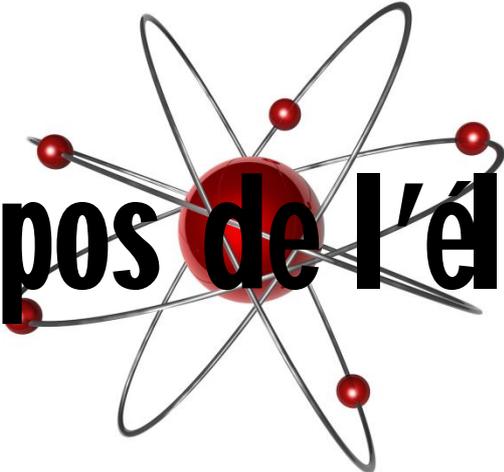




19èmes Olympiades de Physique



A propos de l'électron

Lycée Saint-Jacques Hazebrouck

Jourdin Adrien

Jourdin Arthur

Minet Florian

Vanderlynden Ludovic

Introduction

Nous sommes 4 élèves de Terminale S du Lycée Saint-Jacques d'Hazebrouck.

Nous aimons depuis longtemps la physique-chimie et nous avons la possibilité, grâce au Lycée, de pouvoir participer aux Olympiades de la Physique.

Depuis que notre enseignant nous en a parlé en seconde, nous voulions essayer de participer au concours.

Peu importe s'il a fallu venir le mercredi après-midi et même le samedi parfois (!), du moment que nous pouvions faire de la physique, et se mettre dans la peau des chercheurs.

En se partageant le travail, nous avons travaillé, essayé, élaboré des hypothèses, fait des mesures, lu de la bibliographie, couru dans les couloirs des labos, et nous souhaitons vous faire part de nos résultats.

Nous sommes conscients que le sujet ne semble pas très original, puisque les données sur l'électron sont connues.

Néanmoins, dans nos programmes actuels de physique, on nous présente les valeurs élémentaires de cette particule de manière magistrale, comme si cela était évident !

Arthur, est un jour intervenu en classe pour demander : « Monsieur, **comment a-t-on fait pour déterminer la masse et la charge de l'électron ?** »

La réponse fut simple : « Et si on essayait de se mettre à la place de Thomson et Millikan ? »

Nous nous sommes donc penchés sur le sujet pour savoir quelles ont été les intuitions des physiciens, connaître leurs méthodes de mesures, et savoir si nous pouvions les reproduire !

La dimension historique n'est pas négligeable dans l'enseignement des Sciences et nous espérons que ce petit retour en arrière vous plaira.

Remerciements

Nous voulons remercier :

- Monsieur Thibaut, notre professeur, qui participe aux Olympiades depuis quelques années, et sans qui cela n'aurait pu nous arriver,
- Nos parents, qui nous permettent de passer notre temps dans les Laboratoires de Physique Chimie du Lycée,
- Monsieur Dourlens, de l'Université Catholique de Lille, qui nous a prêté le matériel pour l'expérience de Millikan, qui a lu notre rapport et qui nous a suivis tout au long de ce travail,
- Les professeurs du Lycée des Flandres, qui nous ont prêté également le matériel de l'expérience de déflexion électrique,
- Monsieur Rousseau, le préparateur, qui a remis en état de conformité les matériels utilisés,
- Enfin, vous, membres du jury, qui allez nous évaluer pour nous faire progresser.

Sommaire :

Introduction	Page 2
Remerciements	Page 3
Un peu d'Histoire	Page 5
1^{er} Calcul de e/m : Thomson	
1-Expérience	Page 7
2-Calcul	Page 9
3-Résultats	Page 10
Calcul de e : Millikan	
1-Expérience	Page 12
2-Calcul	Page 13
3-Résultats	Page 15
2^{ème} Calcul de e/m : Thomson	
1-Expérience	Page 19
2-Calcul	Page 20
3-Résultats	Page 21
Application	Page 22
Conclusion	Page 23

Un peu d'Histoire

Sources : wikipédia, *Histoires de Physique et de Chimie (CRDP Rouen)*,

Les anciens Grecs avaient déjà remarqué que l'ambre attire les petits objets quand elle est frottée avec de la fourrure ; en dehors de la foudre, ce phénomène est la plus ancienne expérience de l'humanité notée en rapport avec l'électricité.

Dans son traité de 1600 « De Magnete », le médecin anglais William Gilbert forge le mot latin *electricus*, pour désigner cette propriété d'attirer les petits objets après frottement. Les mots « électrique » et « électricité » sont dérivés du latin *electrum*, dérivé à son tour du mot grec *λεκτρον* (électron) pour ambre.

C'est en 1874 que l'Irlandais Stoney avance l'hypothèse d'une *charge électrique élémentaire* portée par les ions monovalents, charge qu'il nommera électron en 1891, en vue d'interpréter les lois sur l'électrolyse de Faraday. Il en calcule même une valeur très approximative (l'erreur était d'un facteur 20, due à une mauvaise approximation du nombre d'Avogadro).

A peu près à la même époque, à la suite des travaux de Geissler sur la fabrication de tubes contenant des gaz à basse pression (il atteint le dix-millième de la pression atmosphérique en 1857) dont la première observation des rayons cathodiques a été faite par l'Allemand Plücker en 1858, Plücker et son collègue Hittorf étudient les charges électriques dans les gaz raréfiés.

En 1869, Hittorf découvre une lueur émise par la cathode, dont la taille croît quand la pression du gaz diminue. Il montre même que ces rayons invisibles sont déviés par un champ magnétique.

En 1876, le physicien allemand Eugen Goldstein montre que les rayons de cette lueur provoquent une ombre, et il les appelle *rayons cathodiques*.

Pendant les années 1870, le chimiste et physicien anglais Sir William Crookes met au point le premier tube à rayons cathodiques avec un vide poussé à l'intérieur. Puis il montre que les rayons luminescents apparaissant dans le tube transmettent de l'énergie, et se déplacent de la cathode vers l'anode. De plus, en appliquant un champ magnétique, il est capable de défléchir les rayons, montrant par-là que le faisceau se comporte comme s'il est chargé négativement. En 1879, il propose que ces propriétés soient expliquées par ce qu'il appelle « matière radiante ». Il suggère que c'est un quatrième état de la matière, consistant en molécules chargées négativement, projetées à grande vitesse de la cathode ce qui constitue alors une interprétation erronée du phénomène.

Le physicien britannique Arthur Schuster développa les expériences de Crookes en disposant des plaques de métal parallèlement aux rayons cathodiques, et en appliquant une différence de potentiel électrique entre les plaques. Le champ électrique défléchit les rayons vers la plaque chargée positivement, ce qui renforce la preuve que les rayons portent une charge négative. En mesurant la déflexion selon la différence de potentiel, Schuster est capable en 1890 de mesurer le rapport masse sur charge des composantes des rayons. Cependant, ceci donna une valeur plus de mille fois plus faible que la valeur attendue, si bien que l'on n'accorda que peu de confiance à son calcul à l'époque.

En 1896-1897, le physicien britannique J. J. Thomson, et ses collègues John S. Townsend et H. A. Wilson réalisent des expériences indiquant que les rayons cathodiques sont effectivement des particules individualisées. Thomson fait de bonnes estimations à la fois de la charge e et de la masse m , trouvant que les particules des rayons cathodiques, qu'il appelle « corpuscules », ont environ un millième de la masse de l'ion le plus léger connu alors : l'ion hydrogène. Il montre que le rapport charge sur masse e/m est indépendant de la matière de la cathode. La charge de ces particules est donc bien *élémentaire*. Elle sera mesurée approximativement par Wilson en 1904.



