

Physique

Chimie · Biologie

Technique



LEYBOLD DIDACTIC GMBH

4/96-A-Sf-

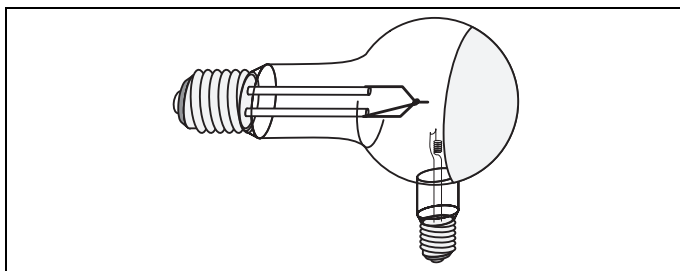


Fig. 1

1 Remarques de sécurité

- Veuillez rigoureusement observer les directives du paragraphe 4 (page 4 à 6) afin d'exclure toute fausse manoeuvre susceptible d'endommager l'instrument.
- N'utilisez pour vos montages expérimentaux que les appareils que nous vous proposons. Cela s'applique tout particulièrement à l'alimentation haute tension et à la source de tension de chauffage résistant à la haute tension (voir paragraphe 4.1)
- Le microscope à émission froide est un émetteur parasite dans l'esprit du décret sur les rayons X. En cas de fonctionnement avec les alimentations haute tension 10 kV indiquées (521 70 et 522 37*), il est garanti que le taux de dose des rayons X émis est inférieur à la valeur limite autorisée. Cela s'applique aux microscopes à émission froide avec une pointe en tungstène en bon état donnant une image identique à celle de la fig. 4/5. Un microscope à émission froide avec une pointe en tungstène défectueuse (sur l'écran, pas d'image régulière comme celle de la fig. 4/5 mais des phénomènes de luminescence nettement délimités) ne doit plus fonctionner avec des tensions anodiques de plus de 5 kV; dans des conditions défavorables, il peut survenir des taux de dose élevés consécutifs au rayonnement X généré dans le microscope à émission froide.
- Après chaque expérience, nettoyer la cathode en la chauffant pendant 60 s, ainsi que prescrit. De forts encrassements de la cathode par des gaz résiduels absorbés compromettent la longévité du tube.
- **Chauffage du baryum:**
7,5 A à 8 A (jusqu'à apparition d'une faible incandescence rouge)
Placer l'ampèremètre sur un support isolant, par ex. une plaque en verre.
Une forte évaporation de baryum rend le tube inutilisable.
- **Chauffage de la cathode:**
1,6 A à 1,8 A; maximum 1,9 A
Utiliser un instrument de mesure de la classe 1,5 (ou mieux); plage de mesure ≤ 3 A
La longévité de la cathode est prolongée si le courant de chauffage est le plus faible possible.
Un courant supérieur à 1,9 A risque de susciter l'évaporation du tungstène et donc la destruction immédiate de la cathode.
- Evitez d'appliquer brusquement la haute tension. Veillez au bon contact des connexions (culots). Préservez l'écran fluorescent de la lumière solaire directe.
- N'oubliez pas que le tube est évacué; tout endommagement mécanique du tube peut être dangereux à cause de la présence d'éclats de verre.

* plus disponible

Mode d'emploi Instrucciones de servicio

554 60

Microscope à émission froide Microscopio de emisión de campo

1 Instrucciones de seguridad

- Por favor, observar estrictamente las indicaciones para el manejo de la sección 4 (págs. 4 a 6) para excluir errores en el servicio que pudieran dañar el aparato.
- Para el montaje experimental deben utilizarse solamente aquellos aparatos que han sido propuestos por nosotros. Esto es válido en particular para la alimentación de alta tensión y la fuente de tensión de calentamiento a prueba de alta tensión (véase la sección 4.1).
- El microscopio de emisión de campo es una fuente de perturbación si se tiene en cuenta la reglamentación para los rayos X. Al ser operado con las fuentes de alimentación de alta tensión de 10 kV indicadas (521 70 y 522 37*), se ha asegurado que la intensidad de dosis de la radiación X emitida no sobrepase los valores límites permitidos. Esto se cumple si la punta de wolframio del microscopio no está dañada; en tal caso suministra una imagen como se ilustra en la Fig. 4/5. Un microscopio con punta de wolframio defectuosa (sobre la pantalla no se tiene la imagen homogénea que se muestra en la Fig. 4/5, sino aparecen efectos luminoso de contornos bastante agudos) no debe ser operado con tensiones de ánodo mayores que 5 kV; bajo condiciones desfavorables se pueden presentar intensidades de dosis a causa de la generación de rayos X producidos por el microscopio de emisión de campo.
- Después de cada pausa durante el experimento, debe limpiarse primero el cátodo, calentándolo según la prescripción durante 60 s. Mayores impurezas sobre el cátodo, provocadas por gases remanentes absorbidos, influyen en forma perjudicial sobre la duración del tubo.
- **Calentamiento del bario:**
7,5 A hasta 8 A (hasta que se vea un rojo incandescente débil)
Colocar el amperímetro sobre una base aislante, por ej. una placa de vidrio.
Si el bario se evapora de forma intensa el tubo puede ser dañado completamente.
- **Calentamiento del cátodo:**
1,6 A hasta 1,8 A; máximo: 1,9 A
Emplear un instrumento medidor de la clase 1,5 (o uno mejor); rango de medición: ≤ 3 A
La duración útil del cátodo se prolonga utilizando una corriente de calentamiento lo más pequeña posible.
Una corriente mayor a 1,9 A puede causar la evaporación del wolframio; con ello el cátodo se dañaría inmediatamente.
- Evítense la conexión repentina de alta tensión. Debe cuidarse que el contacto en los portatubos sea bueno. La pantalla fluorescente debe protegerse de la luz solar directa.
- Por estar evacuado el tubo, debe tenerse en cuenta que, en el caso de un deterioro mecánico, los fragmentos de vidrio despedidos pueden ser de peligro.

