

# ChimiePhysique.net

---

---

## *chronologie de la physique*

D'après le livre de Max Von Laue "histoire de la physique", j'ai relevé les dates importantes et les acteurs importants de la physique depuis 2500 ans.

Pour rechercher un mot dans la page, utilisez la fonction de votre navigateur  
(Ctrl + F)

### Pythagore (570-496 av JC) :

Il sait que des cordes accordées à des intervalles harmoniques octave, quinte, ... ont des longueurs dans des rapports  $1/3$ ,  $2/3$ , ...

### Aristote (384-322 av JC) :

A l'époque, on sentait bien que les deux notions de lieu et mouvement étaient dénuées de sens tant que l'on ne précisait pas en même temps quelque chose. Aristote rapportait alors le lieu d'un corps à une substance matérielle qui l'aurait entouré.

### Ptolémée (IIème siècle ap JC) :

Pour lui, la sphère des étoiles fixes (qui entourait la Terre) était la plus éloignée d'une série de sphères entourant la Terre et n'avait pas de lieu. Au delà d'elle, il n'y avait rien, pas même l'espace.

Mais cette sphère devait quand même avoir un mouvement, une rotation quotidienne autour de la Terre.

### Copernic (1473-1543) :

Il attribua l'effet de rotation non pas à la sphère d'étoile fixe mais à la Terre qui tournait continuellement autour de son axe.

Il commença un livre en 1507, qu'il fût publié seulement en 1543 (il le vu sur son lit de mort), sur celui-ci était notamment écrit :

- \* Toutes les orbites ou sphères célestes n'ont pas le même centre.
- \* Le centre de la Terre n'est pas le centre du monde, mais seulement celui de la pesanteur et de l'orbite de la Lune.
- \* Toutes les orbites entourent le soleil, comme si celui-ci était placé en leur centre à toutes ; par suite, le centre du monde se trouve à proximité du soleil.
- \* La Terre a une rotation immuable autour de l'axe de ses pôles. Le ciel des étoiles fixes étant de tous le plus lointain, reste alors immobile.
- \* Le mouvement du soleil que nous constatons ne provient pas de lui, mais est le fait de la terre et de notre orbite sur laquelle nous tournons autour du soleil comme tout autre planète. Et ainsi la Terre est animé de multiples mouvements.
- \* L'avance et le recul des étoiles mobiles n'est aussi qu'une apparence produite par le mouvement de la Terre.

### **Gilbert (1540-1603) :**

On lui doit notamment le mot électricité. Il explore les lignes de forces du champ magnétique crée au voisinage des sphères d'acier à l'aide d'une petite aiguille aimantée, il constate alors la parfaite analogie avec l'action de la Terre sur la boussole et détruit toutes les légendes des grandes montagnes magnétiques du nord ou d'une force magnétique émanant de l'étoile polaire.

### **Brahé (1546-1601) :**

Il réalise de séries d'observations particulièrement précises sur la position des planètes qui sont une des origines du principe d'attraction de Newton.

### **Galilée (1564-1649) :**

1589 : Expériences sur la chute des corps.

1610 : Grâce à l'invention de sa lunette, il démontra que les satellites de Jupiter formaient en petit un système au sens de Copernic.

1611 : Il prouva sans ambiguïté, que d'après ses phases, Vénus devait décrire une trajectoire circulaire (approximativement) autour du soleil ; et que comme la Terre et la Lune elle n'émettait aucune lumière mais ne faisait que renvoyer celle du soleil.

Il vit aussi que les lois du mouvement ne devait pas être rapporté au système lié à la Terre mais bien au système de Copernic.

Lorsqu'il parle de chute et plus généralement de mouvement par rapport à la Terre, il précise que cela n'est permis qu'approximativement et qu'en toute rigueur un corps tombant en chute libre s'écarte à la verticale par suite de la rotation de la Terre.

1638 : Il pose la fréquence comme le corollaire physique de la perception de la hauteur d'un son.

Il admet qu'à la proximité de la Terre, les corps subissent une accélération constante dirigée verticalement vers le bas.

Il eu l'intuition du principe de la conservation de l'énergie : pour lui, la vitesse atteinte par un corps dans sa chute le rendait capable de remonter à sa hauteur initiale mais pas plus haut.

Tout comme Newton, il attache une grande importance au fait que tous les corps subissent la même accélération : ceci étant vérifié pour les corps en chute libre mais aussi dans le fait que la période du pendule est indépendante du corps qui oscille.

### **Kepler (1571-1630) :**

Il donne une loi approchée de la réfraction qui n'est valable que pour les petits angles.

Il déduisit des observations de Brahé les trois lois qui portent son nom (trajectoire elliptique, égalité des aires balayées dans des temps égaux par le rayon vecteur, proportionnalité des carrés des périodes de révolution au cube des grands axes).

Il a contribué avec ses lois à la confirmation du système de Copernic.

1611 : il parle dans un écrit de neige hexagonale, il envisage la structure de la neige comme un entassement dense de petites sphères.

### **Snell (1591-1626) :**

IL établit la loi de la réfraction. D'après Huyghens, il a fait ceci à l'aide de mesures.

### **Descartes (1596-1650) :**

Pour expliquer la pesanteur, il pensait que l'espace interstellaire était rempli d'un liquide tourbillonnant qui entraînait avec lui les planètes qui y flottait.

Il déduit la loi de la réfraction d'après sa représentation corpusculaire de la lumière.

### **Guerike (1602-1686) :**

Il note la répulsion de particules portant des charges de même signe et construisit la première machine électrostatique à frottement.

Il remarque aussi que le champ magnétique terrestre peut aimanter les morceaux de fer.

### **Torriceli (1608-1647) :**

1643 : Inspiré par une expérience de Galilée faite avec une pompe à vide, Il invente le baromètre à mercure.

### **Grimaldi (1618-1663) :**

1665 dans un ouvrage posthume : il décrit ses premières observations des phénomènes d'interférences, de diffraction et de polarisation : notamment, la diffraction sur une tige et sur un réseau. Ceci lui permet d'élaborer une première théorie ondulatoire de la lumière.

### **Berthelsen (1625-1698) :**

1669 : il observe la biréfringence du spath d'Islande dont Huyghens donna en 1678 la théorie ondulatoire.

### **Boyle (1627-1691) :**

Il découvre les anneaux colorés formés dans les couches minces.

### **Huyghens (1629-1695) :**

1657 : il apporte une contribution décisive aux horloges en leur donnant un principe de contre-réaction (qui va venir compenser les pertes énergétiques dues au frottements).

1678 : il présente son "Traité de la lumière", il déduit de sa conception du mouvement ondulatoire longitudinale et de la construction des enveloppes, la propagation rectiligne de la lumière et les lois de la réflexion et de la réfraction.

il établit ces lois dans le cas des corps isotropes, mais aussi pour le spath dont il explique la biréfringence par la composition de deux ondes (l'une sphérique comme dans le cas des corps isotropes, et l'autre étant une ellipse de révolution).

1678 : il donne la théorie ondulatoire de la biréfringence du spath d'Islande observé par Berthelsen en 1669.

Il reprend l'idée de Galilée sur la conservation de l'énergie en l'étendant au centre de gravité des corps tombant en chute libre.

1690 : s'appuyant sur la propriété de "clivage" du spath, il conçoit dans son traité de lumière une structure cristalline en forme de réseau, constituée de petites particules ellipsoïdales.

### **Hooke (1635-1703) :**

1696 : Mise en évidence de la loi de proportionnalité entre la déformation et la tension des corps solides.

### **Stensen (1638-1686) :**

1669 : il réalise un exploit en remarquant sur le cristal de roche (quartz) et sur quelques autres cristaux, que les faces faisaient entre elles toujours les mêmes angles quelle que soit leur origine.

### **Newton (1643-1727) :**

1672 : il apporte la preuve que la lumière blanche est composée de lumières de différentes couleurs et que par conséquent, la lumière de couleur est plus simple que la lumière blanche.

1672 : dans le même ordre d'idée, il conçoit son télescope à miroir. Ceci a été fait à la suite de ses réflexions sur les aberrations chromatiques (qu'il pensait inévitables) et ses expériences sur le prisme.

1687 : Publication de philosophie naturelle et principes mathématiques qui fonde les bases de la dynamique.

Il calcule la vitesse du son en fonction de la compressibilité et de la densité de l'air.

Tout comme Newton, il attache une grande importance au fait que tous les corps subissent la même accélération : ceci étant vérifié pour les corps en chute libre mais aussi dans le fait que la période du pendule est indépendante du corps qui oscille.

Il infirma la théorie de Descartes du liquide interstellaire par des considérations d'hydrodynamique.

Il énonce ce que l'on appelle le principe de Newton : La force d'attraction est proportionnelle aux deux masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance.

Il démontre la loi d'attraction en calculant l'accélération de la pesanteur à la surface de la Terre et l'accélération à laquelle est soumise la Lune. Egalement, il interprète les anomalies du mouvement de la Lune et leur rapport avec les marées.

Mathématiquement, il démontre les lois de Kepler à partir de sa loi d'attraction et de sa loi générale du mouvement.

Les anneaux formés dans les couches minces, découvert par Boyle, portent le nom d'anneaux de Newton car c'est lui qui trouve la relation entre la couleur des anneaux et l'épaisseur de la couche.

