

# Bandgenerator

## Van de Graaf Generator

### Générateur à ruban

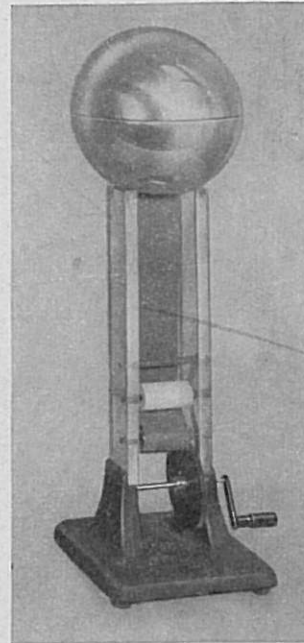


Fig. 1

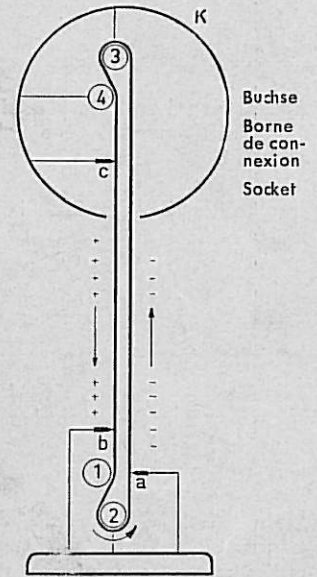


Fig. 2

#### 1. Beschreibung

Der Bandgenerator ist ein von van de Graaf entwickelter elektrostatischer Hochspannungsgenerator. Das Gerät arbeitet nach dem Prinzip der Selbst-erregung und liefert im Leerlauf eine Gleichspannung von 120 000 bis 140 000 Volt. Die Ladungen sind mit etwa  $10^{-6}$  Coulomb so gering, daß der Generator ohne Gefahr berührt werden kann. Bei Kurzschluß liefert er einen Strom von ca.  $10 \mu\text{A}$ .

Der Bandgenerator besteht aus einer Metallhohlkugel von 18 cm Durchmesser, die auf zwei etwa 30 cm hohen Plexiglas-Isolatoren steht. Die Plexiglassäulen sind unten in einem kräftigen Metallfuß befestigt. Die Metallkugel hat in ihrem unteren Teil eine Öffnung, in die ein 5 cm breites endloses Gummiband hineinführt. Das Band läuft über eine Kunststoffwalze und drei Metallwalzen, deren unterste mittels einer Zahnradübersetzung von einer Handkurbel angetrieben werden kann. Einige Metallschneiden die-

#### 1. Description

The apparatus described below is an electrostatic high-tension generator developed by van de Graaf. It operates on the principle of self-excitation, and when running idle it produces a D. C. voltage of 120,000 to 140,000 volts. At approximately  $10^{-6}$  Coulomb, the loads are so small that the generator can be touched without involving any risk. When short-circuited, it produces a current of approximately  $10 \mu\text{A}$ .

The van de Graaf generator consists of a hollow metal sphere 18 cm in diameter, mounted on two plexiglass insulators which are about 30 cm high. The plexiglass mountings are fitted in a sturdy metal base. A hole is bored in the bottom of the metal sphere through which a 5 cm wide, endless rubber band is passed. The band runs over a plastics roller and three metal rollers. The bottom metal roller can be operated by means of a gear transmission turned with a crank. Several metal shearings are used to

#### 1. Description

Cette machine électrostatique, conçue par van de Graaf, sert à produire de la haute tension. Notre générateur à ruban repose sur le principe de la self-excitation et fournit en marche à vide une tension continue de 120.000 à 140.000 volts. Les charges sont, avec environ  $10^{-6}$  coulomb, si faibles que le générateur peut être touché sans danger. En court-circuit, il fournit un courant d'environ  $10 \mu\text{A}$ .

L'appareil se compose d'une sphère creuse en métal d'environ 18 cm de diamètre reposant sur deux isolateurs en plexiglas d'environ 30 cm de haut. Ces colonnes en matière plastique sont fixées à leur base dans un robuste pied en métal. La sphère porte à sa partie inférieure une ouverture, par laquelle pénètre un ruban sans fin en caoutchouc de 5 cm de large. Ce ruban passe sur quatre rouleaux, un en matière plastique et trois en métal; le rouleau inférieur, en métal, est entraîné par un système à en-

#### Anmerkungen

1. Die in Klammern gesetzten fünfstelligen Zahlen geben die Katalog-Nummern der betreffenden Geräte an.
2. Die Angaben: DK . . . beziehen sich auf die Versuchsbeschreibungen in „LEYBOLD PHYSIKALISCHE HANDBLÄTTER“.
3. Die Angaben und Abbildungen sind für die Ausführung der Geräte nicht in allen Einzelheiten verbindlich. Wir sind bestrebt, unsere Fertigung stets den neuesten wissenschaftlichen und technischen Erkenntnissen anzupassen.