* no se suministra más

Le microscope à émission froide permet d'observer la surface d'un monocristal de tungstène grossi d'environ 500 000 fois, grâce à la propriété des particules d'émettre des électrons qui donnent de celles-ci une image composée de parties obscures et de parties lumineuses. Ce grossissement extraordinairement élevé et un pouvoir séparateur de 2 nm à 3 nm permettent une observation directe des atomes de baryum déposés sur la pointe en tungstène et de leur agitation thermique.

2 Description;caractéristiques techniques

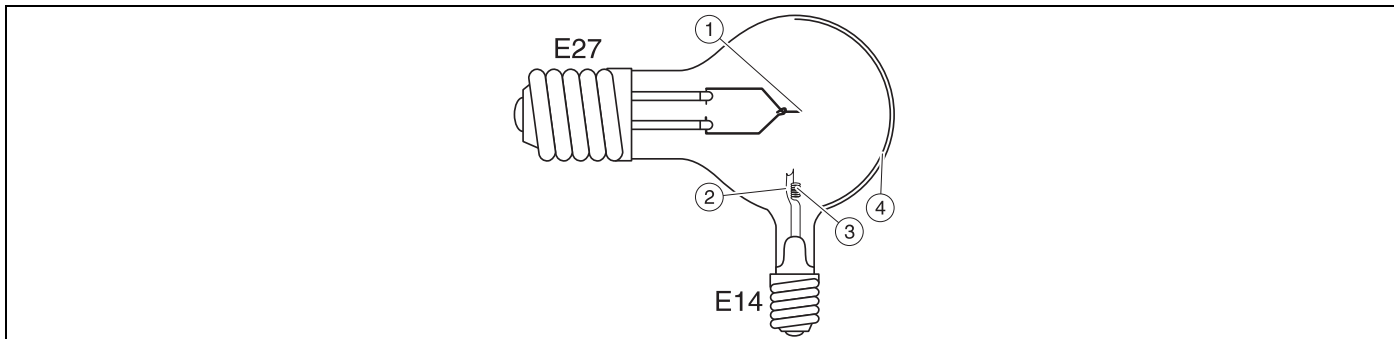


Fig. 2
Représentation schématique du microscope à émission froide

- ① Cathode (pointe en tungstène)
- ② Anode avec réserve de baryum dans cuvette annulaire
- ③ Chauffage pour la réserve de baryum
- ④ Ecran fluorescent

La fig. 2 donne la représentation schématique d'un microscope à émission froide. C'est au centre d'un écran fluorescent (4) disposé dans le récipient en verre semblable à une ampoule à incandescence que se trouve une cathode (1) ayant la forme d'une pointe très fine. Cette pointe est représentée (agrandissement) à la fig. 2 et forme l'extrémité d'une boucle en fil de tungstène raccordé à une douille (E 27). Sur le côté de la pointe, il y a l'anode (2) avec une cuvette annulaire chauffable contenant la réserve de baryum. L'anode et le chauffage du baryum sont reliés par une douille (E 14). L'ampoule en verre a été évacuée à un vide très poussé puis scellée.

Le diamètre de la cathode en tungstène est à sa pointe plus petit qu'une longueur d'onde de la lumière visible. Des pointes d'une telle finesse sont obtenues par corrosion et leur forme tout d'abord encore irrégulière est arrondie en rougissant les pointes dans l'ultravide. Le monocristal de la pointe n'apparaît pas, après ce traitement, sous la forme d'un polyèdre anguleux mais, en accord avec la théorie, en forme arrondie de dissociation. Les zones aplaties sur celle-ci représentent les faces à forme dite d'équilibre: (011), (001), (112). A cause de l'aplatissement et du travail d'émission relativement élevé, ces zones apparaissent sur la figure de la pointe propre du microscope sous forme de taches foncées.

Caractéristiques techniques:

Grossissement:	env. 500 000 fois
Pouvoir séparateur:	2 à 3 nm
Rayon de courbure de la pointe en tungstène:	0,1 à 0,2 μm
Diamètre de l'ampoule:	10 cm
Pression:	env. 10^{-10} bar
Tension anodique U_A :	typiquement de 4 à 8 kV
Courant anodique I_A :	env. 10 μA
Courant I_t pour le chauffage de la pointe en tungstène:	1,6 A à 1,8 A; max. 1,9 A
Courant I_B pour le chauffage de la réserve de baryum:	7,5 A à max. 8 A

Con el microscopio de emisión de campo se puede observar la superficie de un monocristal de wolframio, con una ampliación de aproximadamente 500.000 aumentos, mediante la imagen producida por la capacidad de emisión de los electrones, la que difiere de punto a punto. Con este aumento extraordinario y con un poder de resolución de 2 nm a 3 nm, ya se pueden observar átomos de bario individuales, depositados sobre la superficie de wolframio, al igual que su movimiento térmico.

2 Descripción y datos técnicos

Fig. 2
Representación esquemática del microscopio de emisión de campo:

- ① Cátodo (punta de wolframio)
- ② Anodo con depósito de bario en una concavidad en forma anular
- ③ Calefacción para el depósito de bario
- ④ Pantalla

La Fig. 2 muestra la representación esquemática de un microscopio de emisión de campo. En el interior del bulbo de vidrio similar a una lámpara incandescente, en el centro de la pantalla fluorescente (4) ubicada en el interior, se encuentra el cátodo (1), el que termina en una fina punta. En la Fig. 2 se muestra un dibujo aumentado de esta punta, de un alambre de wolframio doblado en forma de lazo. Los dos extremos de este alambre están conectados con el portalámparas (E 27). A un costado de la punta se encuentra el ánodo (2) con la concavidad anular calentable, en la que está depuesto el bario. El ánodo y la calefacción del bario están conectados con un portalámparas E 14. En el interior del bulbo de vidrio se ha creado un vacío muy alto, y se ha cerrado por fundición.

El diámetro de la punta del cátodo de wolframio es más pequeño que una longitud de onda de la luz visible. Este tipo de puntas tan finas es fabricado mediante procesos corrosivos y las inhomogeneidades restantes son redondeadas mediante calentamiento al rojo en alto vacío. Después del tratamiento al rojo, el monocristal de la punta no aparece como poliedro anguloso, sino en concordancia con la teoría, como una forma redondeada de resolución. En ésta, las zonas aplanadas representan las llamadas superficies de equilibrio: (011), (001), (112). Por el aplanado y el trabajo de emisión relativamente alto, estas zonas aparecen como manchas oscuras en la imagen de las puntas limpias en el microscopio de emisión de campo.