### **Römer (1644-1710) :**

1676 : des observations d'éclipses d'un des satellites de Jupiter qui se produisait souvent, mais pas avec une période régulière lui permis de trouver la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide :  $3 \cdot 10^{10}$  cm/sec.

### **Gray (1670-1736) :**

Il établit la distinction entre conducteurs de l'électricité et isolants.

Il observe, avec Aepinus, les premiers phénomènes d'influence des corps chargés sur les conducteurs isolés.

### **Réaumur (1683-1757) :**

Avec Celsius, il pense définir le zéro de leur échelle de température par la température de la glace fondante.

### **Fahrenheit (1686-1736) :**

1709 : C'est le premier à surmonter les difficultés techniques dans la fabrication des thermomètres dus aux nombreux éléments perturbateurs : il est donc le père de la thermométrie. Sa technique de construction est encore celle utilisée aujourd'hui.

Ces thermomètres permirent de définir des points invariables sur l'échelle des températures , un peu comme le fit la découverte des raies de Fraunhofer dans le spectre.

Il définit le zéro de son échelle comme la température d'un mélange réfrigérant.

### **Muschenbroek (1692-1761) :**

1745 : Par hasard lors d'observations, il découvre avec Von Kleist, la bouteille de Leyde, prémisses du condensateur.

### **Bernouilli (1700-1782) :**

Avec Euler, ils s'occupent de systèmes de plusieurs points matériels, du corps solide et de l'hydrodynamique.

Il parle souvent de "conservatio virium vivarum" et insiste sur le fait, que dans la disparition de la "force vive" la capacité de travail n'est pas perdue, mais prend seulement une autre forme.

1738 : il fait un essai de théorie cinétique des gaz, très vite oubliée.

### **Von Kleist (1700-1748) :**

1745 : Par hasard lors d'observations, il découvre avec Muschenbroek, la bouteille de Leyde, prémisses du condensateur.

### **Celsius (1701-1744) :**

Avec Réaumur, il pense définir le zéro de leur échelle de température par la température de la glace fondante.

### **Franklin (1706-1790) :**

C'est à lui que l'on doit les termes d'électricité positive et négative.

Il apporte la preuve de la nature électrique de orages.

### **Euler (1707-1783) :**

Avec Bernouilli, ils s'occupent de systèmes de plusieurs points matériels, du corps solide et de l'hydrodynamique.

Il remarque que dans le mouvement d'un point matériel soumis à une force centrale, la force vive est la même, chaque fois que le point se trouve à la même distance du centre d'attraction.

### **Lerond d'Alembert (1717-1783) :**

Il est à l'origine du principe de d'Alembert qui remplace les équations du mouvement.

### **Aepinus (1724-1802) :**

Il dit qu'entre conducteurs et isolants, les extrêmes, il existe des matériaux à tous les échelons.

Il observe, avec Gray, les premiers phénomènes d'influence des corps chargés sur les conducteurs isolés.

1758 : après la découverte de la pyroélectricité de la tourmaline, il montra que les faces du cristal se chargeaient sous l'effet d'une variation de température.

### **Cavendish (1731-1810) :**

1766 : Découverte de l'oxygène.

Il fait l'expérience de mesure de la constante de gravitation  $G$  à partir de la balance de torsion. Cette constante de gravitation  $G$  mesure la force d'attraction entre deux masses de  $1g$  distantes de  $1cm$ .

Il démontre, avec d'autres, que la charge d'un conducteur est localisée à sa surface, l'intérieur n'étant soumis à aucune action électrique.

### **Bergmann (1735-1784) :**

1773 : il imagine les cristaux comme une sorte de maçonnerie construite comme de petites pierres parallélépipédiques et présentant une périodicité dans les trois dimensions.

### **Coulomb (1736-1806) :**

C'est à lui que l'on doit l'effet d'écran des conducteurs (pas d'effets électriques dans leur volume intérieur) et il en voit une démonstration de l'existence de forces électriques.

1785 : il fait ses mesures avec la balance de torsion : il mesurait la force s'exerçant entre deux sphères suspendues à la balance sous l'influence d'une sphère fixe. La loi des forces électriques porte alors son nom

C'est par analogie avec la loi de Newton qu'il pose que la force entre deux charges est proportionnelles aux quantités d'électricité.

Il apporte la preuve que le champ magnétique terrestre exerce sur l'aiguille aimantée un couple proportionnel au sinus de la déviation par rapport au méridien, ceci est à l'origine de l'existence du moment magnétique.

### **Lagrange (1736-1813) :**

Il ajoute à la loi d'attraction de Newton la notion de potentiel dont le gradient donne la force d'attraction.

### **Watt (1736-1819) :**

1770 : il perfectionne la machine à vapeur qui amène une révolution économique. Personne ne comprenait à l'époque que la chaleur fournie à la chaudière était transformée en partie en travail, et par conséquent perdue en tant que chaleur.

### **Herschel (1738-1822) :**

Il découvre que les limites du spectre n'étaient pas la lumière visible et qu'au delà du rouge, il existait des radiations moins déviées et perceptibles par leurs effets calorifiques.

### **Scheele (1742-1786) :**

Il définit la notion de rayonnement thermique dont les premières expériences furent effectuées par Pictet.

### **Lavoisier (1743-1794) :**

1780 : Il découvre avec Laplace, l'instrument classique de mesure des quantités de chaleur : le calorimètre à glace.

### **Volta (1745-1827) :**

1775 : il fait connaître l'électrophore, source d'électricité créée par influence.

Il tire une découverte physique des observations des cuisses de grenouille faites par Galvani (1737-1798). Ce dernier avait observé par hasard que des grenouilles suspendues à un support métallique avaient des contractions des muscles des cuisses, lorsque des étincelles électriques se produisaient à proximité, ou à l'approche d'un orage.

c'était la première indication d'oscillations électriques, les cuisses de grenouille servant de détecteur.

1796 : il formula l'hypothèse disant que la circulation de l'électricité dans un circuit conducteur se produit lorsque celui-ci est constitué de deux conducteurs de "première" classe et d'un conducteur de "deuxième" classe. Il fait apparaître la notion de courant électrique stationnaire.

1800 : Il construit alors sur ce principe la première pile de Volta.

Il dit également que dans un circuit purement métallique, quel que soit le nombre de métaux présents, il se forme instantanément un équilibre électrique, et il ne passe aucun courant, à moins que des différences de température n'en créent un (thermoélectricité).

### **Rutherford (1749-1819) :**

1772 : Découverte de l'azote.

### **Marquis de Laplace (1749-1827) :**

1780 : Il découvre avec Lavoisier, l'instrument classique de mesure des quantités de chaleur : le calorimètre à glace.

1782 : il établit la célèbre équation aux dérivées partielles à laquelle obéit le potentiel fonction des coordonnées.

1800 : il fait paraître un traité de mécanique céleste en 5 volumes qui contient notamment une théorie des ondes liquides et de la capillarité.

1826 : la formule trouvée par Newton, de la vitesse du son est corrigé par Laplace qui remplace la compressibilité isotherme par la compressibilité adiabatique.

### **Prévost (1751-1839) :**

1791 : il tira la conclusion des expériences de Pictet que tout corps rayonne indépendamment de son entourage ; la quantité de chaleur qui lui est fournie est égale à la différence entre celle qu'il reçoit de son entourage et celle qu'il perd par rayonnement.

### **Pictet (1752-1825) :**

Il effectue les premières expériences sur le rayonnement thermique dont Prévost tira les conclusions.

### **Wollaston (1766-1828) :**

Avec Ritter, il découvre l'efficacité chimique des radiations qui s'étendent au delà du violet.

### **Dalton (1766-1844) :**

1801 : La dilatation des gaz parfait fut choisie comme substances thermométriques à la suite, en partie de ses mesures.

### **Fourier (1768-1830) :**

1807, 1811 : il donne sa version définitive à la théorie de la conduction calorifique, initié par Biot. cette théorie a permis de jeter les bases de fonctions mathématiques adaptés à la physique, comme la représentation de fonctions quelconques en série ou en intégrale de fonctions circulaires (série et intégrale de Fourier).

L'analyse de Fourier joue un rôle très important dans la théorie de tous les phénomènes ondulatoires qu'il s'agisse du son, des ondes de surface des liquides ou d'oscillations électromagnétique.

### **Seebeck (1770-1831) :**

1821 : Il prouve l'effet décrit par Volta, qui porte maintenant le nom d'effet Seebeck : il peut se créer un courant entre deux métaux en équilibre électrique si il existe une différence de température entre ces deux métaux.

### **Young (1773-1829) :**

1801 : Il eu l'idée des interférences et grâce à elles expliqua les anneaux de Newton. Il fut le premier à donner un ordre de grandeur des longueurs d'onde de la lumière.

Il reconnut alors la différence existant entre les rayons cohérents (qui proviennent de la même source de lumière) et les rayons incohérents.

Il interpréta ainsi la diffraction comme une interférence entre la lumière traversant directement la source et les ondes limites.

1807 : au lieu de la "force vive", il emploie le terme d'"énergie".