J.J Thomson

La charge de l'électron est mesurée de façon plus précise par le physicien américain Robert Millikan par son expérience sur la goutte d'huile de 1909, dont il publie les résultats en 1911. Cette expérience utilise un champ électrique pour empêcher une goutte d'huile chargée de tomber sous l'action de la pesanteur. Ce système pouvait mesurer la charge électrique depuis quelques ions jusqu'à 150, avec une marge d'erreur de moins de 0,3%. Des expériences comparables avaient été faites plus tôt par le groupe de Thomson, en utilisant des brouillards de gouttelettes d'eau chargées par électrolyse. Cependant, les gouttes d'huile étaient plus stables que les gouttes d'eau à cause de leur évaporation plus lente, et elles se prêtaient mieux à des expériences de longue durée.



Millikan

Les mesures récentes donnent pour l'électron :

$$q = -1,60217733 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

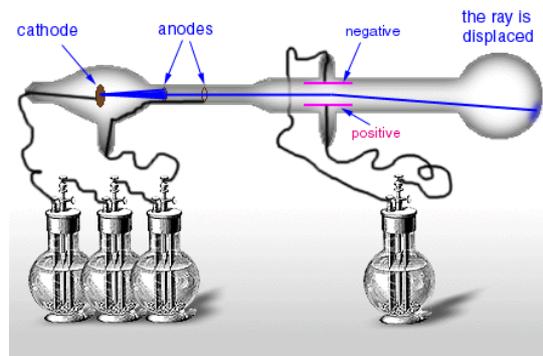
$$m = 9,1093897 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

d'après « Histoires de Physique et de Chimie, CRDP Rouen »

Mesure de e/m (J THOMSON)

Introduction

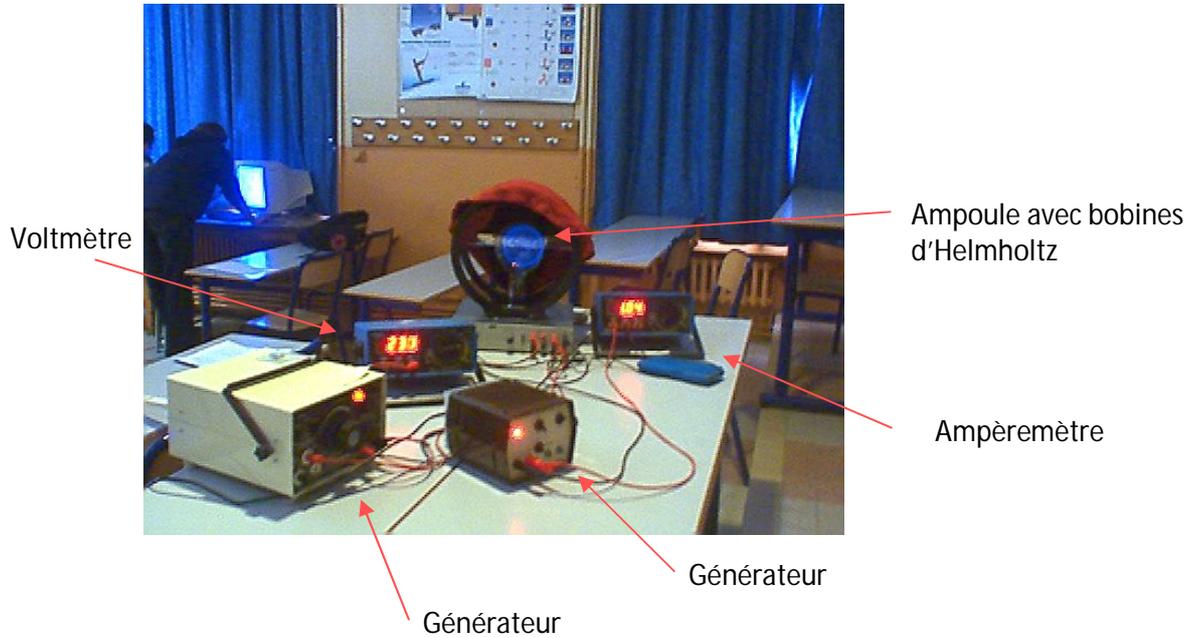
J.J Thomson mesure la valeur de ce rapport en 1897 en utilisant un dispositif fait à la main : un tube en verre d'une longueur de 1 mètre contenant un gaz sous faible pression dans lequel on peut créer un faisceau d'électrons. Des plaques déflectrices pouvaient dévier le faisceau et un système de bobines étaient adjointes de part et d'autre du tube de manière à créer un champ magnétique. J.J Thomson utilisa ce dispositif pour calculer e/m .



Il s'avère que nous ne disposons pas de ce dispositif pour calculer e/m . Mais au lycée, nous disposons d'un dispositif presque similaire qui permet de recalculer e/m . C'est ce que nous nous proposons d'essayer.

1-Expérience

Cette expérience consiste à dévier un faisceau d'électrons dans un champ magnétique grâce à des bobines d'Helmholtz. Les électrons sont créés par un canon à électrons se trouvant dans une ampoule de verre contenant un peu de gaz sous faible pression ce qui nous permet d'observer la trajectoire des électrons. Autour de cette ampoule se trouvent deux bobines d'Helmholtz qui créent un champ magnétique. Le faisceau d'électrons forme alors un cercle à cause du champ magnétique perpendiculaire au vecteur vitesse des particules. On utilise un premier générateur pour chauffer le filament du canon à électrons et on attend environ 2min pour laisser le filament chauffer avant de commencer l'expérience. En faisant varier la tension entre cathode et anode à partir du générateur, on va faire varier la vitesse d'émission des électrons. Un deuxième générateur permet d'injecter un courant d'intensité variable (mesuré par un ampèremètre branché en série) dans les bobines d'Helmholtz. On peut alors faire varier le champ magnétique proportionnellement à I (En effet, le dispositif utilisé donne $B=7,8 \cdot 10^{-4} \times I$). On peut donc faire varier la vitesse des électrons en faisant varier la tension du canon (mesuré par un voltmètre branché en dérivation) et le champ magnétique. En faisant varier ces deux facteurs, le rayon du cercle varie.



Expérience : mesure de e/m

On mesure le rayon de la trajectoire des électrons grâce à un miroir antiparallaxe gradué (sous forme de réglet) placé derrière l'ampoule. (Un miroir est antiparallaxe quand il ignore les différences de taille quelle que soit la distance entre l'œil et le miroir, ainsi l'image du cercle d'électron ne change pas suivant la distance à laquelle on le regarde).

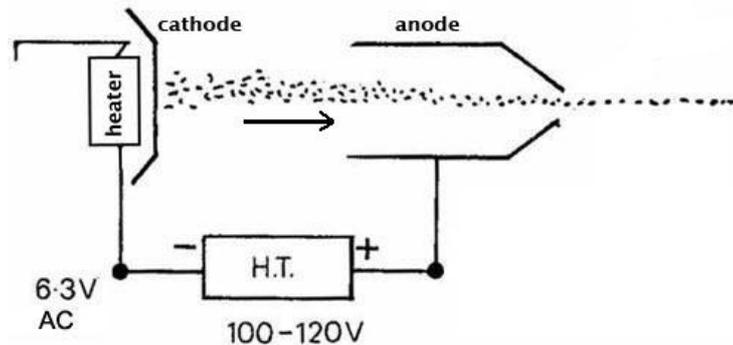
Nous avons alors 3 variables :

- ✓ le champ magnétique B (en Tesla), lié à l'intensité du courant dans les bobines,
- ✓ la tension du canon à électron U (en Volt) liée à la vitesse des électrons,
- ✓ le rayon du cercle R (en cm).