Datos técnicos:

Magnificación:	aprox. 500.000 veces
Poder de resolución:	2 a 3 nm
Radio de curvatura de la punta de wolframio:	0,1 a 0,2 μm
Diám. del bulbo:	10 cm
Presión:	aprox. 10^{-7} hPa (equiv. 10^{-7} mbar)
Tensión del ánodo U_A :	típica de 4 kV a 8 kV
Corriente del ánodo I_A :	aprox. 10 μA
Corriente I_W para calentar la punta de wolframio:	1,6 A hasta 1,8 A; máx. 1,9 A
Corriente I_B para la calefacción del depósito de bario:	7,5 A hasta máx. 8 A

3 Fonctionnement

La différence entre le microscope à émission froide et un microscope électronique travaillant avec des lentilles électrostatiques ou électromagnétiques réside pour l'essentiel dans les deux points suivants:

- En tant que source d'électrons, le microscope à émission froide n'utilise pas un filament incandescent, mais une pointe en tungstène extrêmement fine. En outre, l'image n'est plus formée par un objet interposé sur le trajet des électrons, mais par l'émission de cette pointe en tungstène ou des sels déposés à sa surface sous l'influence du champ créé autour d'elle.
- Il y a représentation entre la pointe hémisphérique de la cathode et la calotte en verre concentrique du tube, de l'établissement d'un champ symétrique de forme sphérique dont les lignes de force divergent de façon rectiligne. L'intensité du champ atteint au voisinage de la surface cathodique des valeurs très élevées.

A titre d'exemple, citons l'intensité du champ qui s'élèverait à 10^{10} V/m pour un rayon de courbure cathodique $R = 10^{-6}$ m et une tension $U = 10^4$ V. Or de telles intensités de champ ne peuvent pas être maintenues dans des conditions normales. L'intensité du champ sur la surface sphérique est limitée sous la pression atmosphérique par l'intensité de rupture dans l'air, qui est de l'ordre de $2 \cdot 10^6$ V/m à $3 \cdot 10^6$ V/m. Cette valeur ne peut pas être dépassée, même à pression réduite, tant qu'il peut se produire une décharge spontanée dans les gaz résiduels. Mais si l'on utilise un tube dans lequel le vide a été poussé à l'aide des moyens modernes à 10^{-7} hPa, une telle décharge spontanée ne peut plus avoir lieu, l'intensité du champ peut alors prendre une valeur élevée sur une fine pointe hémisphérique. Lorsque l'intensité du champ atteint sur la pointe polarisée négativement un ordre de grandeur de quelques 10^9 V/m, le métal peut alors émettre dans le vide des électrons de conduction. Cette émission d'électrons par la surface métallique est un phénomène physique explicable seulement par la mécanique ondulatoire.

En sortant de la fine pointe cathodique sous l'action de l'émission froide, ces électrons se déplacent dans la direction des lignes de force du champ électrique qui partent à peu près radialement de la calotte hémisphérique vers l'extérieur, au voisinage de la pointe. Les électrons se déplacent radialement vers l'écran dans un vide très poussé, pratiquement sans se heurter (effet tunnel).

Deux électrons s'écartant de la pointe hémisphérique de la cathode avec un écart linéaire Θ arrivent sur l'écran fluorescent avec un écart linéaire Δ . Pour un tel microscope, le grossissement $G = \Delta/\Theta$ est simplement égal au quotient des rayons de courbure de l'ampoule en verre et de la pointe.

$$G = \frac{\Delta}{\Theta} = \frac{R}{r}$$

Si le rayon de courbure r de la pointe s'élève, comme on peut pratiquement le réaliser, à $0,1 - 0,2 \mu\text{m}$ et celui de l'ampoule en verre à $R = 5$ cm, on a $G = 5 \cdot 10^5$ à $2,5 \cdot 10^5$. Le plus fort grossissement pouvant être obtenu avec le microscope à émission froide est de l'ordre d'env. 1 million de fois, dépassant de loin le grossissement des microscopes électroniques.

Dans les conditions énoncées ci-dessus, le microscope à émission froide permet encore de distinguer les points distants de $0,5$ mm sur l'écran fluorescent, c.-à-d. des points distants de seulement $1 \cdot 10^{-9}$ m à $2 \cdot 10^{-9}$ m) sur la pointe cathodique hémisphérique. De telles distances sont déjà de l'ordre de grandeur des dimensions atomiques. C'est ainsi, par ex., que le diamètre d'un atome de baryum s'élève à env. $0,4 \cdot 10^{-9}$ m. Le microscope à émission froide peut donc donner l'image de telles grandeurs atomiques sur l'écran fluorescent.

3 Funcionamiento

La diferencia entre un microscopio de emisión de campo y un microscopio electrónico que trabaja con lentes electrostáticas y electromagnéticas, consiste esencialmente en dos puntos.

- Como fuente de electrones el microscopio de emisión de campo ya no utiliza un alambre incandescente, sino una punta extraordinariamente fina. La imagen ya no es la de un objeto ubicado en la trayectoria de los rayos, sino que se representa justamente la superficie de esta punta que emite electrones, gracias a la distribución de campo existente alrededor de ella.
- Entre el cátodo semiesférico y el segmento esférico del bulbo, concéntrico a aquel, se produce un campo simétrico esférico, cuyas líneas de fuerza se proyectan divergentemente en línea recta. En las proximidades de la superficie del cátodo, la intensidad de campo alcanza valores muy altos.

Por ejemplo, con un radio del cátodo de $R = 10^{-6}$ m y una tensión de $U = 10^4$ V, la intensidad de campo sería de 10^{10} V/m. Estas intensidades de campo no pueden ser mantenidas bajo condiciones normales. A la presión atmosférica, la intensidad de ruptura en aire, de aprox. $2 \cdot 10^6$ V/m hasta $3 \cdot 10^6$ V/m, limita la intensidad de campo en la superficie esférica. Esta intensidad de campo tampoco se supera con una baja presión, mientras se pueda presentar una descarga espontánea con los gases remanentes que se encuentran en el bulbo. Sólo en un bulbo evacuado a 10^{-7} hPa, en el cual ya no se presenta una descarga espontánea, puede aumentarse la intensidad de campo en una punta fina terminada en una semiesfera, hasta valores muy altos. Cuando la intensidad de campo en la punta de polaridad negativa alcanza valores del orden de unos 10^9 V/m, se pueden emitir electrones conductores desde el metal hacia el vacío. Esta salida de electrones de la superficie metálica es un fenómeno físico, explicable solamente por la mecánica ondulatoria (efecto túnel).