### **Brown (1773-1858) :**

Les fluctuations thermodynamiques de l'entropie admises par Boltzmann expliqueront plus tard le mouvement qu'il a découvert, appelé mouvement brownien, auxquelles sont soumises continuellement des particules ultra microscopiques en suspension dans les liquides ou les gaz.

### **Biot (1774-1862) :**

En compagnie de Savart, ils tirent des résultats des expériences d'Ampère la loi qui porte leur nom et qui définit l'action magnétique d'un élément de courant.

1804 : en partant des notions de température et de quantité de chaleur indestructible, il établit la théorie de la conduction calorifique. C'est Fourier qui donnera sa version définitive à cette théorie.

1812 : il trouve que le mica présente deux axes optiques (biaxe).

### **Malus (1775-1812) :**

1809 : il découvre la polarisation de la lumière et considère sa découverte comme une réfutation de la théorie ondulatoire. En effet le phénomène de polarisation est incompatible avec les ondes longitudinales de la théorie de Huygens

### **Ampère (1775-1836) :**

Il indique la loi du "bonhomme d'Ampère" qui donne la direction du champ magnétique créé par un conducteur.

Il découvre que des courants s'attirent s'ils sont de même direction et se repoussent dans le cas contraire.

Il montre aussi qu'un solénoïde se comporte comme un barreau aimanté.

1822 : Il met en évidence les phénomènes de rotation aimants-courant des expériences de Faraday sur deux circuits électriques et donne la loi fondamentale de l'électrodynamique (c'est comme cela qui l'a nommée).

### **Ritter (1776-1810) :**

Avec Wollaston, il découvre l'efficacité chimique des radiations qui s'étendent au delà du violet.

### **Oersted (1777-1851) :**

1820 : il s'aperçut par un pur hasard que le courant électrique déviait l'aiguille aimantée et trouva la direction de la force exercée par un aimant sur un circuit parcouru par un courant.

### **Gauss (1777-1855) :**

1839 : il publie un mémoire sur la théorie du potentiel, qu'il soit électrique ou gravitationnel.

On lui doit la définition de la quantité d'électricité à partir de la loi de Coulomb, l'unité de quantité d'électricité est celle qui repousse une quantité égale placée à 1 cm avec une force de 1 dyne (unité de force dans le système d'unités gaussiennes, utilisé en physique fondamentale).

Il réalise la première mesure absolument du moment magnétique d'un barreau aimanté et du champ magnétique terrestre.

Il fonde le premier système rationnel d'unités électriques et magnétiques.

### **Gay-Lussac**

Il découvre avec Arago, qu'un morceau d'acier entouré d'une boucle parcourue par un courant devient aimanté, c'est le premier électroaimant.

1802 : comme Dalton, il réalise des mesures sur la dilatation des gaz parfaits.

1807 : il fait des mesures qui montre à coup sûr que l'énergie interne des gaz ne dépend pas de leur volume (mesures répétées par Joule en 1945).

### **Poisson (1781-1840) :**

1812 : Il transforme l'équation aux dérivées partielles de Laplace pour la rendre applicable à la matière.

1811 : il étend à l'électricité la théorie du potentiel développé pour la gravitation.

### **Brewster (1781-1868) :**

1813 : il constate que la topaze présente deux axes optiques (biaxe).

1818 : il porta la liste des substances biréfringente à une centaine de corps.

### **Dulong (1785-1838) :**

1820 : il trouve avec Petit cette loi : la capacité calorifique d'un atome-gramme (égale au produit de la chaleur spécifique par la masse atomique) de tout corps simple a une valeur constante égale à environ 6 cal./degré.

### **Prout :**

1815 : il constate que les masses atomiques sont des nombres entiers et conclut que tous les atomes étaient des agglomérats d'atomes d'hydrogène.

### **Arago (1786-1853) :**

1811 : il découvre les phénomènes colorés provoqués par la lumière blanche polarisée qui passe à travers les cristaux.

1819 : avec Fresnel, il apporte la preuve que les rayons polarisés perpendiculairement n'interfèrent pas entre eux, et donc ils établirent tous deux la théorie des oscillations transversales.

Il découvre avec Gay-Lussac, qu'un morceau d'acier entouré d'une boucle parcourue par

### **Fraunhofer (1787-1826) :**

1814,1815 : Il place un collimateur devant et une lunette derrière un prisme et trouve dans le spectre du soleil des raies fines et sombres auxquelles on a donné son nom. Il les utilise comme repère afin de donner des mesures plus précises des indices de réfraction.

1821,1822 : Il découvre la diffraction par un réseau.

### **Ohm (1787-1854) :**

1843 : Il montre que l'oreille est capable de percevoir des oscillations sinusoïdales en les distinguant au sein d'un ensemble.

1826 : il utilise les actions magnétiques des courants pour mesurer les intensités, il établit alors la loi qui porte son nom et sépare nettement les notions de forces électromotrice des chutes de tension et d'intensité.

Il montre que la résistance d'un fil est proportionnelle à sa longueur, inversement proportionnelle à sa section et introduit la notion de conductibilité spécifique des corps.

### **Fresnel (1788-1827) :**

1818 : On lui doit la théorie de la diffraction sous forme de construction de zones, qui rattachent le principe des enveloppes de Huyghens à l'idée d'interférences.

1819 : avec Arago, il apporte la preuve que les rayons polarisés perpendiculairement n'interfèrent pas entre eux, et donc, ils établissent tous deux la théorie des oscillations transversales.

### **Poncelet (1788-1867) :**

1826 : il emploie le terme de "travail".

### **Cauchy (1789-1852) :**

1822 : Donne des expressions mathématiques aux notions de tension élastique et de déformation, à la mécanique des corps déformables en donnant sa forme définitive à la loi de Hooke.

### **Petit (1791-1820) :**

1820 : il trouve avec Dulong cette loi : la capacité calorifique d'un atome-gramme (égale au produit de la chaleur spécifique par la masse atomique) de tout corps simple a une valeur constante égale à environ 6 cal./degré.

### **Savart (1791-1841) :**

En compagnie de Biot, ils tirent des résultats des expériences d'Ampère la loi qui porte leur nom et qui définit l'action magnétique d'un élément de courant.

### **Faraday (1791-1867) :**

1821 : il parvient à faire tourner un circuit parcouru par un courant sous l'action d'aimants permanents, et réciproquement, à faire tourner des aimants sous l'action d'un courant.

1831 : il découvre en enroulant deux bobines autour d'un anneau de fer, qu'à l'action magnétique des courants correspond une réaction sur les courants : il trouve le phénomène d'induction.

1834 : il établit les lois d'équivalence de l'électrolyse : une molécule gramme d'ions monovalents, quelle que soit leur nature, transporte une charge électrique bien déterminée, pour des ions bivalents, cette charge est deux fois plus grande ...

1843 : Il trouve empiriquement le principe de la conservation de l'électricité : il mettait dans un "seau à glace" isolé et relié par un conducteur à un électromètre une sphère métallique chargée et suspendue à un fil de soie.

La variation lue sur l'électromètre constitue une mesure de la charge de la sphère.

Il montre que cette variation est indépendante de tous les autres objets se trouvant dans le "seau à glace" et de leur état de charge.

On peut répartir cette charge en tout ou en partie sur d'autres conducteurs, rien ne change.

Pour que la déviation de l'électromètre varie, il faut apporter de nouvelles charges dans le seau.

1837 : il découvre l'influence des diélectriques sur les phénomènes électrostatiques.

1846 : il montre les généralités des propriétés diamagnétiques de la matière dont le paramagnétisme devient une exception.

Il eut l'idée que les actions électriques et magnétiques ne s'exercent pas sans intermédiaire d'un corps sur un autre, mais qu'elles sont transmises par le diélectrique, qui devient le siège du "champ" électrique et du "champ" magnétique. Cette notion de "champ" vient de lui.

### **Coriolis (1792-1843) :**

Analyse l'influence de la rotation de la Terre sur les phénomènes qui se produisent à sa surface.

### **Herschel (1792-1871) :**

Il complète les connaissances sur les substances biréfringentes, notamment par l'emploi de lumière monochromatique.

### **Schwerd (1792-1871) :**

Il donne la théorie ondulatoire de la diffraction par un réseau de Fraunhofer ce qui permet d'attribuer une longueur d'onde à toute lumière à partir des constantes du réseau et de l'angle de diffraction avec une précision relative de  $10^{-7}$ .

### **Seeber (1793-1855) :**

il eut l'idée de combiner la notion d'atome chimique et la notion de "maçonnerie en trois dimensions", il admit que le réseau cristallin était formé d'atomes.

Il pensait que les distances inter-atomiques étaient déterminées par les forces s'exerçant entre les atomes et y voyait une raison de l'élasticité et de la dilatation.

### **Babinet (1794-1872) :**

1839 : Il rechercha l'influence du mouvement de la Terre sur les phénomènes d'interférences, les mêmes recherches sont faites par Michelson.

### **Carnot (1796-1832) :**

Il avait vu que le travail fourni par les machines à vapeur était lié par une loi universelle au passage de la chaleur d'une certaine température à une température plus basse.

C'est lui qui établit en premier le rapport entre le travail et la chaleur.

### **Clapeyron (1799-1864) :**

Pour les besoins de la théorie, et suivant lequel fonctionne approximativement la machine à vapeur, il invente un cycle réversible c'est à dire constitué de transformations partielles réversibles, qui est constitué de deux transformations isothermes et deux transformations adiabatiques (sans apport ou cession de chaleur).