#### Notes

1. The five-figure numbers quoted in brackets refer to the catalogue numbers of the respective apparatus.
2. The data DC . . . refer to the experiment descriptions published as a collection of leaflets in the "LEYBOLD PHYSIKALISCHE HANDBLÄTTER".
3. The data and illustrations are not binding in every detail for the design of the apparatuses. It is our sole aim always to adapt our manufacturing programme to the most recent knowledge gained in all scientific and technical fields.

#### Remarques

1. Les numéros à 5 chiffres entre parenthèses sont les numéros de catalogue des dits appareils.
2. Les lettres DK . . . se rapportent aux descriptions des expériences publiées dans la collection « LEYBOLD PHYSIKALISCHE HANDBLÄTTER » (FICHES D'EXPERIENCES).
3. Les indications et reproductions sont données sans engagement de notre part vu que nous nous efforçons de perfectionner nos appareils en faisant profiler notre production des plus récentes connaissances scientifiques et techniques.

nen zur geeigneten Bandbelastung. Die große Kugelelektrode des Generators ist aus zwei Hälften gefertigt, von denen die obere zur Erklärung des Gerätes und zum Auswechseln des Bandes abnehmbar ist.

An der Kugel und am Fuß ist je eine 4-mm-Buchse zur Spannungsabnahme vorhanden. Es ist empfehlenswert, die untere Buchse und damit Fuß und Handkurbel mit der Erde leitend zu verbinden.

## 2. Wirkungsweise und Schaltung (Bild 2)

Das Gummiband lädt sich durch Reibung an der Erregerwalze (1) aus Kunststoff im allgemeinen negativ auf und transportiert diese Ladung ins Innere der Kugel (K), wo sie von den Metallrollen (3) und (4) vollständig abgenommen und der Kugeloberfläche zugeführt wird. Beim Drehen der Handkurbel erhöht sich die Kugeladung ständig weiter bis zu einem durch Ableitungs- und Sprühverluste gegebenen Grenzwert. Gelegentlich, besonders bei hoher Luftfeuchtigkeit, können sich Band und Kugel auch positiv aufladen.

Der Aufladevorgang wird durch 3 geeignet angebrachte, mit ihren scharfen Kanten auf das Gummiband zu gerichtete Schneiden a, b, c durch Influenzwirkung beschleunigt. Die positive Walze (1) influenziert in der Schneide a negative Ladung, die durch Absprühen die Bandladung erhöht. Auf den Schneiden b und c wird durch das herauslaufende negative Band positive Ladung influenziert, die auf das herunterlaufende Band gesprüht wird, wodurch sich die negative Aufladung der Kugel sowie die positive Ladung der Erregerwalze weiter erhöht.

Zur Beschleunigung des Aufladevorgangs und Vergrößerung des entnehmbaren Stromes ist eine große Beladungsdichte des Gummibandes erforderlich, die durch das von den Umlenksrollen (1) und (4) bewirkte dichte Nebeneinanderlaufen der beiden Bandhälften erzielt wird.

## 3. Inbetriebnahme

In trockener Luft läuft der Bandgenerator bei gleichmäßiger Drehung der Handkurbel meist sofort an, wobei sich ein stärkerer Drehwiderstand als Folge vergrößerter Reibung durch die elektrostatische Anziehung der beiden Bandhälften bemerkbar macht.

Um ein sicheres Anlaufen des Generators zu erzielen, ist es empfehlens-

give the band the required load. The large sparking ball of the generator consists of two sections. The top section can be removed to give an explanation of the apparatus and to exchange the band.

Two 4 mm sockets for taking off voltage are fitted, one on the ball and the other on the base. It is commendable to earth the lower socket, base and crank.

## 2. Operation and Circuit (Fig. 2)

The rubber band generally takes on a negative charge as the result of rubbing against the plastics exciter roller (1). It transports this charge to the interior of the ball (K) where it is completely taken up by the metal rollers (3 and 4), and fed to the surface of the ball. On turning the crank, the ball charge continues to increase until a limit value is reached determined by losses due to leakage and brush-discharge. Occasionally the band and ball may also take on a positive charge, particularly at high relative humidity.