A partir de ces 3 variables, on espère trouver le rapport e/m , rapport entre la charge élémentaire de l'électron : e (en Coulomb) et la masse de l'électron : m (en kg)

2-Calcul théorique:

Emission du faisceau

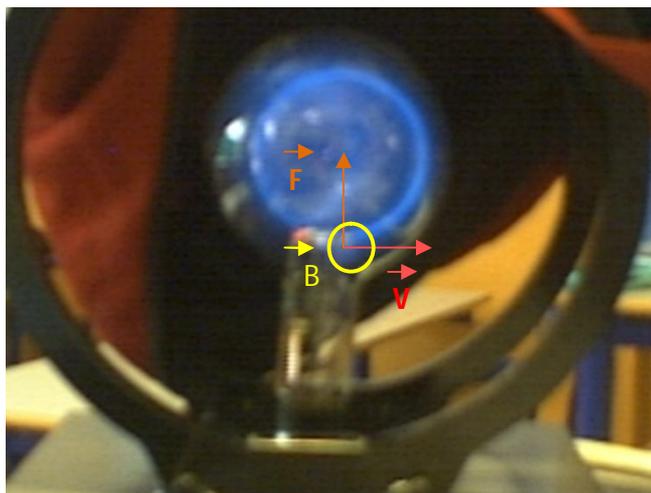


La cathode est une plaque métallique qui est préalablement chauffée. Les électrons libres du métal sont alors susceptibles d'être éjectés. Accélérés par une tension suffisamment haute, il s'ensuit l'apparition d'un faisceau qui peut être focalisé.

La tension accélératrice permet de communiquer de l'énergie cinétique au faisceau d'électrons. En effet, entre les bornes accélératrices de l'ampoule, la différence de potentiel appliquée permet l'existence d'un champ électrique supposé uniforme. L'action de la force électrique $\mathbf{F} = q \mathbf{E}$ (en norme) permet ainsi de faire varier la vitesse des électrons.

Par convention, on notera e la charge élémentaire de valeur positive. On aura tenu compte dans les calculs du signe de cette charge dans les conditions de l'expérience.

En effet, le théorème de l'énergie cinétique permet d'écrire dans la zone d'accélération que :

$$\frac{1}{2} mv^2 = eU$$


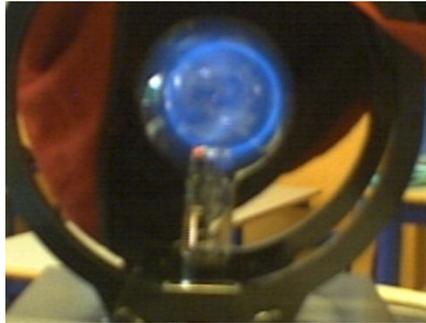
Par ailleurs lorsque le faisceau pénètre dans le champ magnétique, il sera soumis à la force de Lorentz que l'on peut écrire si on s'arrange pour que les vecteurs vitesse et champ soient bien orthogonaux (et en négligeant la composante du champ terrestre) : $\mathbf{F} = e\mathbf{v}\mathbf{B}$ (en norme).

Associée à la seconde loi de Newton appliquée à un mouvement circulaire uniforme et en négligeant le poids des électrons, on écrit que $F = mv^2/R$ où R est le rayon de la trajectoire.

Il vient donc après simplifications : $e/m = v/BR$ et en s'affranchissant de la vitesse,

$$e/m = 2U/B^2R^2$$

La valeur communément admise actuellement est de : $e/m=1,758819 \times 10^{11}$ C/kg



3-Résultats

Il nous reste maintenant à prendre les mesures des rayons afin de trouver e/m .

Les premières mesures s'avèrent déconcertantes car nous ne pensions pas qu'elles allaient être si différentes. Nous avons donc essayé à maintes reprises de les reprendre, en essayant de s'appliquer à la lecture du rayon de manière précise, de bien travailler dans le noir, et en essayant de minimiser au maximum le champ terrestre.

Les résultats étaient quand même difficilement reproductibles.

Nous avons donc opté après réflexion, pour une étude sur un grand nombre de mesures, en faisant varier soit le champ magnétique, soit la tension accélératrice.

Au bout d'une journée de mesures, nous avons 100 valeurs de Rayons.

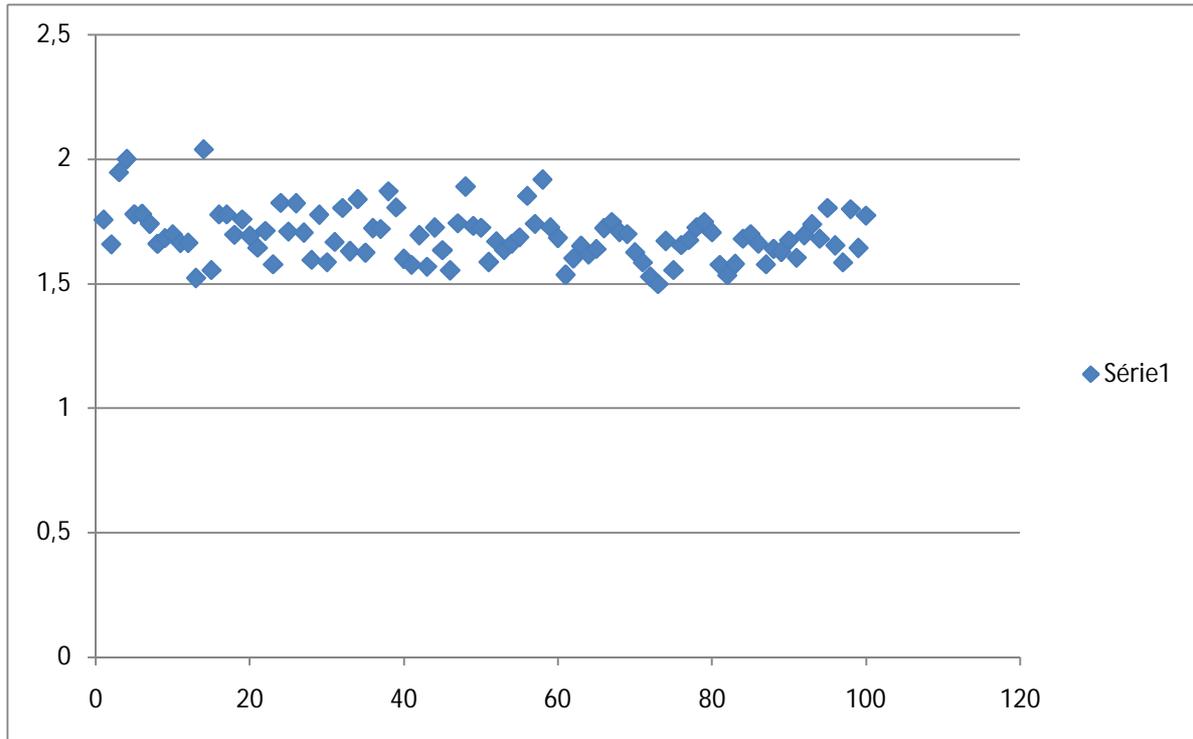
Nous avons fait plusieurs mesures en faisant varier U et I et nous avons rangé les résultats du calcul de e/m dans le tableau suivant (en 10^{11} C/kg) :

I \ U	245 V	240 V	235 V	230 V	225 V	220 V	215 V	210 V	205 V	200 V
1,50 A	1,7562	1,6571	1,9463	1,9995	1,7778	1,7795	1,7395	1,6593	1,6817	1,6966
1,45 A	1,6626	1,6631	1,5217	2,0386	1,5535	1,7767	1,7764	1,6959	1,7576	1,6912
1,40 A	1,6436	1,7112	1,5765	1,8235	1,7083	1,8221	1,7041	1,5944	1,7759	1,5852
1,35 A	1,6661	1,8029	1,6296	1,8387	1,6235	1,7223	1,7187	1,8705	1,8051	1,5988
1,30 A	1,5754	1,6937	1,5675	1,7245	1,6335	1,5525	1,7418	1,8891	1,7307	1,7242
1,25 A	1,5864	1,6691	1,6344	1,6594	1,6852	1,8514	1,7396	1,9175	1,7251	1,6831
1,20 A	1,5345	1,6009	1,6511	1,6165	1,6378	1,7223	1,7472	1,7066	1,6979	1,6253
1,15 A	1,5842	1,5272	1,4976	1,6705	1,5535	1,6539	1,6741	1,7255	1,7474	1,7048
1,10 A	1,5754	1,5326	1,5787	1,6792	1,6979	1,6602	1,5763	1,6389	1,6274	1,6723
1,05 A	1,6033	1,6937	1,7377	1,6792	1,8029	1,6527	1,5843	1,7987	1,6426	1,7727

En faisant la moyenne de tous ces résultats, nous obtenons : $e/m = 1,6920 \times 10^{11} \text{ C/kg}$.