### **Poiseuille (1799-1869) :**

Etudie les frottements internes dans les liquides et les gaz.

### **Plücker (1801-1868) :**

1859 : en étudiant les décharges électriques dans les gaz, il découvre que que Gldstein appellera les "rayons cathodiques"

### **Magnus (1802-1870) :**

1842 : Il fait lui aussi des mesures sur la dilatation des gaz parfaits, comme Dalton et Gay-Lussac, mais les siennes étaient plus précises.

### **Doppler (1803-1853) :**

1842 : Il déduit de la théorie ondulatoire que le rapprochement d'une source de lumière et d'un observateur a pour effet d'augmenter la fréquence observée, et un éloignement de la diminué.

### **Lenz (1804-1865) :**

1833 : il rassemble dans la règle qui porte son nom les indications sur la direction des courants induits par le mouvement.

1835 : Par des mesures, il prouve que la résistance des métaux diminue avec la température.

### **Weber (1804-1891) :**

1852 : A cette époque on cherchait le rapport entre les unités électromagnétiques et les unités électrostatiques de la loi de Coulomb, Weber mesura ce rapport pour obtenir la vitesse de la lumière  $3 \cdot 10^{10}$  cm/s.

### **Hamilton (1805-1865) :**

Il pose le principe de moindre action : L'intégrale portant sur la différence entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle, prise entre deux instants fixés est plus petite pour le mouvement réel que pour tout autre mouvement imaginable partant du même état initial pour aboutir au même état final.

Signale l'analogie entre la mécanique et l'optique géométrique.

Il réalise le microscope électronique électrostatique.

### **Bravais (1811-1863) :**

1852 : il avait déjà imaginé les 14 réseaux qui portent son nom et qui peuvent être engendrés uniquement par des translations .

### **Bunsen (1811-1899) :**

Avec Kirchhoff, il publie : les raies sombres de Fraunhofer dans le spectre du soleil coïncident avec les raies d'émission de gaz et de vapeurs bien connues.

Il était ainsi démontré, ce que l'examen des météorites avait laissé imaginé, que la matière était constituée en dehors de notre planète des mêmes éléments chimiques que la Terre elle-même.

### **Von Mayer (1814-1878) :**

Il fait des hypothèses, justifiées par des mesures de Gay-Lussac en 1807, que l'énergie interne d'un gaz ne dépend pas de son volume.

1842 : Il découvre l'équivalence de la chaleur et de l'énergie et permet de mesurer les quantités de chaleur en unités mécaniques.

Il suppose que l'énergie constamment radié par le Soleil et les étoiles vient de l'énergie cinétique de météorites ricochant sur ces corps énormes.

### **Siemens (1816-1892) :**

il améliore les machine à induction qui permettent de produire du courant sans piles en remplaçant les aimants permanents par des électroaimants alimentés par le courant produit : il découvrirait alors le principe de la dynamoélectrique.

### **Joule (1818-1889) :**

1843 : Il écrit un mémoire sur les effets thermiques et chimique du courant électrique. Il établit par la mesure que la chaleur dégagée dans le circuit de fermeture d'une pile est égale à la variation d'énergie chimique de cette pile dans le cas où celle-ci fonctionne sans produire de courant ; et que cette chaleur diminue lorsque le courant fournit du travail.

Il répète les mesures de Gay-Lussac pour montrer que l'énergie interne des gaz ne dépend pas de leur volume.

Peu après 1845 : il publie ses mesures de l'équivalence mécanique de la chaleur, obtenues en transformant en chaleur de l'énergie mécanique, soit directement , soit par l'intermédiaire de l'électricité, soit par compression des gaz.

1852 : il découvre avec Lord Kelvin un effet qui porte leur nom : un gaz porté préalablement à une température assez basse, se refroidit un peu en passant par une tuyère d'une enceinte à haute pression à une pression plus basse.

### **Fizeau (1818-1896) :**

1849 : Il mesure expérimentalement la vitesse de la lumière à l'aide d'une roue dentée tournante.

### **Foucault (1819-1868) :**

1851 : Dans sa célèbre expérience, il montre que le plan d'oscillation d'un pendule tournait, il apporta donc la preuve indubitable de la rotation de la Terre.

1862 : il mesure expérimentalement la vitesse de la lumière à l'aide d'un miroir tournant.

### **Stokes (1819-1903) :**

1896 : Il déduit du mode de production des rayons X que ceux-ci sont de la lumière de longueur d'onde particulièrement courte.

### **Helmholtz (1821-1894) :**

Il applique le principe de moindre action à une série de phénomène non mécanique.

Pour lui, ce sont les oscillations sinusoidales perçues par l'oreille qui donnent le timbre aux sons.

Il met à l'épreuve, tout comme Abbe, la théorie de la nature ondulatoire de la lumière : elle est mise en défaut par des observations au microscope : l ne peut pas donner en lumière visible des images distinctes de deux points situés à une distance inférieure à  $10^{-5}$ cm.

En observant les décharges des bouteilles de Leyde, il en déduit que leur décharge est oscillante.

Il introduit la notion d'énergie potentielle : il donna pour la gravitation, les champs électriques et magnétiques statiques, les expressions de l'énergie.

Il calcul l'énergie des champs électrostatiques et magnétiques à partir des charges et des potentiels.

1854 : Il vit dans l'énergie de gravitation de la grande nébuleuse dont la condensation aurait formé le Soleil et les planètes (selon la cosmogonie de Laplace et Kant), un processus qui aurait du transformer cette énergie en d'autres formes.

### **Loschmidt (1821-1895) :**

En admettant que les molécules des gaz les plus simples étaient des sphères, il calcula leur diamètre en partant de leur libre parcours moyen et du volume qu'occupe une molécule-gramme du gaz à l'état liquide.

Il trouva pour les rayons l'ordre de grandeur exact,  $10^8$ cm, et pour le nombre de molécules par molécule-gramme,  $10^{23}$ .

On appelle ce nombre, que l'on connaît bien aujourd'hui beaucoup mieux, nombre de Loschmidt ou en France, nombre d'Avogadro.

### **Clausius (1822-1888) :**

C'est après la découverte de l'équivalence de la chaleur et de l'énergie qu'il put en déduire le deuxième principe de la thermodynamique.

1850 : il ouvre la voie du second principe de la thermodynamique.

1857 : il est obligé d'admettre que, en dehors des instants où elles s'entrechoquaient ou heurtaient les parois du récipient, les molécules de gaz devaient obéir à un mouvement rectiligne. Le principe de conservation de la quantité de mouvement exigeait alors que la pression du gaz soit proportionnelle à l'énergie cinétique moyenne des molécules, le facteur de proportionnalité étant une constante universelle.

1858 : Il montre que la lenteur de diffusion des gaz les uns dans les autres est moins une affaire de vitesse moléculaire qu'une affaire de libre parcours moyen entre deux chocs.

1865 : De la même manière que le premier principe de la thermodynamique introduit une fonction d'état (l'énergie), le second en apporte une nouvelle qu'il nomme l'"entropie". Alors que l'énergie d'un système complètement isolé de l'extérieur reste constante, son entropie, composée de la somme des entropies de ses constituants, augmente à chaque modification.

A partir de l'entropie, il conçoit la théorie de l'équilibre entre différents états condensés d'un corps pur.

### **Kirchhoff (1824-1887) :**

1847 : il résolut le problème de la distribution de courant selon les règles dites de Kirchhoff.

1874 : il définit la mécanique en ces termes : "la mécanique est la science du mouvement, elle doit décrire complètement et de la façon la plus simple les mouvements qui se produisent dans la nature.

1859 : il dit à propos du rayonnement thermique que dans toute enceinte fermée, vide, imperméable au rayonnement et maintenue à une température constante, il s'établit un rayonnement universel, indépendant de la nature des parois, fonction uniquement de la température, et que l'intensité du rayonnement de tout corps peut être déterminé à partir du rayonnement du "corps noir", à condition de connaître son absorption et son indice de réfraction.

Avec Bunsen, il publie : les raies sombres de Fraunhofer dans le spectre du soleil coïncident avec les raies d'émission de gaz et de vapeurs bien connues.

Il était ainsi démontré, ce que l'examen des météorites avait laissé imaginer, que la

matière était constitué en dehors de notre planète des mêmes éléments chimiques que la Terre elle-même.

### **Thomson, lord Kelvin (1824-1907) :**

1852 : il découvre avec Joule un effet qui porte leur nom : un gaz porté préalablement à une température assez basse, se refroidit un peu en passant par une tuyère d'une enceinte à haute pression à une pression plus basse.

1853 : Avec ces travaux sur la conservation de l'énergie, il donne une théorie mathématique à la décharge oscillante découvert par Helmholtz.

1853 : il donne l'énoncé définitif du principe de conservation de l'énergie : "par l'énergie d'un système matériel dans un état donnée, nous entendons la somme, mesurée en unités mécaniques, de tous les effets produits à l'extérieur du système, lorsque, d'une façon quelconque, le système passe de cet état à un état choisi arbitrairement comme état d'énergie nulle.

1854 : il ouvre la voie du second principe de la thermodynamique.

1878 : il formule une théorie de la pyroélectricité.