The charging process is accelerated by means of induction effected by locating at suitable points 3 shearings (a, b and c) with their sharp edges facing the rubber band. The positive roller (1) induces a negative charge in the shearing (a), which increases the band charge as a result of brush-discharge. A positive charge is induced on shearings b and c by the upward-running negative band. This charge is brush-discharged on the downward-running band. Consequently the negative charging of the ball and the positive charge of the exciter roller are further increased.

To accelerate the charging process and to increase the current take-off, a large charging density of the rubber band is needed. This is obtained by making the two sections of the band run close to each other between the two guide rollers (1 and 4).

## 3. Starting up

Provided the air is dry, the modified van de Graaf generator mostly starts up immediately when the crank is rotated uniformly. Greater resistance to rotation is felt as the result of increased friction caused by the electrostatic attraction of the two sections of the band.

To make sure that the generator will start to operate, it is advisable to

grenage, actionné à l'aide d'une manivelle. Des peignes métalliques servent au chargement convenable du ruban. La grosse électrode sphérique se compose de deux hémisphères dont l'une, l'hémisphère supérieur, peut être enlevé pour expliquer le fonctionnement de la machine et changer le ruban.

Deux bornes creuses de 4 mm, dont l'une se trouve sur la sphère et l'autre au pied de l'appareil, servent à prendre la tension. Il est recommandé de mettre la borne inférieure à la terre, c.-à-d. le pied de l'appareil et la manivelle.

## 2. Fonctionnement et connexion (Fig. 2)

Le ruban de caoutchouc se charge, par frottement sur le rouleau d'excitation (1) en matière plastique — charge qui est en général négative — et transporte cette charge à l'intérieur de la sphère (K), où elle est totalement captée par les rouleaux (3) et (4) en métal et conduite à la surface de la sphère. La charge de la sphère s'élève, si l'on continue à tourner la manivelle, jusqu'à une valeur limitée par les pertes par dérivation et par effluves. Le ruban et la sphère peuvent aussi parfois — surtout par humidité — se charger positivement.

Le processus de chargement est accéléré, par influence, à l'aide des 3 peignes a, b et c tournés convenablement vers le ruban. Le rouleau positif (1) charge, par influence, le peigne « a » d'électricité négative qui, par effluve, élève à son tour la charge du ruban. Les peignes b et c sont chargés, par influence, d'électricité positive par le ruban chargé négativement dans son ascension; cette charge est retransmise au ruban par effluves durant sa descente, grâce à quoi la charge négative de la sphère et la charge positive du rouleau d'excitation continuent à s'élever.

Pour accélérer le chargement et accroître le courant utilisable, il est nécessaire d'avoir une grande densité de charge du ruban de caoutchouc. Celle-ci est obtenue grâce aux rouleaux (1) et (4) qui, en pressant le ruban, font passer ses deux moitiés l'une très près de l'autre.

## 3. Emploi

Dans une atmosphère sèche le générateur à ruban se charge la plupart du temps dès qu'on tourne avec régularité la manivelle. On a bientôt à vaincre une certaine résistance, par suite d'un frottement accru, causé par l'attraction électrostatique des deux moitiés du ruban.

On fera bien, pour obtenir une mise en route certaine du générateur, de

wert, die um ihre Befestigungspunkte drehbare Schneide b schräg und nach oben zu richten. Nur zur Erzielung einer möglichst hohen Spannung wird diese Schneide schräg abwärts gerichtet, weil dann der Übergang eines Entladungsfunkens längs des Bandes von der Kugel zur Erde erschwert wird.

Sollte der Bandgenerator nicht sofort anspringen oder nur geringe Spannung geben, so hilft folgender Kunstgriff: Man berührt mit trockener Hand während des Drehens die Erregerwalze (1) leicht und lädt sie dadurch auf. Man kann statt dessen auch das Gummiband mit einem trockenen Tuch leicht gegen die Schneide b drücken.

Liefert der Generator auch dann keine Spannung, so sind wahrscheinlich Gummiband oder Plexiglasisolatoren nicht vollständig trocken, beispielsweise bei feuchter Witterung oder nach dem Transport des Generators aus einem kalten Sammlungsraum in den warmen Unterrichtsraum. Erwärmen des Gerätes mit Heizung oder Föhn beseitigt die Feuchtigkeit in jedem Fall.

Der Generator kann statt mit der Hand auch mit dem Experimentier-Motor (347 25 a) angetrieben werden. Zu diesem Zweck löst man die vorn an der Handkurbel sitzende Mutter und schraubt an ihre Stelle die elastische Kupplung (541 75), deren anderes Ende in die auf geeignete Höhe gebrachte Klemmzange des Experimentier-Motors eingespannt wird.