Nous nous sommes demandés comment interpréter ce grand nombre de valeurs de type statistique. Le nuage de points représentés ci-après montre un résultat plus qu'acceptable.

Statistiquement, la valeur théorique se situe dans un domaine [moyenne des valeurs - 2σ ; moyenne des valeurs + 2σ] où σ est l'écart-type qui vaut ici $0,0511 \text{ C/kg}$.



Disposition des valeurs de e/m calculées après expérience

La valeur théorique se situe bien dans notre domaine statistique ce qui veut dire que nous avons un panel de valeurs suffisamment grand pour accepter notre valeur moyenne. Néanmoins, les conditions de l'expérience nous contraignent à prendre une valeur de :

$$e/m = 1,69 \cdot 10^{11} \text{ C/kg} \text{ soit } 3,4 \% \text{ d'erreur par rapport à la valeur théorique.}$$

En effet, l'imprécision maximale est due à l'appréciation du rayon qui conduit à ne prendre que 3 chiffres significatifs.

Mesure de e (Millikan)

1-Expérience

Cette expérience élaborée par Millikan (prix Nobel en 1923) consiste à pulvériser des gouttelettes d'huile entre les armatures d'un condensateur qui est le siège d'un champ électrique. Les gouttelettes d'huile chargées par irradiation sont observées par une loupe. En faisant les mesures des vitesses de montée et de descente des gouttes d'huile, on peut calculer la charge élémentaire de l'électron.



Dispositif de Millikan originel

Pour notre part, nous ne disposons pas de dispositif de Millikan.

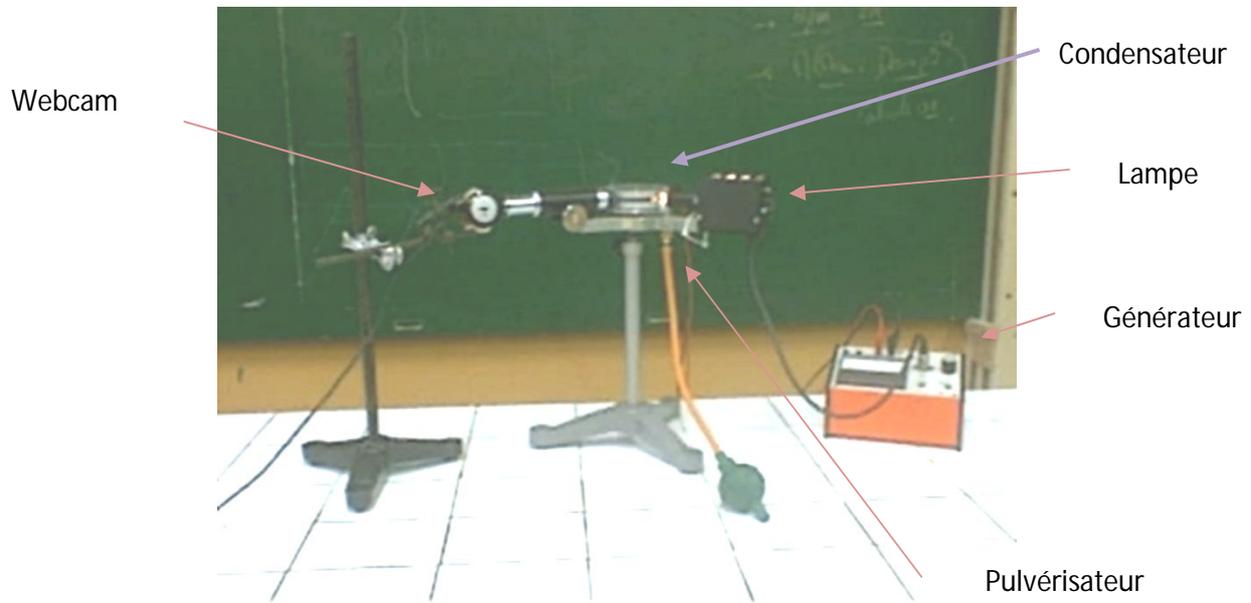
Nous avons donc essayé de calculer la charge portée par une sphère chargée par frottement en la plaçant entre les armatures d'un condensateur. La sphère chargée est fixée à un ressort dont la constante de raideur est très faible, ce qui peut nous permettre de calculer l'allongement du ressort et nous amener au calcul de la charge portée par la sphère.

Nous n'avons jamais observé de résultats concluants après plusieurs après-midis d'essais.

Nous nous sommes donc tournés vers un dispositif didactique de Millikan. Nous avons contacté l'Institut Catholique de Lille et l'Université de Lille¹, qui nous ont répondu rapidement.

L'ICL nous a prêté directement les dispositifs.

Le dispositif didactique de l'expérience de Millikan diffère quelque peu de celui que Millikan a utilisé. Mais nous n'avons pas le choix.



On pulvérise de l'huile à travers les plaques d'un condensateur chargé par un générateur. Un dispositif optique permet de visualiser l'évolution de l'huile qui se sera peut-être chargée lors de la pulvérisation. En observant avec la Webcam, on peut réaliser des enregistrements vidéos qui permettent de suivre l'évolution des gouttes d'huile au cours du temps, sans champ électrique ou avec champ électrique. Le logiciel Généris permet de calculer les vitesses des gouttes.

2-Calcul théorique:

Cas général :

Chaque gouttelette chargée de charge q et de masse m est soumise entre les armatures du condensateur à plusieurs forces.

Son poids de norme $\mathbf{P} = m\mathbf{g}$ où g est la valeur de l'accélération de la pesanteur,

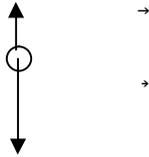
La force électrique de norme $\mathbf{F} = q\mathbf{E} = q\mathbf{U}/d$ où U est la tension électrique, d la distance entre les plaques du condensateur dont la plaque supérieure est au potentiel positif.

La force de frottement de norme $\mathbf{f} = 6\pi\eta r\mathbf{v}$ due à la viscosité η de l'air (d'après la formule de Stokes), r le rayon de la gouttelette et v sa vitesse,

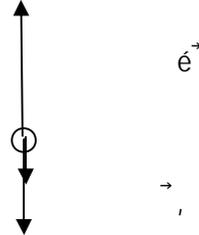
La poussée d'Archimède $\mathbf{\Pi} = \rho\mathbf{Vg}$ (en norme) où ρ est la masse volumique de l'air, V le volume de la gouttelette.

Ainsi, deux cas se présentent, pour une même goutte, en faisant l'hypothèse de négliger la poussée d'Archimède :

La gouttelette n'est pas chargée, elle tombe



La gouttelette est chargée négativement, elle monte selon l'orientation du champ électrique entre les plaques



Si on suppose que les gouttes atteignent une vitesse limite assez rapidement, on peut écrire :

$$P = f$$

En appelant v_d la vitesse limite de descente

$$\rho_{\text{huile}} V g = 6\pi\eta r v_d$$

En déterminant v_d , on peut écrire

$$r^2 = \frac{9}{2} \frac{\eta v_d}{(\rho_{\text{huile}})g}$$

$$P + f = F$$

$$mg + 6\pi\eta r v_m = |Q|U/d$$

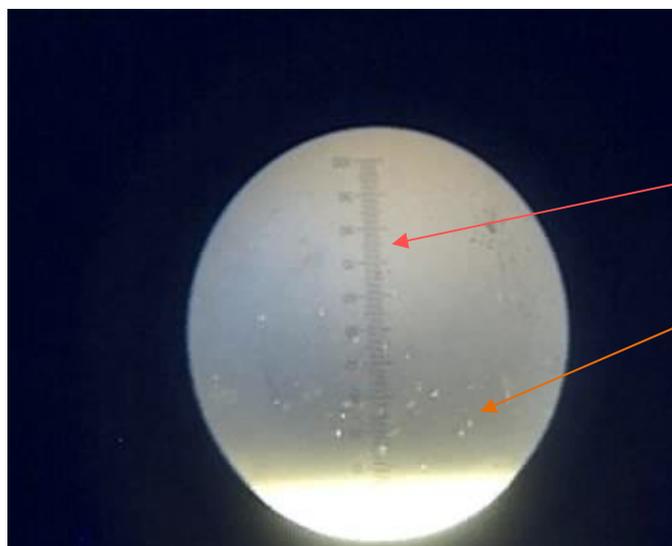
où v_m est la vitesse de montée

$$|Q| = \frac{d}{U} (4/3\pi r^3 g \rho_{\text{huile}} + 6\pi\eta r v_m)$$

Ainsi, la phase de descente nous permet de calculer le rayon de la goutte étudiée et la phase de montée nous permet de calculer Q , la charge totale portée par la goutte en valeur absolue.