### **Hittorf (1824-1914) :**

Il observe la déviation dans un champ magnétique des "rayons cathodiques".

### **Balmer (1825-1898) :**

1885 : il avait remarqué que les fréquences des raies situées dans la partie visible du spectre de l'hydrogène étaient proportionnelles à  $1/(2)^2 - 1/(m)^2$ , m pouvant prendre toutes les valeurs de la série 3,4,5,6,7, ...

### **Stoney (1826-1911) :**

C'est lui qui donne le nom d'"électron" au porteur de la charge électrique élémentaire négative.

### **Varley (1828-1883) :**

1871 : Il découvre que les "rayons cathodiques" sont de charge négative.

### **Maxwell (1831-1879) :**

1855-56 : il traduit mathématiquement la notion de lignes de force créée par Faraday, il établit alors l'équation différentielle vectorielle bien connue, valable seulement dans le cas des champs stationnaires : toute ligne de courant crée une ligne fermée de champ magnétique.

1860 : Il tire de ses mesures sur les frottements internes, des valeurs des libres parcours moyens d'une molécules de gaz entre deux chocs, qui expliquait la lenteur de la diffusion des gaz.

Toutes ses considérations sur la théorie cinétique des gaz, ou plus précisément sur sa distribution des vitesses reposaient sur l'hypothèse de molécules sphériques et rigides.

Il affranchit les calculs de la théorie des gaz de l'hypothèse provisoire qui attribuait à toutes les molécules la même vitesse ; et donc formule la loi de distribution des vitesses à laquelle il laisse son nom.

1862 : il ajoute aux courants dans les conducteurs les "courants de déplacement" qui apparaissent dans tout diélectrique soumis à un champ électrique variable et qui constitue, avec les courants dans les conducteurs, un courant total fermé.

1865 : c'est lui qui, en partant de sa théorie de l'électricité et du magnétisme, conclut à la possibilité d'ondes électromagnétiques qui se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière.

1868-1869 : il vérifia que le rapport entre unités électromagnétiques et unités électrostatiques était la vitesse de la lumière, avec davantage de précision que Weber.

Il localise dans l'espace l'énergie calculée par Helmholtz à partir des charges et des potentiels, et en attribue sa part à chaque élément de volume.

### **Crookes (1832-1919) :**

1879 : Ses expériences firent naître l'idée que les "rayons cathodiques" étaient de nature corpusculaire.

### **Mendeleïev (1834-1907) :**

1869 : l'idée d'un lien interne entre tous les éléments émise par Prout reparue lorsque Mendeleïev eu l'idée de classer les éléments dans un tableau périodique, d'après leur comportement chimique.

### **Stefan (1835-1893) :**

1879 : il partit de mesures de physiciens français pour justifier et préciser la loi de Boltzman sur l'énergie du rayonnement du corps noir : loi de Stefan-Boltzmann.

### **Mach (1838-1916) :**

1860 : il prédit que les raies d'absorption des spectres d'étoiles, dues aux étoiles elles-mêmes, devaient être affectées par l'effet Doppler, alors qu'à côté d'elles devaient se trouver des raies d'absorption d'origine terrestres, donc inchangées.

### **Kundt (1839-1894) :**

1871 : il découvre la dispersion anormale (dispersion normale : si la fréquence augmente, l'indice de réfraction augmente ; dispersion anormale : si la fréquence augmente, l'indice de réfraction diminue).

### **Gibbs (1839-1903) :**

Sa mécanique statistique, d'un emploi plus simple que celle de Boltzmann, permet de retrouver le principe d'équipartition et ne s'applique pas seulement aux gaz.

### **Abbe (1840-1905) :**

Il met à l'épreuve, tout comme Helmholtz, la théorie de la nature ondulatoire de la lumière : elle est mise en défaut par des observations au microscope : l ne peut pas donner en lumière visible des images distinctes de deux points situés à une distance inférieure à  $10^{-5}$ cm.

### **Reynolds (1842-1912) :**

Etude de la dynamique des liquides et des gaz.

### **Rayleigh (1842-1919) :**

Etude de la dynamique des liquides et des gaz.

Avec Jeans, ils établirent une loi qui portent leur nom et qui relie le calcul de l'intensité du rayonnement en fonction de la fréquence et de la température : l'intensité serait proportionnelle à la température et au carré de la fréquence.

Cette loi n'est pas valable pour des fréquences très élevées (courtes longueur d'onde) car l'énergie totale du rayonnement doit rester finie.

### **Dewar (1842-1923) :**

1898 : Il réussit à liquéfier l'hydrogène.

### **Boltzmann (1844-1906) :**

Il donne la meilleure démonstration de la loi de distribution des vitesses initié par Maxwell.

Il introduit dans la théorie des gaz la différence de nature fondamentale existant entre les phénomènes thermiques et les phénomènes purement mécaniques :

Les phénomènes mécaniques sont par essence réversibles : ils peuvent aussi bien être reproduits en sens inverse, le signe qui précède le temps ne joue aucun rôle.

Au contraire, les phénomènes thermiques sont par nature aussi irréversibles que l'égalisation de deux températures différentes.

1877 : Il établit un rapport de plus en plus clair entre l'entropie et les probabilités. Le principe de Boltzmann s'énonce ainsi :

L'entropie est proportionnelle au logarithme de la probabilité de l'état du système, le facteur de proportionnalité étant une constante universelle, dite aujourd'hui constante de Boltzmann.

La valeur numérique de cette constante ne fut donnée qu'en 1900 par Max Planck.

L'augmentation de l'entropie, qui exprime le second principe de la thermodynamique, correspond alors à une évolution vers des états plus probables. Mais comme il existe au voisinage de l'état le plus probable, des états de probabilité peu inférieure, on constatera toujours de petits écarts, variables avec le temps, par rapport à lui.

Ces fluctuations thermodynamiques de l'entropie explique alors le mouvement brownien, découvert par Robert Brown. Ce mouvement est considéré après de nombreux doutes comme un phénomène purement thermique.

1884 : la théorie électromagnétique de la lumière lui suggéra que le rayonnement du corps noir exercé sur les parois de l'enceinte où il est produit, une pression égale à un tiers de son énergie par unité de volume ; il put en déduire par des considérations thermodynamique simples que cette énergie était proportionnelle à la quatrième puissance de la température absolue, le coefficient de proportionnalité étant une constante universelle : ceci conduit à la : loi de Stefan-Boltzmann.

### **Roentgen (1845-1923) :**

1895 : il étend la connaissance sur le spectre des ondes électromagnétiques en découvrant les rayons X.

### **Edison (1847-1931) :**

1870 : invention de la lampe à incandescence qui supplante l'arc au charbon qui était jusqu'ici la source de lumière électrique.

### **Goldstein (1850-1931) :**

1876 : Il nomme les rayons découvert par Plücker à la suite de ses études des décharges électriques dans les gaz : les "rayons cathodiques", il observe leur déviation dans un champ électrique.

### **Becquerel (1852-1908) :**

1896 : Il découvre la radioactivité peu de temps après la découverte de rayons X par Roentgen.

### **Poynting (1852-1914) :**

1884 : il ajoute sa théorie du flux d'énergie aux équations électromagnétiques de Maxwell.

### **Ramsay (1852-1916) :**

1904 : il met en évidence avec Soddy, l'apparition d'hélium dans des composés de radium. La seule explication possible était que l'hélium était engendré par le sodium.

### **Michelson (1852-1931) :**

Grâce à son expérience sur les interférences optiques, il donne une preuve de la rotation de la Terre. Il comparait directement les vitesses relatives de la lumière par rapport à la Terre dans différentes directions. Il réfuta alors l'hypothèse "du vent d'éther" qui s'il existait, aurait dû causer des différences dans les mesures de la vitesse de la lumière.

1887 : après avoir fait une première tentative, insuffisante, il refit un essai de sa célèbre expérience avec Morley. Celle-ci s'avéra alors tout à fait concluante.

1925,1926 : il effectue une mesure de la vitesse de la lumière sur les 70 km qui séparent le Mont Wilson du Mont Antonio, il obtint  $2.99796 \cdot 10^{10}$  cm/s.

1884 : Il pousse l'idée de la localisation de l'énergie des champs électriques et magnétiques énoncée par Maxwell en créant une théorie des courants d'énergie pour les champs variables, dans lesquels les éléments ne conservent pas leur part d'énergie, tout à fait comme si l'énergie électromagnétique était une substance.

### **Kamerlingh-Onnes (1853-1926) :**

Il mesure la variation de résistance des métaux jusqu'à des températures inférieures à 10° absolu.

En 1908, il réussit à atteindre des températures aussi basses que celle de la liquéfaction de l'hélium.

Il trouve alors que la résistance de métaux comme l'or, l'argent, le cuivre, tend vers une valeur limite qu'elle ne franchit pas.

1911 : Il constate d'abord avec le mercure, puis avec le plomb et l'étain, une disparition soudaine de la résistance, dès que la température tombait en dessous d'une valeur caractéristique de chaque corps. Il avait découvert la supra conductibilité.

Il découvrit aussi que sans modifier la température, on pouvait faire cesser la supraconductibilité par l'action d'un champ magnétique, la loi d'Ohm reprend alors ces droits.