#### 4. Wartung

Hochspannungskugel, Gummiband und Plexiglas-Isolatoren müssen gut sauber gehalten werden, da sonst die erzielbare Spannung stark absinkt. Das Band kann evtl. mit (wasserfreiem) Azeton gewaschen werden; bepudern ist schädlich.

Nach langdauerndem Betrieb kann ein Wenden des Bandes unter Vertauschung von Außen- und Innenseite empfehlenswert sein. Hierfür wird Walze (2) oder (3) nach Lösen der Gegenmuttern vorübergehend herausgenommen. Im Bedarfsfalle werden auch Ersatzbänder geliefert.

Die Walzen (2) und (3) sind in der Mitte etwas dicker als am Rande, um ein Geradelaufen des Bandes zu bewirken. Sollte trotzdem nach längerem Betrieb oder nach dem Auswechseln das Band von den Walzen ablaufen, so ist eine Neuzentrierung der Walzenachsen möglich, da die Walzen (1), (2) und (3) auf kurzen Stiften lau-

adjust the shearing (b) so that it is set at an angle and pointing upwards. This shearing can be made to rotate around its point of location. It is only when a very high voltage is required that the shearing should be directed downwards at an angle because then the conductance of a disruption spark along the band from the ball to earth is made difficult.

If the generator does not start up at once or only supplies low voltage, this condition can be remedied as follows: During rotation gently touch the exciter roller (1) with the dry hand. As a result the exciter roller is charged. Another method is to slightly press the rubber band with a dry cloth against the shearing (b).

If the generator still fails to supply voltage, then the rubber band or the plexiglass insulators are in all probability not completely dry. This is often the case in wet weather or after the generator has been carried from a cold storage room into the warm lecture room. The moisture can be removed by warming the apparatus with some form of heater (radiator or hot-air blower).

Instead of being operated by hand, the generator can also be driven by means of the rotator (Cat. No. 347 25 a). For this purpose, remove the nut on the crank, and screw on in its place the flexible coupling (Cat. No. 541 75). The other end of the coupling should be clamped in the gripper socket of the rotator, set at the right height.

#### 4. Maintenance

The high-tension ball, the rubber band and the plexiglass insulators must be kept perfectly clean otherwise the obtainable voltage will drop considerably. The band may be cleaned with acetone (free from water); powdering is harmful.

After a long period of operation, it may prove advisable to change the band round so that the under surface is facing upwards. To do this, loosen the lock nuts, and temporarily remove either roller (2) or roller (3). Spare bands are also supplied when needed.

The rollers (2) and (3) are somewhat thicker in the centre than at the edges to ensure that the band runs straight. However, if the band runs off the rollers after a long period of service or following an exchange of the band, then the roller axles can be re-centred because rollers (1), (2) and (3) run on short pins which are located

tourner le peigne b obliquement vers le haut. C'est seulement si l'on veut avoir une tension maxima qu'on tournera ce peigne obliquement vers le bas, ce qui rend ainsi plus difficile le passage d'une étincelle de décharge disruptive le long du ruban et allant de la boule vers la terre.

Si le générateur ne fournissait immédiatement du courant ou seulement une faible tension, on recourrait à l'expédient suivant: tout en tournant, on touche légèrement avec la main, bien sèche, le rouleau d'excitation (1), qui ainsi se charge. Au lieu de cela, on peut aussi, à l'aide d'un chiffon sec, presser légèrement le ruban de caoutchouc sur le peigne b.

Si malgré cela le générateur ne donne aucune tension, c'est que le ruban ou les isolateurs en plexiglas ne sont pas absolument secs, ce qui peut arriver par temps humide ou après avoir transporté l'appareil de la salle froide, où il est remis, dans la salle de cours chauffée. On peut toujours éliminer l'humidité en réchauffant le générateur avec un séchoir ou un radiateur électriques.

Le générateur peut être actionné à la main ou au moteur (moteur d'expériences 347 25 a). En ce dernier cas, on enlève l'écrou de fixation de la manivelle et visse à sa place une extrémité de l'accouplement souple (541 75), tandis que l'autre extrémité est raccordée au nez extensible de l'axe de la transmission dudit moteur d'expériences, installé à hauteur convenable.

#### 4. Entretien

Sphère, ruban et isolateurs en plexiglas doivent être maintenus en état de parfaite propreté, sinon on n'obtient qu'une tension très affaiblie. Le ruban peut être éventuellement nettoyé à l'acétone (exempt d'eau), mais on risquerait de l'endommager en le poudrant.