Remarque : Nos premières valeurs semblaient incohérentes, notamment parce qu'on calculait des vitesses de descente et de montée différentes...une fois sans champ électrique et après avec des valeurs de tensions différentes.

En analysant nos sources d'erreurs possibles, nous sommes arrivés à la conclusion qu'il fallait considérer la descente et la montée de la même goutte. Ainsi, il suffit de pulvériser l'huile, attendre la descente des gouttes puis brusquement d'y ajouter une tension électrique. Les gouttes chargées devraient alors monter. On pourra alors repérer les descentes et montées de plusieurs gouttes respectivement et accéder à leurs charges.



Echelle
millimétrique

Gouttes d'huile

3-Résultats:

Pour affiner les résultats, nous avons dû reconsidérer notre modèle. Peu de gouttes suivent les deux mouvements et après plusieurs demi-journées, nous avons 47 valeurs. De plus, en prenant en compte la poussée d'Archimède, les valeurs s'affinent un peu. Il suffit de retrancher la masse volumique de l'air à la masse volumique de l'huile. Nous avons aussi repéré la température dans le condensateur pendant les mesures et nous avons $T = 18^{\circ}\text{C}$ à chaque fois.

Les formules empiriques nous font reconsidérer un peu la valeur de la viscosité de l'air ainsi que sa masse volumique.

Bien sur, nous sommes confrontés aux données de l'appareil et à leur précision ce qui nous fait estimer notre erreur à 3 chiffres significatifs (limités aux données).

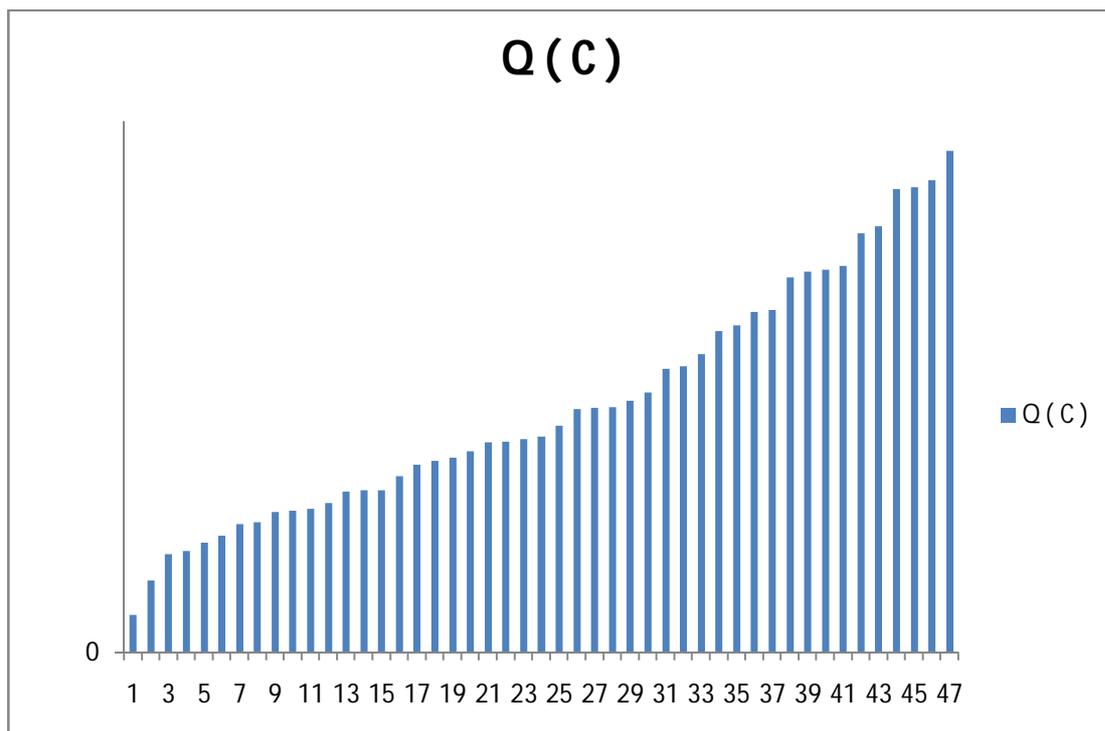
Données										
$g(\text{m/s}^2)$	9,81									
$\eta(\text{Ns/m}^2)$	1,80E-05									
$\rho_{\text{huile}}(\text{kg/m}^3)$	800									
$d(\text{m})$	0,006									
$\rho_{\text{air}}(\text{kg/m}^3)$	1,2									
		N°mesure	U (V)	Vd (m/s)	Vdcorr(m/s)	Vm (m/s)	Vmcorr (m/s)	Rgoutte (m)	Q (C)	
		1	390	5,18E-04	2,76E-04	7,81E-04	4,17E-04	1,68912E-06	6,10E-18	
		2	390	3,60E-04	1,92E-04	1,84E-04	9,81E-05	1,40814E-06	2,13E-18	
		3	390	9,83E-05	5,24E-05	9,34E-04	4,98E-04	7,35821E-07	2,11E-18	
		4	342	2,74E-04	1,46E-04	4,39E-04	2,34E-04	1,22849E-06	2,78E-18	
		5	342	1,47E-04	0,0000784	8,49E-04	0,0004528	8,99816E-07	2,84E-18	
		6	300	8,00E-05	4,26667E-05	9,87E-04	0,0005264	6,63805E-07	2,56E-18	
		7	300	3,97E-04	0,000211733	5,28E-04	0,0002816	1,47874E-06	4,95E-18	
		8	300	8,71E-05	4,64533E-05	1,08E-04	0,0000576	6,92635E-07	4,89E-19	
		9	300	9,14E-05	4,87467E-05	4,29E-04	0,0002288	7,09526E-07	1,34E-18	
		10	252	1,89E-04	0,0001008	3,74E-04	0,000199467	1,0203E-06	2,47E-18	
		11	252	1,33E-04	7,09333E-05	3,79E-04	0,000202133	8,55896E-07	1,89E-18	
		12	252	1,91E-04	0,000101867	7,85E-04	0,000418667	1,02568E-06	4,31E-18	
		13	252	1,61E-04	8,58667E-05	4,93E-04	0,000262933	9,4169E-07	2,65E-18	
		14	252	1,91E-04	0,000101867	8,31E-04	0,0004432	1,02568E-06	4,51E-18	
		15	203	1,22E-04	6,50667E-05	1,73E-04	9,22667E-05	8,19738E-07	1,29E-18	
		16	203	2,40E-04	0,000128	5,77E-04	0,000307733	1,14974E-06	5,02E-18	
		17	202	1,65E-04	0,000088	1,99E-04	0,000106133	9,53317E-07	1,86E-18	
		18	202	2,10E-04	0,000112	8,62E-05	4,59733E-05	1,07549E-06	1,71E-18	
		19	202	1,71E-04	0,0000912	2,06E-04	0,000109867	9,70495E-07	1,96E-18	
		20	202	6,85E-05	3,65333E-05	4,44E-04	0,0002368	6,14243E-07	1,69E-18	