### **Lorentz (1853-1928) :**

1875 : il montre que la théorie électromagnétique de la lumière contient les formules des intensités réfléchies et réfractées, déjà indiquées par Fresnel.

Avec Larmor, il transforme la théorie de Maxwell en "théorie des électrons" car la théorie de Maxwell ne rendait pas compte des propriétés optiques de la matière.

Avec Larmor, ils attribuèrent dans leur "théorie des électrons" une charge élémentaire au porteur de la charge électrique dans la matière.

1896 : sa théorie sur l'effet Zeeman le conduit à trouver le même rapport que Thomson et Wien notamment, entre la masse des particules responsables de l'émission des raies spectrales des atomes et leur charge : l'existence des électrons devient certaine.

1900 : Avec Poincaré, il montre qu'au flux d'énergie électromagnétique de Poynting est liée une quantité de mouvement électromagnétique.

Pour exprimer que par rapport à tout système d'inertie la lumière se propage dans toutes les directions avec la même vitesse, comme l'avait prédit l'expérience de Michelson, il faut une transformation simultanée des coordonnées spatiales et du temps. Cette "transformation de Lorentz" conduit par exemple à cette loi, que tout corps en mouvement

par rapport à un système d'inertie est plus court dans la direction du mouvement que s'il était au repos.

Cette contraction est très petite à faible vitesse, car elle est du second ordre ; mais si la vitesse se rapproche de la vitesse de la lumière, elle devient considérable, et la mesure du corps dans la direction du mouvement devrait devenir infiniment petite lorsque la vitesse du corps tend vers celle de la lumière.

Une autre conséquence de cette théorie est que la vitesse de la lumière est une limite supérieure, non seulement pour la vitesse des corps et la propagation de toutes les actions physiques à travers l'espace, mais également pour les vitesses relatives des systèmes d'inertie les uns par rapport aux autres.

### **Ostwald (1853-1932) :**

Il devient le centre d'une philosophie, "l'énergétique", d'où on prétendait déduire toutes les autres lois de la physique.

### **Poincaré (1854-1912) :**

1900 : Avec Lorentz, ils montrent qu'au flux d'énergie électromagnétique de Poynting est liée une quantité de mouvement électromagnétique.

### **Elster (1854-1920) :**

1899 : avec Geitel, il établit la loi de décroissance radioactive : le nombre de particules émises par seconde décroît exponentiellement en fonction du temps ; la constante intervenant dans cette loi, la période, caractéristique de chaque élément, c'est à dire le temps pendant lequel ce nombre diminue de moitié, varie d'un élément à l'autre dans de très grandes proportions.

### **Geitel (1855-1923) :**

1899 : avec Elster, il établit la loi de décroissance radioactive : le nombre de particules émises par seconde décroît exponentiellement en fonction du temps ; la constante intervenant dans cette loi, la période, caractéristique de chaque élément, c'est à dire le temps pendant lequel ce nombre diminue de moitié, varie d'un élément à l'autre dans de très grandes proportions.

### **Ewing (1855-1935) :**

Un certain Walburg découvrit en 1880 un phénomène qu'Ewing, qui le découvrit deux ans plus tard, nomma hystérésis : quand un champ magnétique croît à partir de zéro, l'aimantation ne suit pas la même loi que quand il revient vers 0.

Il en résulte qu'à une variation de l'aimantation correspond un travail qui se transforme en chaleur dans l'aimant.

### **Thomson (1856-1940) :**

1895 : de même que Perrin, il tranche pour le fait que les "rayons cathodiques" sont de charge négative...

1897 : avec d'autres physiciens, il réussit à mesurer le rapport entre la masse des particules constituant les rayons cathodiques avec leur charge, et trouvèrent une masse environ 200 fois plus petite que celles des atomes d'hydrogène.

Il interprète la conductibilité électrique des gaz en admettant qu'elle était due à des ions des deux signes et à des électrons libres.

1913 : il prouve l'existence de l'isotopie avec un élément non radioactif : le néon 20 et 22.

### **H. Hertz (1857-1894) :**

Il découvre les ondes électriques qui se propagent à la vitesse de la lumière.

1888 : ils découvrent les ondes électromagnétiques et montre qu'elles possèdent toutes les propriétés de la lumière : réfraction et réflexion, interférences, diffraction, polarisation, vitesse de propagation.

1890 : il donne la loi d'induction de Faraday sous forme d'équation différentielle.

Grâce aux résonateurs (circuits à éclateur avec décharges oscillantes), il explore les ondes dans l'atmosphère, détermine leur polarisation, leur réflexion et leur réfraction, leur interférence dont l'étude permet des mesures de longueurs d'ondes et de vitesse de propagation.

1892 : il remarque la propriété qu'ont les électrons dans la possibilité de traverser de grandes épaisseurs de matière.

### **Larmor (1857-1942) :**

Avec Lorentz, il transforme la théorie de Maxwell en "théorie des électrons" car la théorie de Maxwell ne rendait pas compte des propriétés optiques de la matière.

Avec Lorentz, ils attribuèrent dans leur "théorie des électrons" une charge élémentaire au porteur de la charge électrique dans la matière.

### **P.Curie (1859-1906) :**

1881 : Il formule une théorie de la piézoélectricité.

1895 : Il trouva que le diamagnétisme est indépendant de la température, tandis que la susceptibilité paramagnétique est inversement proportionnelle à la température absolue. Quant au ferromagnétisme, à une température caractéristique de la substance, dite "point de Curie", il se transforme en paramagnétisme normal décroissant au fur et à mesure que la température continue d'augmenter.

Avec sa femme Marie, il recherche la radioactivité dans tous les éléments chimiques connus.

1903 : il observe avec Laborde qu'un échantillon de radium particulièrement pur se maintient à une température plus élevée que son entourage. Ils virent dans cette observation la preuve d'une production continue de chaleur correspondant à environ 100 petites calories par gramme de radium et par heure.

### **Arrhenius (1859-1927) :**

1882 : dans sa théorie de la dissociation électrolytique qu'il publie plus tard, il eu l'idée d'attribuer à chaque ion une charge électrique élémentaire.

1887 : il publie la théorie de dissociation des électrolytes.

### **Planck (1859-1947) :**

Le principe de moindre action est la loi la plus générale de la nature.

1900 : C'est lui qui donne la valeur numérique à la constante de Boltzmann, facteur de proportionnalité entre l'entropie et l'état du système.

1900 : après de nouvelles mesures sur le rayonnement thermique faites par d'autres physiciens (Kurlbaum et Rubens), il établit une relation qui porte son nom se situant entre la loi de déplacement de Wien et la loi de Rayleigh-Jeans, ces deux lois constituant les cas limites de la lois de Planck.

1900 : il expose sa théorie des quanta, intégrant sa loi sur le rayonnement thermique.

1906 : Il montre que le zéro absolu est inaccessible.

1908 : il élargit la loi d'Einstein sur l'inertie de l'énergie : à tout courant d'énergie est lié une quantité de mouvement (au sens de la mécanique) la densité de mouvement par

unité de volume étant égale à la densité du courant d'énergie divisée par le carré de la vitesse de la lumière.

Il donne l'énoncé du troisième principe de la thermodynamique : l'entropie d'un corps pur tend vers 0 lorsque la température tend elle-même vers le zéro absolu.

Il fait l'hypothèse du "chaos moléculaire".

### **Lummer (1860-1925) :**

1895 : avec Wien, ils imaginèrent regarder à travers un petit trou, ne modifiant pas sensiblement l'état du rayonnement à l'intérieur de l'enceinte fermée, pour observer le rayonnement du "corps noir".

### **Bragg père (1862-1942) et fils :**

Ils reprenèrent une hypothèse de Barlow sur la structure du sel gemme NaCl :

L'idée d'entassements les plus compacts de sphères jouait ici de nouveau un rôle. Ils vérifièrent par les intensités des maxima d'interférences que cette structure était la bonne et ainsi ils disposèrent d'une mesure absolue de la constante réticulaire et purent donc étalonner d'une manière absolue, c'est à dire en centimètres, les longueurs d'onde des rayons X.

Le fils Bragg et ses collaborateurs firent d'abondantes mesures pour confirmer la théorie de Debye sur l'agitation thermique et les maxima d'interférence.

### **Lenard (1862-1947) :**

Il énonce deux lois qui surprennent à propos de l'effet photoélectrique :

- \* il existe une limite inférieure de la fréquence de la lumière excitatrice à partir de laquelle l'énergie de l'électron libéré augmente avec la fréquence.
- \* L'énergie de l'électron est d'autre part indépendante de l'intensité de la lumière qui détermine seulement le nombre d'électrons libérés par unité de temps.

1900 : il édifie une théorie appelée "théorie des Dynamides" pour expliquer la pénétration des électrons dans la matière. Cette théorie possède de fortes analogies avec le modèle de l'atome de Rutherford, imaginé plus tard.

### **Nernst (1864-1941) :**

1889 : il publie la théorie des forces électromotrices.

Il complète la théorie d'Arrhénius sur la dissociation électrolytique par sa théorie de la diffusion dans les solutions électrolytiques.

1906 : il formule le troisième principe de la thermodynamique qui vient compléter la notion d'entropie. Planck en donnera l'énoncé par la suite.