Estos electrones, que salen de la fina punta del cátodo por efecto de la emisión de campo, se mueven en el campo eléctrico en la dirección de las líneas de campo, las que se proyectan divergentemente desde las proximidades de la punta en forma aproximadamente radial hacia el exterior. En el vacío extremadamente alto, los electrones se disparan en dirección radial hacia la pantalla fluorescente, prácticamente sin chocar.

Dos electrones que parten desde la superficie semiesférica de la punta con una distancia lineal Θ entre sí, chocan con la pantalla fluorescente a una distancia Δ entre ellos. El aumento $G = \Delta/\Theta$ está dado en el microscopio de emisión de campo simplemente por la relación entre los radios de las semiesferas del bulbo de vidrio y de la punta:

$$G = \frac{\Delta}{\Theta} = \frac{R}{r}$$

Si el radio r de la semiesfera de la punta es de $0,1$ hasta $0,2 \mu\text{m}$, como se puede obtener en la práctica, y el del bulbo de vidrio es de $R = 5$ cm, se obtiene un valor para $G = 5 \cdot 10^5$ hasta $2,5 \cdot 10^5$. El aumento máximo que puede alcanzarse con el microscopio de emisión de campo, es de aproximadamente un millón de veces. Este aumento supera considerablemente al que puede obtenerse con el microscopio electrónico de transmisión.

Bajo las condiciones descritas, para distancias en la pantalla luminosa de unos $0,5$ mm, el microscopio de emisión de campo puede separar dos puntos ubicados en la superficie semiesférica de la punta a una distancia de $1 \cdot 10^{-9}$ m hasta $2 \cdot 10^{-9}$ m. Tales distancias ya son del orden de magnitud de las dimensiones atómicas. Así por ejemplo, el diámetro esférico de un átomo de bario es de aprox. $0,4 \cdot 10^{-9}$ m. De esta forma, con el microscopio de emisión de campo se pueden obtener sobre la pantalla fluorescente imágenes de tales magnitudes atómicas.

4 Mise en service

Important: Veuillez respecter les remarques de sécurité spécifiées à la page 1 du présent mode d'emploi!

4.1 Accessoires nécessaires; circuit (voir fig. 3)

Haute tension:

1 alimentation haute tension, 10 kV 521 70

ou

1 alimentation haute tension, 10 kV 522 37*

Tensions de chauffage:

1 source réglable TBT, résistant à la haute tension, charge admissible 10 A, pour le chauffage du baryum:

1 noyau en U avec joug 562 11

1 dispositif de fixation 562 12

1 bobine très basse tension 562 18

pour tension secteur de 230 V:

1 bobine de 1000 spires 562 15

1 rhéostat, 1000 Ω 537 22

pour tension secteur de 115 V:

1 bobine de 500 spires 562 14

1 rhéostat, 320 Ω 537 23

1 source TBT réglable, charge admiss. 2 A c.c., pour le chauffage de la cathode, par ex.:

transformateur variable TBT, type S 521 35

2 ampèremètres, plages de mesure 3 A c.c. et

10 A c.c., classe 1,5, par ex. multimètre de démonstration 531 911

1 plaque en verre (support isolant pour l'ampèremètre

de I_{BA}) par ex. 664 196

1 boîte de jonction de sécurité 502 06

1 douille E 27 sur tige 451 18

1 douille E 14 505 68

1 pied en V, 20 cm de côté 300 02

* plus disponible

4 Puesta en funcionamiento

¡Importante! ¡Observar las instrucciones de seguridad de la pág. 1!

4.1 Accesorios necesarios, circuito (Fig. 3)

Alta tensión:

1 fuente de alimentación de alta tensión, 10 kV 521 70

ó

1 fuente de alimentación de alta tensión, 10 kV 522 37*

Tensiones de calefacción:

1 fuente variable de baja tensión, resistente a la alta tensión, de carga máx. 10 A para calentar el bario:

1 núcleo en forma de U con yugo 562 11

1 dispositivo de fijación 562 12

1 bobina de baja tensión 562 18

con red de 230 V:

1 bobina de 1000 espiras 562 15

1 reóstato de cursor, 1000 Ω 537 22

con red de 115 V:

1 bobina de 500 espiras 562 14

1 reóstato de cursor, 320 Ω 537 23

1 fuente variable de baja tensión, carga admisible hasta 2 A, para la calefacción del cátodo, por ejemplo:

