura T y la cantidad de moles n . La temperatura T , expresada en grados kelvin, se puede calcular sencillamente a partir de la temperatura t_c , ex-

presada en grados celsius ($T = t_c + 273 \text{ K}$). R es la constante universal de los gases con un valor de

$$R = 8,3 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}(\text{julio por mol y kelvin}).$$

Una carga Q genera en el cátodo una cantidad $Q/2e$ de moléculas de H_2 . Esto es (con el índice de Loschmidt $N_L = 6 \cdot 10^{23}/\text{mol}$):

$$n = \frac{Q}{2e \cdot N_L} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \text{ mol}$$

Luego, la constante de Faraday corresponde a:

$$F = e \cdot N_L = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V} = 96500 \text{ C/mol.}$$

4. Ejemplos de experimentos

3.1 Estudio de la conductibilidad del agua y de su composición

Material necesario:

- Aparato para electrólisis del agua
- Fuente de tensión (p. ej. : U11760 Fuente de alimentación AC/DC)
- Cable de conexión
- Agua destilada
- Ácido sulfúrico diluido

Realización del experimento:

- Montaje experimental de acuerdo con la figura 1.
- Verter el agua destilada en la ampolla de compensación con los grifos pulidos abiertos. Llenar completamente los tubos colectores de gas variando la altura de la ampolla de compensación.
- Cerrar los grifos. El nivel del agua en la ampolla debe ser más elevado que el de los tubos colectores de gas.
- Comprobar la estanqueidad del equipo y, de ser necesario, apretar más fijamente las conexiones.
- Conectar la fuente de alimentación y observar los electrodos.
- Dado que no se percibe ninguna reacción, se puede desconectar la fuente de alimentación.
- Agregar unas gotas de ácido sulfúrico diluido ($c = \text{aprox. } 1 \text{ mol/l}$).
- Tras un tiempo de espera de aprox. 5 minutos, conectar nuevamente la fuente de alimentación.
- En ambos electrodos se percibe el ascenso de burbujas de gas.
- Desconectar la fuente de alimentación cuando el tubo colector del polo negativo (cátodo) se encuentre lleno de gas hasta la mitad.
- Para una exacta lectura del volumen de gas, es preciso hacer descender la ampolla de compensación hasta que el nivel del fluido de su interior alcance la misma altura del nivel del fluido del tubo colector en cuestión.
- Provocar la retirada del gas por medio de los grifos y atraparlo neumáticamente utilizando probetas colocadas boca abajo.



Fig. 1

- Comprobar la presencia de hidrógeno por medio de la prueba del gas detonante, y la del oxígeno por medio de virutas de madera ardiendo.

Resultado:

- Si se emplea agua destilada no se produce la electrólisis.
- Al agregarse ácido sulfúrico destilado, éste actúa como catalizador en la electrólisis del agua destilada y sus componentes, esto es, hidrógeno y oxígeno.
- En el cátodo se obtiene el doble del gas (hidrógeno) que el obtenido en el ánodo (oxígeno).

3.2 Determinación de la constante de Faraday

Material necesario:

Aparato para electrólisis del agua
 Fuente de tensión (p. ej. : U11760 Fuente de alimentación AC/DC)
 Amperímetro (p. ej.: U13000 Multímetro)
 Cable de conexión
 Agua destilada
 Ácido sulfúrico
 Cronómetro
 Termómetro
 Barómetro
 Hidrómetro

Ejecución del experimento:

- Montaje experimental de acuerdo con la figura 2.
- Mezclar agua destilada con ácido sulfúrico y llenar la ampolla de compensación con los grifos abier-

tos. Llenar completamente los tubos colectores de gas variando la altura de la ampolla de compensación.

- Cerrar los grifos. El nivel del agua en la ampolla debe ser más elevado que el de los tubos colectores de gas.
- Comprobar la estanqueidad del equipo y, de ser necesario, apretar más fijamente las conexiones.
- Conectar la fuente de alimentación y ajustar la tensión de manera que fluya aprox. una corriente de 1 A. Comprobar si en ambos tubos se libera gas.
- Desconectar la fuente de alimentación, abrir los grifos y permitir la evacuación del gas.
- Cerrar los grifos. Activar simultáneamente la fuente de alimentación y el cronómetro.
- Cuando el tubo colector de gas del polo negativo (cátodo) se encuentre lleno hasta la mitad, desconectar la fuente de alimentación, detener el cronómetro y anotar el tiempo transcurrido.
- Determinar el volumen de gas, para lo cual es necesario compensar la presión hidrostática.
- Medir la presión atmosférica y la temperatura ambiente.