### **Wien (1864-1928) :**

1895 : avec Lummer, ils imaginèrent regarder à travers un petit trou, ne modifiant pas sensiblement l'état du rayonnement à l'intérieur de l'enceinte fermée, pour observer le rayonnement du "corps noir".

1897 : avec d'autres physiciens, il réussit à mesurer le rapport entre la masse des particules constituant les rayons cathodiques avec leur charge, et trouvèrent une masse environ 200 fois plus petite que celles des atomes d'hydrogène.

1898 : il réalise des expériences de déviation électromagnétique qui donnent naissance ensuite à la spectroscopie de masse.

1893 : Comme la loi de Stefan-Boltzmann concernait l'énergie de tout le spectre, son but était de trouver la distribution de l'énergie dans ce spectre. En combinant des considérations thermodynamiques avec le principe de Doppler, qu'il appliqua à la compression de la radiation contenue dans une enceinte fermée, vide, imperméable au

rayonnement, il obtint la loi de déplacement de Wien, qui permet de calculer la distribution de l'énergie à toutes les températures dès qu'on la connaît pour l'une d'entre elles.

Elle suffit d'autre part à expliquer pourquoi le maximum d'intensité du spectre se déplace vers les courtes longueurs d'ondes lorsque la température croît, donc pourquoi le spectre du rayonnement thermique reste invisible à des températures assez basses et présente un maximum dans le visible vers des températures d'environ 6000°.

Elle permet lorsqu'on a déterminé la position de ce maximum, de calculer la température du corps émetteur, le soleil par exemple.

### **Weiss (1865-1940) :**

1907 : Il étendit la théorie thermodynamique statistique aux substances ferromagnétiques, en supposant un champ magnétique interne dont l'intensité serait caractéristique du corps et de son aimantation présente, et qui, avec le champ magnétique, contribuerait à orienter les aimants élémentaires.

### **Zeeman (1865-1943) :**

Il découvre la décomposition des raies spectrales dans le champ magnétique : l'effet Zeeman.

### **Paschen (1865-1947) :**

Il mesure les longueurs d'ondes des raies de l'hydrogène et de l'hélium. La constante de Rydberg sera déterminée précisément grâce à ces mesures.

### **Lebedew (1866-1911) :**

1901 : Il effectue une expérience sur la pression par la lumière ou tout autre radiation électromagnétique sur les corps, qui montre que c'est la lumière qui apporte cette quantité de mouvement.

### **M.Curie (1867-1934) :**

Avec son mari Pierre, il recherche la radioactivité dans tous les éléments chimiques connus.

### **Millikan (1868-1953) :**

1913 : il utilise la méthode de mesure de la charge absolue décrite par Ehrenhaft en 1907. Il perfectionne cette méthode en 1914 et prouve par la même occasion qu'il n'existe pas de sous-électron.

### **Wilson (1869-1959) :**

Il découvre la chambre à brouillard qui permet de mettre en évidence la trajectoire des particules chargées.

### **Perrin (1870-1942) :**

1895 : de même que Thomson, il tranche le fait que les "rayons cathodiques" sont bien de charge négative.

### **Rutherford (1871-1937) :**

1897 : il distingue deux variétés différentes de radiation dans le rayonnement radioactif, les rayons alpha facilement absorbables et les rayons bêta plus pénétrants.

Ces derniers facilement déviés par un champ électrique ou dans un champ magnétique

furent très vite identifiés à des électrons.

Mais il dut passer plusieurs années à identifier la nature des rayons alpha.

1903 : il constata par des expériences de déviations que le rapport de charge à leur masse correspondait en grandeur et en signe à des atomes d'hélium doublement ionisés.

1908 : il confirme avec Geiger la production de chaleur découverte par P. Curie et Laborde. Ils comptent les particules alpha émises par seconde et mesurent l'énergie de ces particules par la méthode de déviation magnétique : ils calculent alors une production d'énergie du même ordre de grandeur de celle trouvée par Curie et Laborde.

1911 : il explique la diffusion des particules alpha par la matière en imaginant le modèle de l'atome qui porte son nom : l'atome est constitué d'un petit noyau chargé positivement et responsable de presque toute la masse, celui-ci étant entouré d'un cortège planétaire d'électrons.

De même que Soddy, il avait déjà exprimé que tout processus radioactif était en fait une transmutation d'élément, c'est à dire une transformation d'un élément chimique en un autre élément chimique.

### **Langevin (1872-1946) :**

Dans le quartz piézo-électrique, il trouve le moyen de créer des ondes sonores dans l'eau.

1905 : il donne l'interprétation théorique des comportements opposés des substances dia et paramagnétiques. Alors que le diamagnétisme repose sur l'effet d'induction du champ magnétique sur les électrons de la molécule ; ce sont des aimants élémentaires, de moment constant, librement orientables, qui causent le paramagnétisme. Le champ tend à les orienter malgré l'agitation thermique.

### **Jeans (1877-1946) :**

Avec Rayleigh, ils établissent une loi qui portent leur nom et qui relie le calcul de l'intensité du rayonnement en fonction de la fréquence et de la température : l'intensité serait proportionnelle à la température et au carré de la fréquence.

Cette loi n'est pas valable pour des fréquences très élevées (courtes longueur d'onde) car l'énergie totale du rayonnement doit rester finie.

### **Einstein (1879-1955) :**

Il fonde la théorie de la relativité qui introduit la vitesse de la lumière dans le vide comme une constante universelle.

Selon lui, le rayonnement thermique est caractérisé par des domaines spectraux et des quanta d'énergie appartenant à ces domaines : il donne à tout atome situé dans le corps noir une certaine probabilité d'absorption ou d'émission forcée proportionnelle à l'énergie du rayonnement. Aux atomes non excités, il ne donne qu'une probabilité d'absorption.

1905 ; il reprend l'idée de quanta dans sa théorie de l'effet photoélectrique.

### **Knipping (1883-1935) :**

1912 : avec Friedrich, il mit en évidence les phénomènes d'interférence de rayons X provoqués par la structure réticulaire des cristaux qui scella la victoire de l'hypothèse du réseau cristallin.

Ces expériences apportèrent aussi la preuve éclatante de la nature ondulatoire des rayons X.

### **Heisenberg (1901-1976) :**

1927 : il relie le champ interne des substances ferromagnétiques, supposé par Weiss, au spin des électrons par la théorie des quanta.

1928 : il appliqua la théorie de l'équivalent liaison chimique-énergie d'échange de Heitler et London aux électrons de conductibilité des métaux, il résolut alors le problème du ferromagnétisme :

C'est par un phénomène d'échange que dans le fer, le nickel, le cobalt et non dans les autres métaux, le moment magnétique des ces électrons s'orientent parallèlement et donnent naissance au ferromagnétisme.

1932 : avec Tamm et Ivanenko, ils exprimèrent l'idée que les noyaux atomiques sont composés de protons et de neutrons, que le nombre de charge représente le nombre de protons et que la masse des protons et des neutrons soit égale à la masse atomique

### **Ehrenhaft :**

1907 : il indiqua la méthode de mesure de la charge absolue de l'électron : suspension dans un champ électrique de la gouttelette d'huile portant un petit nombre de charges élémentaires. C'est Millikan qui l'utilisa par la suite.

### **Bohr :**

Il explique, par la théorie des quanta pourquoi il y a une certaine périodicité des propriétés chimiques.

1913 : il formule un modèle de l'atome différent de celui de Rutherford par l'introduction des conditions quantiques : alors que le modèle de Rutherford admettait pour le mouvement d'un électron autour du noyau une suite continue de trajectoires, les conditions quantiques imposées à celui de Bohr n'autorisaient qu'une suite discrète de trajectoires circulaires.

Voilà comment il interpréta la production des raies spectrales :

si l'atome passe d'un niveau d'énergie  $E_1$  à un niveau d'énergie plus faible  $E_2$  par suite de l'émission d'un quantum, la fréquence de celui-ci doit être, en vertu des idées qui se sont imposées dans l'interprétation de l'effet photoélectrique :  $\nu = (E_1 - E_2)/h$ .

Bohr donna alors une interprétation du spectre d'hydrogène.

Sa théorie des orbites circulaires pour les électrons, comme celle de Sommerfeld, satisfait à la formule de Balmer avec un coefficient de proportionnalité étant la constante de Rydberg.

### **Yukawa :**

1935 : il prédit l'existence du méson qui a une vie courte, peut porter une charge positive ou négative et possède une masse environ 200 fois plus grande que celle de l'électron.

### **Anderson :**

1932 : il découvre grâce la chambre de Wilson le positron, particule de charge positive et de masse sensiblement égale à celle de l'électron.

1937 : Il met en évidence le méson, toujours à l'aide de la chambre de Wilson.

### **Chadwick :**

1932 : Grâce à des expériences de radioactivité, il découvre le neutron, particule sans charge et de masse environ égale à celle du proton.

### **Soddy :**

1904 : il met en évidence avec Ramsay, l'apparition d'hélium dans des composés de radium. La seule explication possible était que l'hélium était engendré par le sodium.

1910 : il découvre l'isotopie.

De même que Rutherford, il avait déjà exprimé que tout processus radioactif était en fait une transmutation d'élément, c'est à dire une transformation d'un élément chimique en un autre élément chimique.