transformador variable de baja tensión S 521 35

2 amperímetros, MB 3 A c.a. y 10 A c.a.,

clase de precisión 1,5; por ej. multimetro de demostración 531 911

1 Placa de vidrio (base aislante para la medición de la

corriente I_B) por ej. 664 196

1 caja de conexión de seguridad 502 06

1 portalámparas E 27 sobre vástago 451 18

1 portalámparas E 14 505 68

1 base de soporte en forma de V, 20 cm de largo 300 02

* no se suministra más

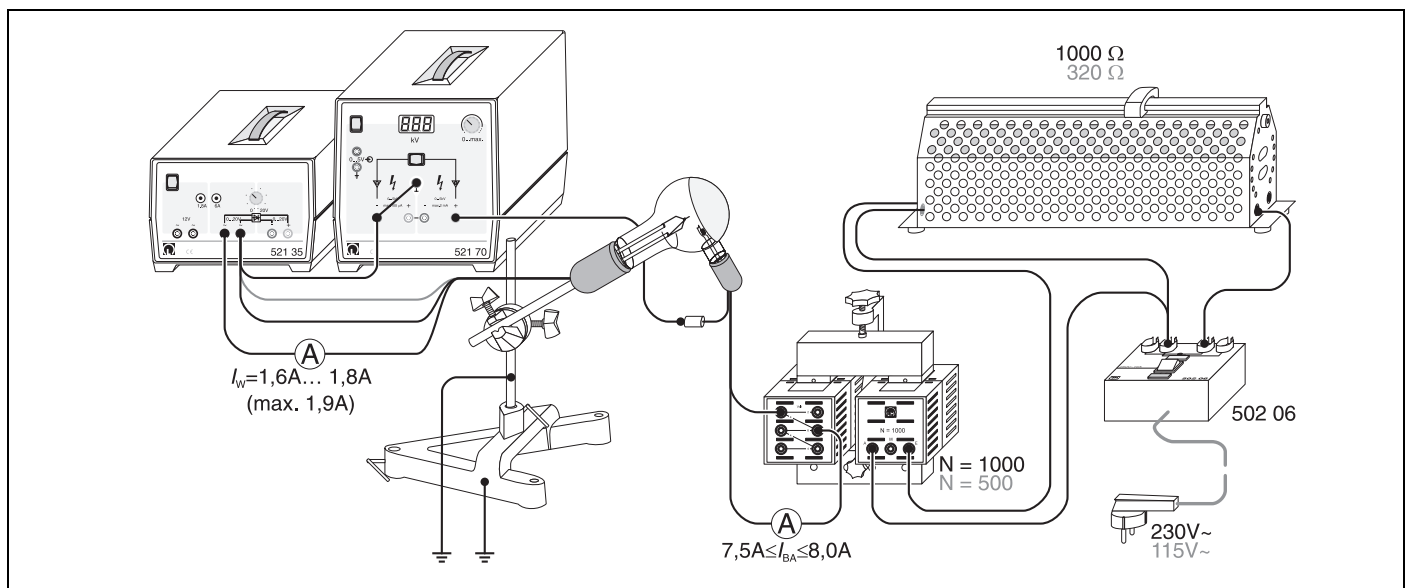


Fig. 3

4.2 Alimentation en haute tension

Il est important de ne brancher la haute tension **qu'après avoir étuvé** la pointe en tungstène. La haute tension doit être appliquée progressivement en partant de la **valeur zéro** jusqu'à obtention d'une image suffisamment claire dans la pièce asssemblée.

Avant chaque étuvage de la cathode H, ramener la haute tension à zéro et attendre la baisse de la tension de sortie jusqu'à zéro (avec l'alimentation 10 kV, 521 70, au bout de max. 30 s); si besoin est, relier la sortie à la terre.

4.2 Fuente de alta tensión

Es importante encender la alta tensión **después de calentar** la punta de wolframio y aumentar la tensión partiendo desde el **valor cero**, lentamente, hasta alcanzar una imagen clara en el ambiente oscuro.

Antes de cada calentamiento del cátodo, poner la alta tensión a cero y esperar el retorno de la tensión de salida al cero (en el caso de la fuente de alimentación de 10 kV, 521 70, después de máx. 30 s); en caso necesario poner a tierra la salida.

4.3 Alimentation en tension de chauffage

La haute tension de chauffage doit posséder une résistance diélectrique suffisante. Le transformateur d'expériences convient très bien, ce qui n'est pas le cas de la plupart des autres transformateurs. Les ampèremètres servant à contrôler le courant de chauffage doivent être placés sur une assise bien isolée, par ex. sur une plaque de verre (664 196).

4.3.1 *Étuvage de la cathode*

Il faut étuver la cathode avant de réaliser une expérience pour la première fois, après chaque vaporisation de baryum et enfin chaque fois que cela s'avère nécessaire.

On le fait **alors que le tube est hors tension ($U_A = 0$)**, afin de débarrasser la pointe des atomes étrangers qui ont été absorbés.

Il faut pour l'étuvage un courant de 1,6 à 1,8 A qui doit être réglé en continu **de zéro à la valeur maximale**; le courant doit passer pendant environ 1 minute.

Comme la pointe cathodique est ultrasensible et pourrait être facilement détruite, cet étuvage doit être réalisé avec minutie en tenant compte des points suivants:

Ne jamais appliquer simultanément haute tension et courant de chauffage de la cathode. Avant chaque étuvage, éliminer la charge résiduelle de la source haute tension.

Ne jamais appliquer d'emblée le courant de chauffage à sa pleine intensité mais l'augmenter progressivement tout en observant constamment l'ampèremètre pour I_W ; ne jamais dépasser 1,9 A.

En cas de phénomènes lumineux anormaux, couper immédiatement la haute tension et étuver la pointe cathodique.

Si l'on remarque, pendant le fonctionnement ou même au moment de la mise en marche, que la luminescence sur l'écran se réduit à une petite tache brillante, cela signifie que la pointe de la cathode n'a pas été chauffée assez longtemps ou pas assez fortement. Il faut par conséquent chauffer la cathode énergiquement, après avoir coupé la haute tension. Si le phénomène persiste quand même, il faudra allonger le temps de chauffage de la cathode qui pourra atteindre jusqu'à 5 min.

La liaison électrique entre le raccord de l'anode et l'écran (qui sert d'anode) est assurée par le film de baryum qui recouvre la face interne de l'ampoule en verre. Après une période assez longue de non utilisation du microscope à émission froide, et après avoir procédé à l'étuvage de la cathode, il peut s'avérer nécessaire de vaporiser préalablement du baryum afin de faire apparaître une image à l'écran.

4.3.2 *Vaporisation du baryum*

Le courant de chauffage I_{Ba} est réglé à environ 7,5 à 8,0 A en commençant à 0 (éventuellement modifier le réglage). La durée de chauffage est d'environ 30 à 60 s.

Pendant le chauffage, observer la cuvette annulaire contenant la réserve de baryum ainsi que l'image de l'écran: au bout d'environ 30 s, la cuvette prend une teinte rouge sombre et peu après, on aperçoit un léger mouvement dans l'image verte de l'écran lumineux. Quelques secondes plus tard, il apparaît de nombreux points sombres autour des grands points de la structure du réseau. Couper alors le chauffage de la réserve de baryum.

Cette réserve est suffisante pour plus de 50 vaporisations.