Premier tableau de résultats

N°mesure	U (V)	Vd (m/s)	Vdcorr(m/s)	Vm (m/s)	Vmcorr(m/s)	R goutte (m)	Q (C)
1	300	1,19E-04	6,35E-05	9,84E-04	5,25E-04	8,09597E-07	3,23E-18
2	300	2,18E-04	1,16E-04	8,50E-04	4,53E-04	1,09578E-06	4,23E-18
3	300	1,02E-04	5,44E-05	1,76E-03	9,39E-04	7,49541E-07	5,05E-18
4	300	2,52E-04	1,34E-04	1,30E-03	6,93E-04	1,17814E-06	6,61E-18
5	350	4,83E-04	0,0002576	7,30E-04	0,000389333	1,63106E-06	6,13E-18
6	350	3,25E-04	0,000173333	1,03E-03	0,000549333	1,33794E-06	5,62E-18
7	350	3,17E-04	0,000169067	1,33E-04	7,09333E-05	1,32137E-06	1,84E-18
8	350	2,39E-04	0,000127467	7,24E-04	0,000386133	1,14735E-06	3,42E-18
9	200	2,27E-04	0,000121067	1,89E-04	0,0001008	1,11817E-06	2,52E-18
10	200	1,27E-04	6,77333E-05	1,90E-04	0,000101333	8,36367E-07	1,44E-18
11	250	1,65E-04	0,000088	3,51E-04	0,0001872	9,53317E-07	2,13E-18
12	250	1,96E-04	0,000104533	5,18E-04	0,000276267	1,03902E-06	3,22E-18
13	400	3,28E-04	0,000174933	9,25E-05	4,93333E-05	1,3441E-06	1,53E-18
14	450	3,09E-04	0,0001648	8,79E-04	0,0004688	1,30459E-06	3,74E-18
15	450	4,22E-04	0,000225067	3,30E-04	0,000176	1,52458E-06	2,76E-18
16	450	2,85E-04	0,000152	8,13E-04	0,0004336	1,2529E-06	3,32E-18
17	500	2,51E-04	0,000133867	1,29E-03	0,000688	1,1758E-06	3,93E-18
18	500	4,58E-04	0,000244267	1,02E-03	0,000544	1,58828E-06	5,09E-18
19	500	2,57E-04	0,000137067	1,48E-03	0,000789333	1,18977E-06	4,48E-18
20	500	2,83E-04	0,000150933	1,11E-03	0,000592	1,2485E-06	3,77E-18
21	500	1,45E-04	7,73333E-05	3,42E-04	0,0001824	8,93674E-07	9,44E-19
22	500	4,54E-04	0,000242133	1,36E-03	0,000725333	1,58133E-06	6,22E-18
23	600	2,40E-04	0,000128	1,30E-03	0,000693333	1,14974E-06	3,20E-18
24	600	1,50E-04	0,00008	1,26E-03	0,000672	9,08952E-07	2,32E-18
25	600	5,10E-04	0,000272	4,74E-04	0,0002528	1,67602E-06	2,98E-18
26	600	1,05E-03	0,00056	2,21E-04	0,000117867	2,40486E-06	5,53E-18
27	600	2,00E-04	0,000106667	1,28E-03	0,000682667	1,04957E-06	2,81E-18

Second tableau de valeurs

Si on reprend les calculs de Millikan qui supposait qu'il existait une valeur unique et élémentaire, nous classons donc les résultats sur un graphique en bâtons :



Répartition des valeurs expérimentales des charges des gouttes

Il est donc probable de part ces 47 mesures qu'il existerait bien un charge élémentaire unique puisque le graphique semble croître à partir de cette charge unité.

D'après les calculs, la charge unité serait donc $Q_{\text{unité}} = 4,89 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

L'idée de Millikan est donc de considérer que c'est cette charge Unité la charge élémentaire de l'électron. Ainsi, toutes les autres valeurs seront donc multiples de cette dernière. Pour cela, on divise toutes les valeurs par la valeur de cette charge unité et on doit trouver des multiples entiers de cette charge unité. Si ce n'est pas le cas, Millikan décide alors de diviser la charge unité par deux puis définit une nouvelle charge unité et recommence le processus jusqu'à ce que les valeurs soient des nombres entiers multiples de la charge unité.

Dans notre situation pour l'instant, nous n'obtenons pas de résultats très cohérents.

Nous décidons donc de diviser nos calculs de charges par la vraie valeur de la charge unité.

Voici nos résultats :

R goutte (m)	Q (C)	N	Narr	e (C)	%
1,68912E-06	6,10E-18	38,09183		38 1,6060E-19	0,24165695
1,40814E-06	2,13E-18	13,29866		13 1,6390E-19	2,29740103
7,35821E-07	2,11E-18	13,18683		13 1,6252E-19	1,43717281
1,22849E-06	2,78E-18	17,34048		17 1,6343E-19	2,00282345
8,99816E-07	2,84E-18	17,74248		18 1,5793E-19	-1,43067011
6,63805E-07	2,56E-18	15,98492		16 1,6007E-19	-0,09422687
1,47874E-06	4,95E-18	30,87011		31 1,5955E-19	-0,4190083
6,92635E-07	4,89E-19	3,049773		3 1,6288E-19	1,65909681
7,09526E-07	1,34E-18	8,333195		8 1,6689E-19	4,1649365
1,0203E-06	2,47E-18	15,43338		15 1,6485E-19	2,8892275
8,55896E-07	1,89E-18	11,77383		12 1,5720E-19	-1,88477502
1,02568E-06	4,31E-18	26,89604		27 1,5960E-19	-0,38503063
9,4169E-07	2,65E-18	16,54674		17 1,5595E-19	-2,66621017
1,02568E-06	4,51E-18	2,816E+01		28 1,6115E-19	0,58458229
8,19738E-07	1,29E-18	8,065E+00		8 1,6153E-19	0,81805526
1,14974E-06	5,02E-18	3,133E+01		31 1,6192E-19	1,06303937
9,53317E-07	1,86E-18	1,163E+01		12 1,5529E-19	-3,07559365
1,07549E-06	1,71E-18	1,068E+01		11 1,5552E-19	-2,93267613
9,70495E-07	1,96E-18	1,226E+01		12 1,6373E-19	2,19489442
6,14243E-07	1,69E-18	1,055E+01		11 1,5368E-19	-4,07815793

Premier tableau de valeurs

R goutte (m)	Q (C)	N	Narr	e (C)	%	
8,09597E-07	3,23E-18	20,15348		20	1,6145E-19	0,767423
1,09578E-06	4,23E-18	26,41196		26	1,6276E-19	1,58446699
7,49541E-07	5,05E-18	31,49785		31	1,6279E-19	1,60596933
1,17814E-06	6,61E-18	41,26607		41	1,6126E-19	0,64895851
1,63106E-06	6,13E-18	38,27267		38	1,6137E-19	0,7175458
1,33794E-06	5,62E-18	35,06997		35	1,6054E-19	0,19990192
1,32137E-06	1,84E-18	11,50261		12	1,5358E-19	-4,14489132
1,14735E-06	3,42E-18	21,37369		21	1,6307E-19	1,7794988
1,11817E-06	2,52E-18	15,74703		16	1,5768E-19	-1,5810584
8,36367E-07	1,44E-18	8,975394		9	1,5978E-19	-0,27339674
9,53317E-07	2,13E-18	13,32214		13	1,6419E-19	2,47801916
1,03902E-06	3,22E-18	20,09133		20	1,6095E-19	0,45664103
1,3441E-06	1,53E-18	9,56677		10	1,5328E-19	-4,33229843
1,30459E-06	3,74E-18	2,332E+01		23	1,6244E-19	1,38594184
1,52458E-06	2,76E-18	1,725E+01		17	1,6257E-19	1,46938785
1,2529E-06	3,32E-18	2,070E+01		21	1,5792E-19	-1,43666928
1,1758E-06	3,93E-18	2,454E+01		25	1,5724E-19	-1,85867979
1,58828E-06	5,09E-18	3,179E+01		32	1,5915E-19	-0,66332943
1,18977E-06	4,48E-18	2,798E+01		28	1,6013E-19	-0,05507329
1,2485E-06	3,77E-18	2,355E+01		24	1,5722E-19	-1,87368325
8,93674E-07	9,44E-19	5,893E+00		6	1,5737E-19	-1,77679136
1,58133E-06	6,22E-18	3,884E+01		39	1,5957E-19	-0,40145197
1,14974E-06	3,20E-18	1,998E+01		20	1,600581E-19	-0,09953607
9,08952E-07	2,32E-18	1,446E+01		14	1,6551E-19	3,30179441
1,67602E-06	2,98E-18	1,861E+01		19	1,569307E-19	-2,05151014
2,40486E-06	5,53E-18	3,449E+01		34	1,6253E-19	1,44541943
1,04957E-06	2,81E-18	1,753E+01		18	1,5602E-19	-2,61874501