Après un usage prolongé, on fera bien de retourner le ruban, en faisant passer la face intérieure à l'extérieur. Pour effectuer cette opération, on sortira les rouleaux (2) ou (3), après avoir enlevé les écrous de fixation. Nous pouvons au besoin fournir des rubans de rechange.

Les rouleaux (2) et (3) sont légèrement bombés au milieu, obligeant ainsi le ruban à circuler parfaitement au centre et en ligne droite. Si malgré cela un ruban neuf ou fortement usagé venait à se déporter, on pourrait l'amener ou le ramener à sa place convenable en modifiant le centrage des axes des rouleaux (1), (2) et (3),

fen, die exzentrisch an den Befestigungszapfen ansitzen. Nach Lockern der Gegenmutter kann mit einem Schraubenzieher die Walzenlage geändert werden. Nach einigem Probieren findet man die richtige Lage und zieht dann die Gegenmutter wieder fest.

## 5. Versuche

Elektrisches Feld um eine Kugel  
DK 537.211;

Elektrische Niveaulinien um eine Kugel  
DK 537.213;

Anziehung einer Ladung von einer geerdeten Kugel (Bildkraft)  
DK 537.217;b

Änderung der Bildkraft im elektrischen Feld einer Kugel DK 537.217;c

Messung der Elektrizitätsmenge einer geladenen Kugel DK 537.214;

Außer diesen Versuchen dient der Bandgenerator als Hilfsgerät für die meisten elektrostatischen Versuchsanordnungen sowie für:

Aufladung von Hochspannungskondensatoren (538 82) und Leidener Flaschen (544 02)

Spannungsquelle für die meisten Versuche mit dem Wulf-Elektroskop (546 01 a)

Betrieb von Entladungsröhren und kleinen Röntgenröhren

Spannungsquelle für das Feldelektronen-Mikroskop (554 60).

Die Arbeitsweise des Bandgenerators ist aus dem Gleitfunken längs des Bandes sowie den Sprüh- und Leuchterscheinungen in vollständig dunklem Zimmer gut zu demonstrieren.

eccentrically on the mounting pivots. After loosening the lock nuts, the position of the rollers can be adjusted by means of a screwdriver. The correct position will be found after a few trials, and then the lock nuts must be tightened up again.

## 5. Experiments

Electric field around a sphere  
DC 537.211

Electric potential lines around a sphere DC 537.213

Attraction of a charge by an earthed sphere (Image force) DC 537.217;b

Adjustment of image force in the electric field of a sphere DC 537.217;c

Measuring the amount of electricity in a charged sphere DC 537.214

In addition to these experiments, the van de Graaf generator may be used as an auxiliary apparatus in most experiments on electrostatics, e. g.

Charging of high-tension condensers (538 82) and Leyden jars (544 02)

Source of voltage for most of the experiments carried out with Wulf's electroscope (546 01 a)

Operation of discharge tubes and small X-ray tubes

Source of tension for the field emission electron microscope (554 60).

The way in which the van de Graaf generator operates can be demonstrated extremely well from the creepage sparks along the band, and with the aid of the luminous and brush-discharge phenomena visible in a completely blacked-out room.

qui reposent sur des excentriques. Il suffit pour cela de desserrer les contre-écrous et de modifier ensuite à l'aide d'un tournevis la position du rouleau. Après quelques essais, on trouve sans peine la position convenable du rouleau et resserre pour finir les contre-écrous.

## 5. Expériences

Champ électrique autour d'une sphère  
CD 537.211;

Lignes électriques équipotentielles autour d'une sphère CD 537.213;

Attraction d'une charge par une sphère mise à la terre (Force d'image)  
CD 537.217;b

Modification de la force d'image dans le champ électrique d'une sphère  
CD 537.217;c

Mesure de la quantité d'électricité d'une sphère chargée CD 537.214;

Hormis ces expériences, le générateur à ruban sert d'appareil auxiliaire pour la plupart des montages d'expériences d'électrostatique ainsi que pour:

Chargement de condensateurs à haute tension (538 82) et de bouteilles de Leyde (544 02)

Source de tension pour la plupart des expériences avec l'électroscope de Wulf (546 01 a)

Alimentation de tubes à décharge dans les gaz et de petits tubes à rayons X.

Source de tension pour le microscope à émission froide (554 60).

Le fonctionnement du générateur à ruban peut être démontré dans une salle parfaitement obscure, en observant les étincelles se produisant le long du ruban, les phénomènes d'effluve et les phénomènes lumineux.