Après le dépôt du baryum sur la pointe cathodique, on peut, pour observer l'agitation thermique des atomes, chauffer celle-

4.3 Fuentes de tensión para el calentamiento

La fuente de calentamiento para la reserva de bario, a la que se le aplica alta tensión, debe tener una resistencia de aislamiento suficientemente grande. El transformador de experimentación Leybold se presta mucho mejor para tal fin que otros transformadores. Los amperímetros para el monitoreo de la corriente de calefacción I_{Ba} deben estar bien aislados; es conveniente, por ejemplo, colocarlos sobre una placa de vidrio (664 196).

4.3.1 *Calentamiento del cátodo*

La calefacción se realiza **cuando el tubo no se encuentra bajo alta tensión ($U_A = 0$)** y sirve para limpiar la punta de wolframio de átomos extraños absorbidos.

El cátodo debe ser calentado:

- antes de experimentar por primera vez con el en ese día,
- después de realizar una demostración con un cátodo en el cual se evapora bario
- y cuando se crea conveniente.

Para la calefacción se requiere una corriente de 1,6 hasta 1,8 A. Esta corriente debe regularse desde **0 hasta el valor máximo**, y debe circular aprox. 1 min.

Como la punta es muy sensible y puede ser destruida con gran facilidad, es necesario llevar a cabo el calentamiento con mucho cuidado, debiendo tenerse en cuenta especialmente los siguientes puntos:

¡Jamás deben conectarse simultáneamente la alta tensión y la corriente de calentamiento del cátodo con su valor máximo! ¡Antes de cada calentamiento es necesario eliminar la carga remanente de la fuente de alta tensión!

Jamás debe conectarse inmediatamente la corriente de calentamiento con su valor máximo, sino que debe aumentarse lentamente observando el amperímetro para I_W ; no se debe sobrepasar nunca 1,9 A.

Si se presentan fenómenos luminosos anormales, se deberá desconectar inmediatamente la alta tensión y proceder a calentar el cátodo.

Si al operar el equipo o al ponerlo en funcionamiento, la luminosidad sobre la pantalla se concentra formando una mancha pequeña muy luminosa, la punta del cátodo no ha sido suficientemente calentada. Entonces debe calentarse nuevamente el cátodo, luego de haber desconectado la alta tensión. Si este fenómeno sucede con mucha frecuencia, puede conectarse la corriente de calentamiento durante un período máximo de 5 min.

La conexión eléctrica entre el terminal del ánodo y la pantalla fluorescente que actúa como ánodo se efectúa a través de la película de bario que recubre el interior del bulbo y por electrones secundarios. Después de un período bastante largo sin haber empleado el microscopio de emisión de campo, y después de haber calentado la punta, puede ser necesario evaporar bario para obtener una imagen en la pantalla fluorescente.

4.3.2 *Evaporación de bario*

Ajustar la corriente de calentamiento I_{Ba} en aprox. 7,5 a 8,0 A, comenzando en 0 (eventualmente se deberá reajustar después). La duración de la calefacción es de aprox. 30 a 60 s.

Observar el recipiente anular con el bario, así como la imagen de la pantalla durante el procedimiento de calentamiento: después de aprox. 30 s, se ve que el anillo en el saliente lateral del bulbo se torna rojo oscuro, y poco después se observa un ligero movimiento en la imagen iluminada de verde en la pantalla. Después de algunos segundos se ven numerosos puntos luminosos alrededor de los grandes puntos oscuros de la estructura de la rejilla. En este momento se debe suspender el calentamiento del bario.

El depósito de bario basta para más de 50 evaporaciones. Para

ci légèrement en même temps qu'on applique la haute tension. Il ne faut élever la tension de chauffage que jusqu'à ce qu'il se produise un actif mouvement scintillant des atomes de baryum, la cathode **ne devant jamais dépasser une incandescence légèrement rouge foncé**.

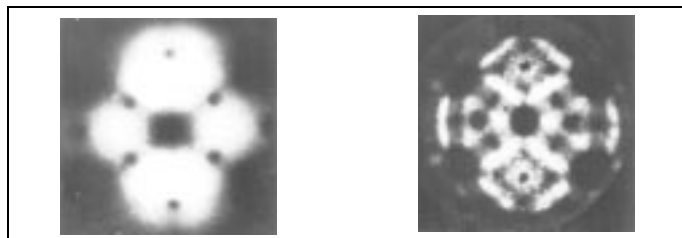
5 Expériences

5.1 Image de la pointe en tungstène

La fine pointe a un rayon de 0,1 à 0,2 μm et est constituée d'un monocristal de tungstène. La structure du réseau de ce métal est cubique centrée et la fig. 6 représente un cube élémentaire de ce réseau. Son arête a une longueur de 0,316 nm. L'orientation des axes cristallins est déterminée par le procédé de préparation des cristaux; elle est telle que la diagonale de l'une des faces du cube traverse le sommet de la calotte parallèlement à la direction longitudinale de la pointe. Cette direction [110] est tracée en pointillés sur la fig. 6. Le plan perpendiculaire à cette diagonale est désigné par (110), conformément à la nomenclature utilisée en cristallographie. Les fig. 4 et 5 révèlent que ce plan n'émet que très peu d'électrons, puisqu'un point foncé se trouve au centre de l'image. Il faut mettre en jeu une énergie un peu plus élevée pour émettre dans cette direction. On peut également faire correspondre les autres points foncés disposés sur l'image symétriquement aux directions ou aux plans du cristal. C'est ce que montre la fig. 7 en projection parallèle.

L'image de la pointe en tungstène fournie par le microscope à émission froide permet d'étudier un intéressant chapitre de la cristallographie des réseaux simples. Comme il ressort de la différence entre les fig. 4 et 5, la moindre souillure de la surface modifie nettement l'émission de la cathode. Cette modification peut devenir encore plus marquée lorsque la cathode est chauffée dans le champ électrique: d'autres parties claires et foncées apparaissent alors sur l'écran. Il ne faut pourtant pas se laisser entraîner par ces jolis phénomènes à chauffer la pointe sous tension élevée jusqu'à l'incandescence visible, parce qu'elle pourrait être mise hors d'usage.