Second tableau de résultats

La moyenne de nos valeurs semblent donner pour la charge de l'électron : $e = 1,60117 \cdot 10^{-19} \text{C}$ arrondie à $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{C}$ soit moins de 1% d'erreur sur la valeur théorique.

Millikan avait travaillé sur plus de 175 gouttes, et utilisé 58 gouttes pour publier ses résultats. Avec nos 47 valeurs, nous ne sommes pas loin des travaux de Millikan.

Mesure de e/m (J THOMSON)

1-Expérience

Comme nous l'avons précisé précédemment, J.J Thomson avait utilisé un tube à déflexion électrique et y avait adjoint des bobines ce que nous ne pouvons faire avec notre matériel.

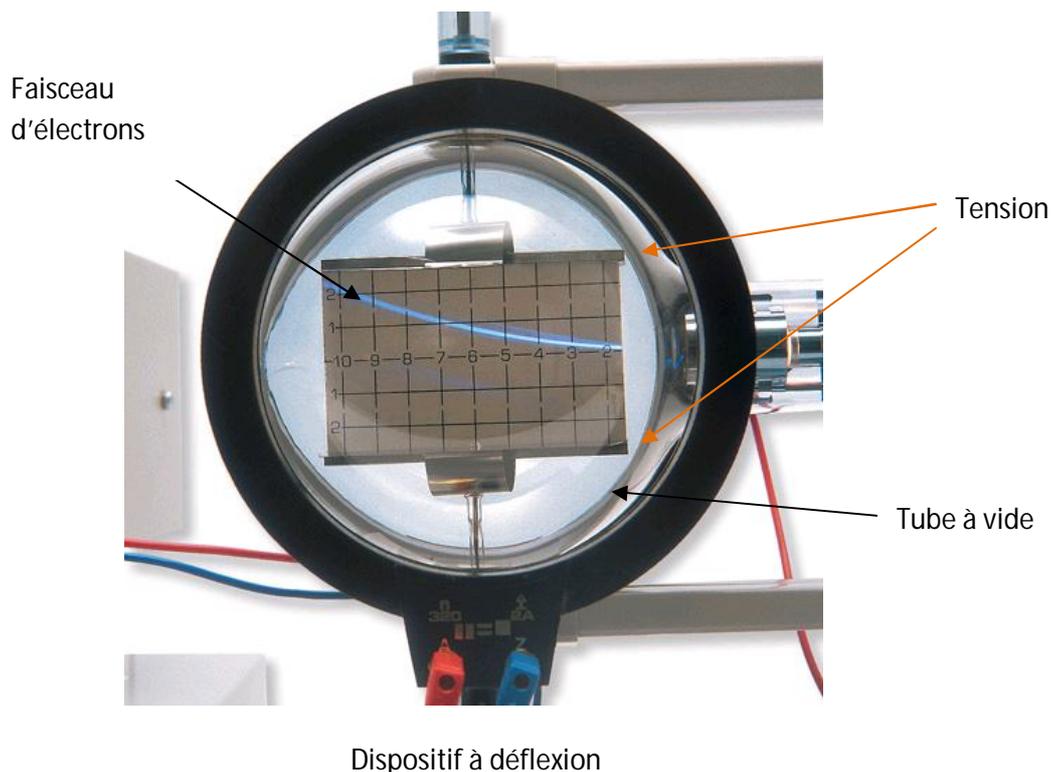
Ainsi, après quelques recherches, nous avons trouvé un dispositif qui permet d'étudier la déflexion électrique d'un faisceau d'électrons dans une ampoule contenant un gaz raréfié. On peut dévier le faisceau en appliquant une tension entre les plaques déflectrices situées de part et d'autre du faisceau dans l'ampoule.

Seulement, il nous fallait trouver le dispositif :

Nous avons recontacté les universités de Lille 1 et de l'ICL mais la réponse fut négative ; pas de réponse non plus de la société 3bscientific à qui nous avons envoyé plusieurs mails.

Il nous vint une idée : pourquoi ne pas demander à nos collègues du Lycée des Flandres chez qui nous étions allés présenter les Olympiades l'an dernier ?

La réponse fut positive.

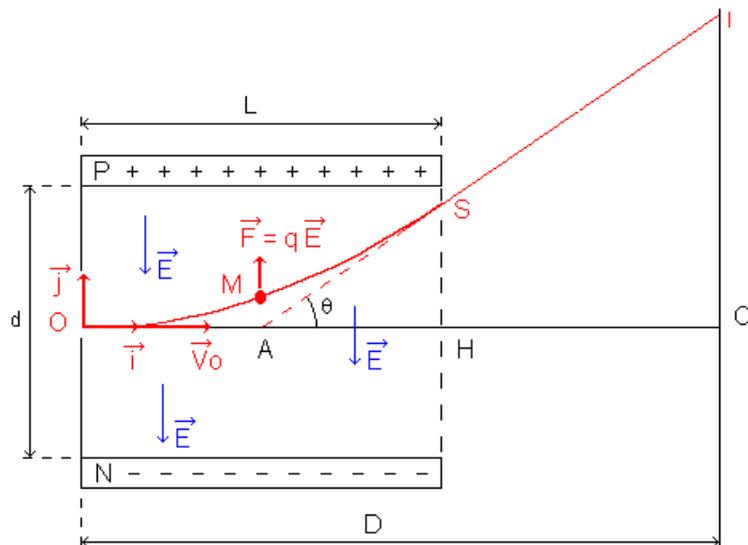


2-Calcul théorique:

Le faisceau d'électrons homocinétique pénétrant dans l'enceinte où règne un champ électrique sera soumis à une force de norme $F=qE$ où E est le champ créé par la différence de potentiel existante entre les armatures du condensateur. On néglige le poids.

Le faisceau sera donc dévié selon une trajectoire parabolique d'équation :

$Y = 1/2 eU X^2/mdVo^2$ entre les plaques du condensateur.