Cálculos:

- Si se conoce la intensidad de corriente I (A), el tiempo t (s), la presión atmosférica p (Nm^{-2}), la temperatura T (K), el volumen de gas V_{H_2} , V_{O_2} (m^3) y la constante universal de los gases R ($8,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), se puede determinar la constante F de Faraday a partir de:

$$F = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V} .$$

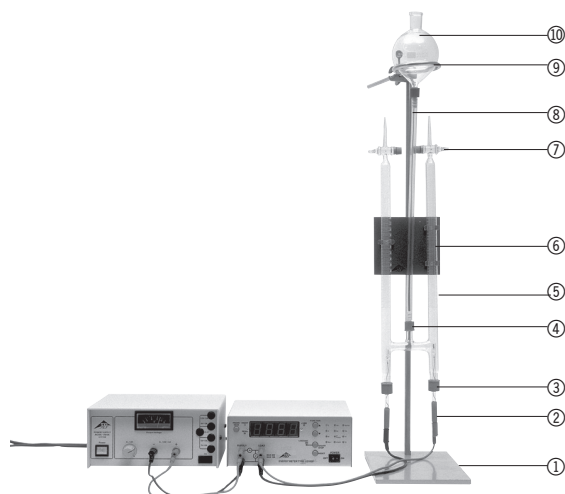


Fig. 2

U14332 Aparelho de Hofmann para a decomposição da água

Instruções para o uso

11/03 ALF



- ① Placa base com vara de tripé
- ② Eletrodos platinados
- ③ Parafusos GL-18
- ④ Parafusos GL-14
- ⑤ Tubos de recepção do gás
- ⑥ Placa suporte
- ⑦ Manga
- ⑧ Mangueira de plástico
- ⑨ Anel do tripé
- ⑩ Recipiente de nível

O aparelho para a decomposição da água serve para a eletrólise da água (transformação da energia elétrica em energia química) e para a determinação quantitativa dos gases que se originam deste processo, bem como para o estudo da lei de Faraday.

1. Indicações de segurança

- Por causa da baixa capacidade condutora da água destilada, utiliza-se para a eletrólise uma solução de ácido sulfúrico ($c = \text{aprox. } 1 \text{ mol/l}$).
- Verter o ácido sulfúrico com cuidado na água enquanto mexe-se. Nunca na ordem inversa!
- Usar óculos de proteção ao fabricar a solução assim como ao evacuar os gases.
- Os alunos devem sempre ser informados dos perigos ligados aos produtos químicos necessários.
- Cuidado! Respingos de ácido podem produzir manchas e buracos irreparáveis na roupa.
- Tomar muito cuidado ao retirar a parte de vidro da placa suporte.
- Não sujeitar as partes de vidro do aparelho de decomposição da água a qualquer esforço mecânico.

2. Descrição, dados técnicos

O aparelho de decomposição da água é composto de uma peça de vidro em forma de H sobre uma placa suporte, a qual está fixada ao tripé por uma placa base. A peça de vidro é composta de dois tubos receptores

de gás escalonados, nas extremidades dos quais estão instaladas duas mangas. Dois eletrodos platinados estão fixados de forma segura na extremidade inferior por parafusos GL-18. Uma mangueira de material plástico flexível conecta um recipiente de nível para equiparar a pressão com os tubos receptores de gás.

Medidas:

Aparelho de decomposição da água:

Altura: aprox. 800 mm
Largura: 150 mm

Placa base: 250 mm x 160 mm

Vara: 750 mm x 12 mm Ø

Placa suporte: 120 mm x 110 mm

Tubos receptores de gás:

Altura: 510 mm

Largura: 150 mm

Diâmetro do tubo: 19 mm

Divisão da escala: cada 50 ml em divisões de 0,2 ml

Recipiente de nível:

Volume: 250 ml

2.1 Fornecimento:

- 1 peça de vidro dos tubos receptores de gás
- 1 placa base, com vara de tripé e placa suporte
- 1 par de eletrodos platinados com tomadas de conexão de 4 mm
- 1 recipiente de nível com mangueira de plástico
- 1 anel de tripé para o suporte do recipiente de nível
- 1 manga universal

2.2 Repostos

U14333 tubos receptores de gás

U14334 par de eletrodos platinados

U14335 recipiente de nível, 250 ml

3. Teoria

Contrariamente aos condutores metálicos, nos quais a corrente é transportada por elétrons, esse transporte ocorre nos eletrolíticos por meio de íons.

Na água misturada com ácido sulfúrico estão presentes os íons HSO_4^- , SO_4^{2-} e H_3O^+ . Ao estabelecer uma tensão, os íons entram em movimento e a água é eletrolisada. Ao mesmo tempo ocorre uma separação do hidrogênio e do oxigênio. No cátodo (pólo negativo) forma-se uma molécula de H_2 a partir de dois íons H_3O^+ , no ânodo (pólo positivo) forma-se O_2 . O ácido sulfúrico permanece sem variação e só age como catalizador na eletrólise da água.

O valor de cargas Q pode ser calculado a partir da potência elétrica I e da duração da ação t com a ajuda da equação

$$Q = I \cdot t.$$

Quando a carga de um íon z é de carga elementar e , então os íons Q/ze são separados.

Para H_3O^+ é válido $z = 1$, portanto, são criadas moléculas de $Q/2e$ H_2 , porque são necessários 2 íons por molécula. Para a separação de n mol H_2 é necessário segundo isto uma carga

$$Q = 2e \cdot N_L \cdot n$$

sendo que N_L se chama número de Loschmidtsch ou de Avogadro e indica o número de moléculas por mol ($N_L = 6,0 \cdot 10^{23}/\text{mol}$).