5.2 Mise en évidence de quelques atomes



Il est du plus haut intérêt de pouvoir déposer des atomes ou des molécules d'autres substances sur la pointe en tungstène et de les y observer. On ne peut utiliser à cette fin des atomes de gaz résiduel enfermés dans le tube, parce qu'on a ici besoin de particules les plus grosses possible. Si - avec la haute tension connectée - on chauffe la réserve de baryum dans le tube jusqu'à la vaporisation, quelques atomes se déposent sur la fine pointe en tungstène; quelques petits points brillants clairs apparaissent sur l'image habituelle de la cathode en tungstène. Ils arrivent toujours plus nombreux, comme des flocons de neige. Il ne faut pas vaporiser trop de baryum pendant cette première expérience, mais au contraire n'envoyer le courant de chauffage que par brèves périodes. Dans diverses expériences, le Prof. Dr. E. W. Müller a prouvé que ces points brillants sont bien les images de quelques atomes de baryum.

On distingue très nettement les atomes de baryum vaporisés sur la pointe en tungstène des zones de taches foncées appartenant au réseau cristallin du tungstène. On les reconnaît par ex. sur le point foncé central correspondant à l'axe [110]; sur la périphérie à la limite du champ visuel, on aperçoit distinctement les axes [011], [101], [101] et [011] bordés par les images brillantes des atomes de baryum. On distingue même ces derniers sur les plages claires intermédiaires.

Si on augmente maintenant tout doucement le courant I_t pour le chauffage de la cathode en tungstène en partant de 0 V, on

observer el movimiento térmico atómico, puede calentarse débilmente la punta del cátodo, estando conectada la alta tensión y luego de haber vaporizado bario sobre la punta. Para ello, la tensión de calefacción no debe superar el valor al cual los átomos de bario comienzan a presentar un fuerte movimiento vibratorio. Sin embargo, la **incandescencia máxima del cátodo no debe pasar de un rojo oscuro débil**.

5 Experimentos

5.1 Imagen de la punta de wolframio

La fina punta de sólo 0,1 a 0,2 μm de radio, consiste de un monocristal de wolframio. La estructura cristalina de este metal es cúbica centrada en el cuerpo. Su cubo elemental está representado en la Fig. 6. La longitud de arista es de 0,316 nm. Por el proceso de fabricación, la orientación de los ejes del cristal es tal que una diagonal del cubo coincide con el sentido longitudinal de la punta y pasa por el cenit de su semiesfera. Esta dirección (110) está indicada en la Fig. 6 por una línea interrumpida. El plano perpendicular que le corresponde lleva, según la nomenclatura cristalográfica, la designación (110). De este plano salen, como puede apreciarse en las Fig. 4 y 5, solamente unos pocos electrones, ya que en el centro de la imagen se halla un punto oscuro. En esta dirección el trabajo de emisión es algo mayor. También en los demás puntos oscuros en la imagen electrónica, ordenados simétricamente, se pueden precisar con claridad las direcciones y los planos del cristal. Esta situación se representa en la Fig. 7 mediante una proyección paralela.

La imagen de la punta de wolframio en el microscopio de emisión de campo, representa un capítulo interesante de la cristalografía de redes cristalinas sencillas. Como demuestra la diferencia entre las Figs. 4 y 5, el más leve movimiento sobre la superficie de la punta provoca ya una variación notable de las condiciones de emisión del cátodo. Estas variaciones pueden acentuarse aún más si se calienta el cátodo en el campo eléctrico. En este caso, se presentan más lugares luminosos y oscuros sobre la pantalla fluorescente. Es peligroso, sin embargo, dejarse llevar por estos interesantes fenómenos y calentar la punta hasta la incandescencia visible, bajo alta tensión, porque ésta puede destruirse.

5.2 Visualización de átomos individuales

Fig. 4/5

Image de la pointe en tungstène pour une cathode froide (fig. 4) pour une cathode chauffée (fig. 5)
Imagen de la punta de wolframio cuando el cátodo está frío (Fig. 4) y cuando el cátodo está caliente (Fig. 5)

Es especialmente importante el ubicar sobre la superficie de wolframio átomos y moléculas de otras sustancias, para su observación. Los gases remanentes en el bulbo no son adecuados para tal propósito, ya que debe tratarse de partículas muy grandes. Para ello son especialmente apropiados los átomos de bario. Si, con la alta tensión conectada, el depósito de bario en el bulbo se calienta hasta que se evapore, se depositarán algunos átomos en la fina punta del cátodo; entonces, algunos puntitos muy luminosos centellearán en la imagen ya conocida del cátodo de wolframio, cayendo, cada vez con mayor intensidad, como copos de nieve sobre la punta. Para este experimento no debe evaporarse demasiado bario, sino que se debe desconectar la calefacción, poco después de haberla prendido. En numerosos experimentos realizados según distintos métodos, el profesor Dr. E. W. Müller ha podido demostrar que estos puntos luminosos son imágenes de átomos de bario aislados.

Los átomos de bario depositados sobre la punta de wolframio se distinguen con claridad, especialmente sobre los sectores que aparecen más oscuros, procedentes del retículo cristalino del wolframio. Así por ejemplo, se los encuentra sobre el punto oscuro central de la dirección (110). En el borde exterior de la imagen, aparecen en este experimento nítidamente las direcciones (011), (101), (101), (101) y (011), rodeadas en sus bordes por imágenes muy luminosas de bario. Pero asimismo pueden ob-

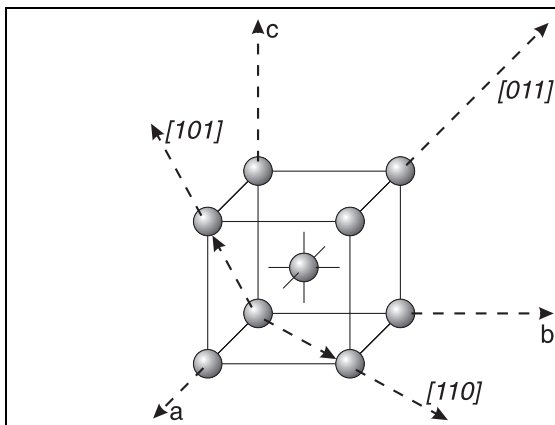


Fig. 6 Cellule élémentaire du réseau du tungstène
 Fig. 7 Projection des axes du réseau cristallin du tungstène sur l'hémisphère du microscope à émission froide

peut observer les mouvements des atomes de baryum sur les diverses faces cristallines de la pointe en tungstène. Tout d'abord, ce sont les atomes de baryum des zones périphériques de l'image projetée, et plus tard également ceux de la zone centrale qui commencent à changer de place de plus en plus souvent. Il est impossible de distinguer des mouvements latéraux, vu que leur vitesse est beaucoup trop grande; on voit seulement le point brillant après un tel changement de place.