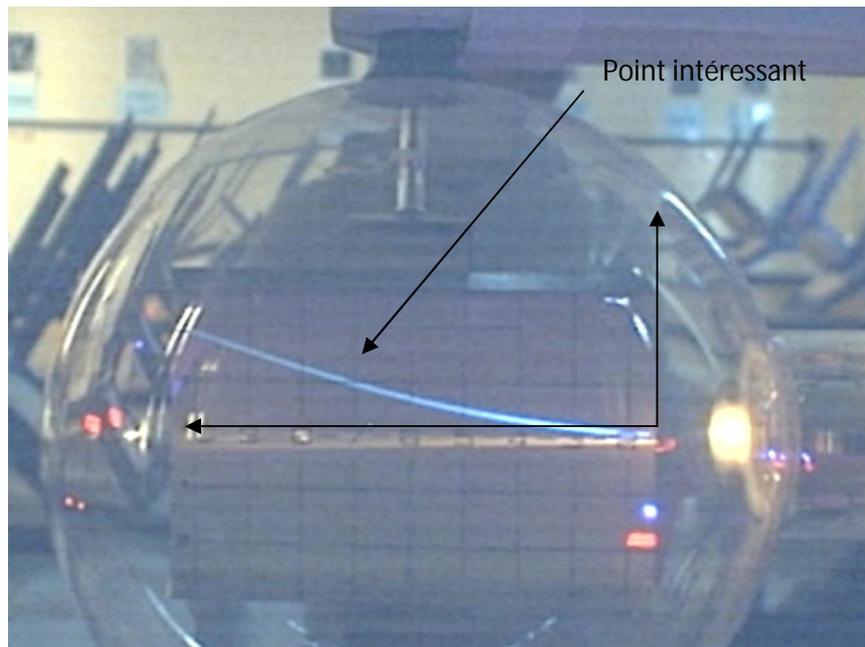


On peut déterminer y_S , l'ordonnée du faisceau à la sortie des plaques, en appliquant les lois de la parabole et trouver : $y_S = \frac{1}{2} eU L^2/mdVo^2 = e/m \cdot UL^2/2dVo^2$.

Ainsi, on en déduit : $e/m = 2dVo^2y_S/(UL^2)$

Pour pouvoir poursuivre, nous avons besoin de connaître la vitesse d'entrée des électrons dans la cellule sous vide. L'idée est donc de mesurer la tension d'alimentation du faisceau, la tension appliquée entre les plaques et de faire une photo du faisceau sur laquelle on pourra repérer le passage du faisceau en un point particulier ce qui nous donnera une abscisse et une ordonnée qu'on pourra utiliser dans l'équation ci-dessus.

3- Résultats :



Nous avons fait 5 mesures pour avoir une idée de la valeur de e/m .

écart entre plaques m	0,0589					
U_{acc} V	vitesse V_0 m/s	$U_{plaques}$ V	Abscisse m	Ordonnée m	e/m	
1685	24341944,25	290	0,077	1,20E-02	4,87144E+11	
1700	24450051,12	403	6,60E-02	1,10E-02	4,41E+11	
1880	25711903,86	338	0,096	0,014	3,50012E+11	
1880	25711903,86	660	0,056	1,10E-02	4,14E+11	
1875	25677689,73	453	0,065	1,10E-02	4,46401E+11	

Les premières mesures semblent trop peu concluantes pour qu'on puisse continuer. Il nous faut trouver comment améliorer le système.

D'après nous, il semblerait que la mesure de la tension d'accélération avec notre voltmètre ne nous semble pas précise. Le voltmètre est sur le calibre le plus élevé, à savoir 1000 V. Il a néanmoins donné les valeurs jusqu'à 2000 V environ. Mais est-il précis ?

Il faudrait peut-être alors utiliser un pont diviseur de tension pour avoir des valeurs plus précises.

Enfin, nous n'avons pas accès à la plaque graduée qui se trouve dans l'ampoule et nous avons supposé que la hauteur d'un carreau était de 1cm. Or, nous n'en sommes pas sûrs.

Les expériences se poursuivent donc pour l'instant.

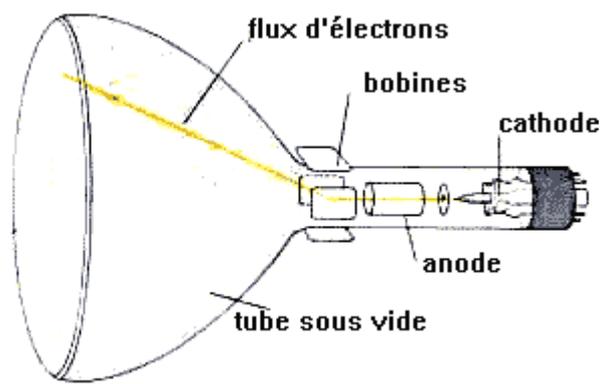
Application

La révolution majeure du 20^{ème} siècle fut sans aucun doute l'invention de la télévision qui révolutionna notre vie. Elle n'aurait pu se faire sans la découverte de l'électron.

La boucle est bouclée : les travaux de Crookes, Thomson et Millikan entre autres ont servi l'arrivée dans les foyers de ce fabuleux moyen de communication.

La télévision fonctionne grâce aux faisceaux d'électrons qui, propulsés par un canon dans le vide du tube cathodique, balaient l'écran ligne par ligne à très grande vitesse.

Le déviateur électromagnétique (les bobines) sert à guider simultanément tous les faisceaux d'électrons à l'intérieur du tube avec une très grande précision.



Dans le tube cathodique, les faisceaux d'électrons sont dirigés vers certaines zones de l'écran afin de les "éclairer". Pour dévier un faisceau électronique de gauche à droite, il faut lui appliquer un champ électrique ou magnétique. Afin de créer un champ magnétique, on place de part et d'autre du faisceau d'électrons une bobine qui est chargée positivement puis négativement en alternance. Ainsi pour faire dévier le faisceau vers la gauche (la droite de l'écran) on charge la bobine de droite négativement et la bobine de gauche positivement. A ce déplacement horizontal, il faut superposer un déplacement vertical pour que le faisceau passe chaque fois à la ligne suivante. De la même façon que pour la déviation horizontale, c'est-à-dire en plaçant une bobine au dessus et une en dessous du faisceau, pour faire varier la hauteur du faisceau vers le bas on charge la bobine du haut négativement et la bobine du bas positivement. La distance de déviation des électrons, au niveau de l'écran est appelée **déflexion**.

Conclusion :

A l'approche de l'oral, deux grandes manipulations Historiques ont pu être réalisées avec somme toute de très bons résultats. Nous avons pu nous immerger dans le monde de la recherche du 19^{ème} siècle.

Ainsi, en cette fin du 19^{ème}, l'existence des électrons est bien établie. *Mais ni leur nombre, ni leur disposition à l'intérieur de l'atome ne sont connus.*

Jean Perrin, dès 1901, imagine un *modèle planétaire* de l'atome dans lequel les électrons tournent autour du noyau. De son côté, Thomson propose un *modèle sans noyau*, dans lequel la charge positive est étalée...

Et Rutherford viendra ... modifier la théorie ...

L'invention des téléviseurs entre autres, sera l'une des applications majeures de la découverte de l'électron.

Quoiqu'il en soit, nous obtenons de bonnes valeurs :

$$e/m = 1,69.10^{+11} \pm 0,05.10^{+11} \text{C/kg}$$

$$e = 1.60.10^{-19} \pm 0,03.10^{-19} \text{ C.}$$

Nous en déduisons $m = 9,46.10^{-31} \text{kg}$, soit 4% d'erreur par rapport à la valeur théorique.

Bibliographie, sitographie :

Wikipédia,

histoires de physique et chimie CRDP Rouen,

<http://www.practicalphysics.org/>,

Nathan, Physique Terminale C,

Jeulin, expérience e/m

Groupe SO2, Québec,

Massain, Physique et physiciens, ...

Résumé

A propos de l'électron

Notre sujet consiste à recalculer les valeurs fondamentales qui caractérisent l'électron, c'est-à-dire sa charge et sa masse, avec les moyens du lycée et nos connaissances de terminale. Après avoir fait des recherches, nous avons trouvé des informations concernant la découverte de l'électron : c'est Thomson et Millikan qui sont à l'origine des expériences fondamentales concernant les mesures de la charge et de la masse de l'électron : l'une d'elles consiste en la déviation d'un faisceau d'électrons par un champ magnétique, l'autre permet l'étude de la chute d'une goutte d'huile chargée négativement entre les plaques d'un condensateur. Après avoir étudié ces expériences, nous nous sommes mis dans la peau de Thomson et de Millikan et nous avons essayé de les reproduire historiquement pour déterminer les valeurs de la charge et de la masse de l'électron. En suivant les traces de ces deux Scientifiques du 19^{ème} siècle, nous avons obtenu des résultats plus que satisfaisants. Enfin, nous nous sommes posés la question de l'application industrielle de cette découverte : la formidable histoire du téléviseur.