Se n e Q são conhecidos pode-se calcular a partir desta equação a constante de Faraday F , o produto das duas constantes fundamentais, a carga elementar e e o número de Loschmidtsch:

$$F = e \cdot N_L \sim 10^5 \text{ C/mol}$$

O número n de moles separados é facilmente determinado a partir do volume.

Pois é válida a lei dos gases:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T,$$

que mostra a relação entre a pressão p , o volume V , a temperatura T e o número de moles n . A temperatura T em Kelvin é facilmente calculável a partir da temperatura em Celsius t_c ($T = t_c + 273 \text{ K}$). R é a constante universal dos gases com o valor

$$R = 8,3 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1} (\text{Joule por mol e Kelvin}).$$

Uma quantidade de carga Q produz moléculas $Q/2e$ H_2 no cátodo. Isto corresponde a (com o número de Loschmidt $N_L = 6 \cdot 10^{23}/\text{mol}$)

$$n = \frac{Q}{2e \cdot N_L} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \text{ mol}$$

A constante de Faraday é então

$$F = e \cdot N_L = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V} = 96500 \text{ C/mol}.$$

3. Jogos experimentais

3.1 Pesquisa da capacidade de condução da água e da sua composição

Materiais necessários:

Aparelho de decomposição da água

Fonte de tensão (por ex. U11760 transformador AC/DC)

Cabo de conexão

Água destilada

Solução de ácido sulfúrico

Execução da experiência:

- Montagem da experiência conforme a ilustração 1.
- Verter a água destilada no recipiente de nível mantendo as mangas abertas.
Preencher completamente os tubos receptores de gás variando a altura do recipiente de nível.
- Fechar as torneiras de vidro. O nível da água deveria ser mais alto no recipiente de nível do que nos tubos receptores de gases.
- Verificar o aparelho na busca de pontos de vazamento e caso necessário, apertar as juntas.
- Ligar o transformador e observar os eletrodos.
- Já que não se observa qualquer reação, voltar a desligar o transformador.
- Adicionar umas gotas de solução de ácido sulfúrico ($c = \text{aprox.} 1 \text{ mol/l}$).
- Após uns 5 minutos de espera, voltar a ligar o transformador.
- Bolhas se elevam nos dois eletrodos.
- Quando o tubo de recepção de gás no pólo negativo (cátodo) estiver cheio de gás até a metade, desligar o transformador de alimentação elétrica.
- Para uma leitura exata do volume de gás, descer o recipiente de nível até que o nível do líquido no recipiente de nível e no tubo de recepção de gás do qual cabe ler a medição estejam na mesma altura.
- Retirar os gases através das torneiras e recuperá-los pneumaticamente em tubos de ensaio virados.
- Constatar a presença do hidrogênio através do teste do estalo do gás, a do oxigênio, por meio de uma haste de madeira incandescente.

Resultado:

- Utilizando-se só água destilada não ocorre eletrólise.
- A adição de uma solução de ácido sulfúrico age como catalizador na eletrólise da água destilada em suas partes constitutivas, o hidrogênio e o oxigênio.
- No cátodo formou-se o dobro de gás (hidrogênio) do que no ânodo (oxigênio).



Ilustr. 1

3.2 Determinação da constante de Faraday

Materiais necessários:

Aparelho de decomposição da água
 Fonte de tensão (por ex. U11760 transformador AC/DC)
 Amperímetro (por ex. o multímetro U13000)
 Cabo de conexão
 Água destilada
 Ácido sulfúrico
 Cronômetro
 Termômetro
 Barômetro
 Hidrômetro

Execução da experiência:

- Montagem da experiência conforme a ilustração 2.
- Misturar a água destilada com o ácido sulfúrico e verter no recipiente de nível mantendo as mangas abertas. Preencher completamente os tubos receptores de gás variando a altura do recipiente de nível.
- Fechar as torneiras de vidro. O nível da água deveria ser mais alto no recipiente de nível do que nos tubos de recepção de gases.
- Verificar o aparelho na busca de pontos de vazamento e caso necessário, apertar as juntas.

- Ligar o transformador e ajustar a tensão de modo a que flua uma corrente aproximadamente 1 A. Verificar se é liberado gás em ambos tubos.
- Desligar o transformador, abrir as torneiras e deixar escapar o gás.
- Fechar as torneiras de vidro. Ligar o transformador e o cronômetro ao mesmo tempo.
- quando o tubo de recepção de gás no pólo negativo (cátodo) estiver quase cheio de gás, desligar o transformador e o cronômetro e anotar o tempo.
- Determinar o volume de gás, par tal, deve-se equilibrar a pressão hidrostática.
- Medir a pressão atmosférica e a temperatura ambiente.

Cálculos:

- No caso de conhecer-se a potência da corrente I (A), o tempo t (s), pressão do ar p (Nm^{-2}), temperatura T (K), volume de gás V_{H_2} , V_{O_2} (m^3) e a constante universal do gás R ($8,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), pode-se então determinar a constante de Faraday F a partir de

$$F = \frac{Q \cdot R \cdot T}{2 \cdot p \cdot V}$$



Ilustr. 2