Si l'on élève encore un peu la température, le mouvement des atomes de baryum situés sur les plans caractérisés par les taches foncées devient si vif qu'il ne reste plus un seul atome de baryum sur ces plans au bout de peu de temps. Puis ce sont les atomes de baryum des taches claires qui commencent à bouger.

Suite à la vive agitation thermique, on ne peut plus distinguer chaque image séparément; on ne voit plus qu'un agrégat lumineux soumis à une vive agitation. Si l'on augmente encore la température de la cathode, les atomes de baryum disparaissent de plus en plus des taches claires et sont au contraire en grand nombre, et très agités, sur les zones foncées. A partir de ce moment, il est recommandé de ne plus élever la température de la cathode dont l'incandescence est déjà portée au rouge foncé.

Dans une seconde expérience, on peut maintenant légèrement augmenter la quantité de baryum vaporisé. Pour ce faire, il faut débrancher la haute tension pendant la vaporisation. Cet arrêt a pour but d'empêcher le champ électrique d'attirer les atomes de baryum passant à proximité de la pointe dans une direction opposée à celle-ci.

Si on enclenche à nouveau la haute tension peu après la vaporisation, on s'aperçoit que les atomes de baryum sont seulement déposés du côté faisant face au filament anodique; on peut ainsi obtenir plusieurs couches d'atomes superposées. L'image observée sur l'écran fluorescent se caractérise par un bord lumineux clair correspondant aux bords sensiblement monoatomiques de la couche de baryum déposée par vaporisation.

En chauffant, on peut maintenant répartir de façon uniforme sur tout l'hémisphère cathodique la grande quantité de baryum déposée. Ici aussi, on commence avec une très basse tension de chauffage cathodique et on observe comment les atomes de baryum émigrent de plus en plus sur la partie non couverte de l'hémisphère. Durant cette migration, la plupart des zones foncées de l'image du tungstène restent complètement sombres, parce qu'elles proviennent de zones dans lesquelles les atomes de baryum ne séjournent pas. On trouve plutôt le baryum, comme dans l'expérience décrite plus haut, sous la forme d'une granulation fluctuante sur les parties claires de l'image.

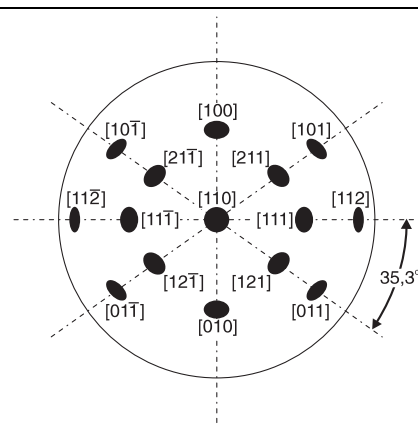


Fig. 6 Celda elemental de la red cristalina del wolframio
 Fig. 7 Direcciones cristalográficas de la red del wolframio sobre el bulbo semiesférico del microscopio de emisión de campo, vistas en proyección paralela

servarse los átomos de bario en las zonas más luminosas. Si se eleva lentamente la corriente I_w para la calefacción del cátodo de wolframio desde 0 V, es posible observar el movimiento de los átomos de bario sobre las superficies cristallinas de la punta de wolframio. Primero, los átomos de bario situados en las zonas exteriores de la imagen, comienzan a cambiar de posición con frecuencia cada vez mayor; luego les siguen los átomos ubicados en la zona central. El movimiento lateral propiamente dicho no puede reconocerse, ya que la velocidad es demasiado grande. Lo que se observa es el centelleo luego de un cambio de posición.

Al aumentar un poco más la temperatura, el movimiento de los átomos de bario sobre las superficies oscuras se torna tan intenso que ya no es posible observar allí átomos de bario aislados. Entonces se comienzan a mover las imágenes de átomos de bario visibles en las superficies claras.

Debido al intenso movimiento térmico ya no es posible la observación de imágenes aisladas. Ahora aparece un centelleo intenso. Aumentando la temperatura del cátodo desaparecen cada vez más los átomos de bario desde las superficies claras, para concentrarse en puntos característicos entre las superficies oscuras de la imagen de la pantalla. En estos lugares, los átomos de bario se encuentran en un movimiento vibratorio muy fuerte. No es aconsejable aumentar aún más la temperatura, ya que durante esta última observación el cátodo se ha calentado hasta llegar a la incandescencia roja oscura débil.

En un experimento adicional, puede evaporarse un poco más de bario. Para ello se desconecta la alta tensión durante la evaporación, para que los átomos de bario que pasan por la punta no sean atraídos hacia el lado opuesto de la punta, debido al campo eléctrico.

Al conectar nuevamente la alta tensión, poco tiempo después de haber realizado la evaporación, se observa claramente que los átomos de bario se han depositado solamente sobre la superficie de la punta ubicada frente al depósito de bario. Allí pueden encontrarse dispuestos en una capa de varios átomos. La imagen sobre la pantalla fluorescente se caracteriza entonces por un borde muy luminoso. Este proviene de los límites aproximadamente monoatómicos de la cantidad de bario evaporada.

Ahora es posible distribuir una mayor cantidad de bario sobre todo el cátodo de wolframio, calentándolo. También aquí se comienza con una tensión de calentamiento catódica muy baja. Puede observarse entonces cómo los átomos de bario se desplazan cada vez más sobre la parte no cubierta de la semiesfera. Generalmente las partes oscuras de la imagen de wolframio permanecen también completamente oscuras durante esta migración, ya que provienen de lugares no ocupados por los átomos de bario. Por el contrario, el bario se sitúa preferentemente, como se describe en el experimento de arriba, como un granulado fluctuante sobre las partes claras de la imagen.