1910-1913 : avec Russel et Fajans, et d'après la classification des radio éléments dans le système périodique, il conçoit les lois de filiation radioactive :

\* L'émission d'une particule alpha abaisse le numéro atomique de deux unités,

\* Celle d'une particule bêta l'élève d'une unité,

comme l'exige l'identité du numéro atomique et de la charge du noyau, démontrée définitivement, en 1913 par spectroscopie des rayons X.

### Urey :

1932 : Découverte du deutérium.

### Klempereur :

1934 : il découvre qu'un électron et un positron peuvent s'annihiler et qu'au cours de cette annihilation, il se crée deux photons gamma. Au cours de celle-ci également, toute la masse des particules de départ, la masse au repos et la masse accrue par le mouvement, se transforme en énergie de radiation comme le prévoit la loi d'inertie de l'énergie prévue par Einstein.

### Dumond :

1949 : il réussit à mesurer la longueur d'onde de la radiation d'annihilation avec un spectromètre à cristal :  $2.43 \cdot 10^{-10}$  cm.

### Villard :

1900 : Découverte des radiations gammas, qui ne subissent ni déviation magnétique, ni déviation électrique et qui peuvent accompagner les deux autres sortes de rayonnement (alpha et bêta).

### Geiger :

1908 : il confirme avec Rutherford la production de chaleur découverte par P. Curie et Laborde. Ils comptent les particules alpha émises par seconde et mesurent l'énergie de ces particules par la méthode de déviation magnétique : ils calculent alors une production d'énergie du même ordre de grandeur de celle trouvée par Curie et Laborde.

### Von Schweidler :

1905 : il donne l'interprétation de la loi empirique de désintégration : la probabilité de désintégration est, pour tout atome, indépendante du temps et d'autant plus grande que la période de désintégration est plus petite.

### I. Curie :

1934 : Avec son mari Fr. Joliot, elle découvre des réactions nucléaires donnant naissance à des noyaux atomique instables qui se désintégraient ensuite en émettant un positon ; et ses atomes "artificiellement" radioactifs suivaient dans leur désintégration la loi de Schweidler.

### Fr. Joliot :

1934 : Avec sa femme I. Curie, il découvre des réactions nucléaires donnant naissance à des noyaux atomique instables qui se désintégraient ensuite en émettant un positon ; et ses atomes "artificiellement" radioactifs suivaient dans leur désintégration la loi de Schweidler.

1939 : avec Kowarski et Von Halban jr, il découvre la fission induite par neutron d'un noyau de l'isotope 235 de l'uranium restitue en moyenne deux nouveaux neutrons ; comme la fission de cet isotope peut être produite par des neutrons d'énergie très faible, une réaction en chaîne est possible dans certaines conditions, chaque fission d'une atome d'uranium entraînant la fission d'au moins un autre noyau, la réaction se développe à un rythme accéléré.

### **Fermi :**

1934 : il commença à utiliser les neutrons pour bombarder les atomes, depuis lors le nombre des noyaux stables ou radioactifs, formés par transmutation artificielle, ne cessa d'augmenter et atteint alors plusieurs centaines.

### **Hahn :**

1938 : Découverte de la fission de l'uranium, avec Strassmann : les éléments formés à l'issu de cette fission se plaçaient au milieu du tableau de Mendeleïev.

### **Strassmann :**

1938 : Découverte de la fission de l'uranium, avec Hahn : les éléments formés à l'issu de cette fission se plaçaient au milieu du tableau de Mendeleïev.

### **Neumann :**

1833 : il formule le rapport exact entre la symétrie géométrique des faces et les propriétés physiques des cristaux.

### **Friedrich :**

1912 : avec Knipping, il mit en évidence les phénomènes d'interférence de rayons X provoqués par la structure réticulaire des cristaux qui scella la victoire de l'hypothèse du réseau cristallin.

### **Compton :**

1923 : il réussit à observer la diffraction des rayons X par des réseaux artificiels.

1923 : la réalité des quanta de lumière s'affirme par sa découverte de la diffusion-Compton des rayons X : ce n'est pas seulement leur énergie qui intervient, mais aussi leur quantité de mouvement.

Il montra qu'à côté de cette diffusion sans changement de longueur d'onde, il se produisait une diffusion avec accroissement de la longueur d'onde.

La théorie qu'il donna de ce phénomène n'est rien d'autre que l'application des principes de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement à l'interaction d'un quantum de lumière et d'un électron libre :

Le photon apporte une certaine énergie et une certaine quantité de mouvement dont l'électron emporte après le choc une certaine partie ; et le quantum continue son chemin avec une énergie moindre, donc une fréquence diminuée, et dans une autre direction.

### **Elsasser :**

1925 : La théorie de Louis de Broglie lui suggéra l'idée que les électrons devaient, comme les rayons X, donner lieu à des phénomènes d'interférences en traversant les cristaux.

### **Davisson :**

L'expérience qu'il mena avec Germer permit d'établir une preuve directe et irréfutable des interférences des électrons avec les réseaux cristallins et elle permit de mesurer les longueurs d'onde associées aux électrons.

**Germer :**

L'expérience qu'il mena avec Davisson permit d'établir une preuve directe et irréfutable des interférences des électrons avec les réseaux cristallins et elle permit de mesurer les longueurs d'onde associées aux électrons.

**Debye :**

1914 : il montra que l'agitation thermique n'avait pas d'influence sur la position et la largeur des maxima d'interférence, mais qu'elle en diminuait l'intensité. Cette théorie fut confirmée par d'abondantes mesures effectuées entre 1926 et 1933 par le fils Bragg et ses collaborateurs.

1915 : avec des expériences d'interférences des rayons X, il détermina la forme et la grandeur de molécules de gaz individuelles. D'autres physiciens comme Mack et Wierl firent la même chose avec les électrons.

Ces études ont fait connaître les distances séparant les atomes de nombreuses molécules diatomiques, comme l'azote, l'oxygène, le fluor ...

Ces distances sont comprises entre  $1 \cdot 10^{-8}$  et  $3 \cdot 10^{-8}$  cm.

On apprit encore que la molécule de gaz carbonique  $\text{CO}_2$  est rectiligne, alors que celle de l'eau,  $\text{H}_2\text{O}$ , présente un angle.

La molécule de tétrachlorure de carbone  $\text{CCl}_4$  a été particulièrement bien mesurée : les atomes de chlore forment un tétraèdre équilatéral au centre duquel se trouve l'atome de carbone.

Les conceptions stéréochimiques élaborées en 1874 par Van't Hoff trouvent ici une confirmation magnifique.

**Kossel :**

1935 : Il trouve que les sources de radiation à l'intérieur même des cristaux subissent des effets d'interférences. Ceux-ci présentent des maxima et des minima bien nets dans des directions bien précises.

**G. Hertz :**

1913 : il découvrit avec Franck, que le freinage des électrons par les atomes d'un gaz s'effectue par échelons discontinus : le transfert de l'énergie de l'électron incident à l'atome heurté ne se fait que par des quantités discrètes, dépendant de la nature de l'atome : les atomes ont alors des états d'énergie discrets, tout à fait semblables à ceux que Planck avait attribué à l'oscillateur, à cela près que les niveaux d'énergie ne sont pas ici équidistants.

**Franck :**

1913 : il découvrit avec G. Hertz, que le freinage des électrons par les atomes d'un gaz s'effectue par échelons discontinus : le transfert de l'énergie de l'électron incident à l'atome heurté ne se fait que par des quantités discrètes, dépendant de la nature de l'atome : les atomes ont alors des états d'énergie discrets, tout à fait semblables à ceux que Planck avait attribué à l'oscillateur, à cela près que les niveaux d'énergie ne sont pas ici équidistants.

**Stark :**

1913 : il découvrit l'effet qui porte son nom, c'est à dire la décomposition des raies spectrales de l'hydrogène sous l'action du champ électrique.

**Sommerfeld :**

1916 : il reprend le modèle de Bohr de l'atome et généralise la forme des trajectoires des électrons autour de l'atome en disant que celles-ci pouvaient être elliptiques.

C'est sa version des orbites électroniques qui s'avéra préférable à celle de Bohr : elle offrait à chaque niveau d'énergie de l'atome non perturbé plusieurs orbites. En perturbant l'atome par l'action d'un champ électrique ou d'un champ magnétique, les différentes orbites du niveau, initialement unique, prennent des énergies un peu différentes les unes des autres, le niveau se décompose, ainsi que les raies spectrales.

### Goudsmit :

1925 : Avec Uhlenbeck, en se basant sur des données spectroscopiques, attribuèrent à l'électron un moment magnétique et un moment de rotation "le spin", deux grandeurs étroitement liées à la constante de Planck.

### Uhlenbeck :

1925 : Avec Goudsmit, en se basant sur des données spectroscopiques, attribuèrent à l'électron un moment magnétique et un moment de rotation "le spin", deux grandeurs étroitement liées à la constante de Planck.

### Pauli :

1925 : Il énonce le principe d'exclusion en vertu duquel deux électrons du cortège électronique d'un atome ne peuvent pas avoir tous leur nombre quantique égaux.

### De Broglie :

1924 : En se basant sur des considérations relativistes, il associa à tout mouvement d'une masse ponctuelle une onde, dont la longueur d'onde est fonction de la quantité de mouvement de la particule et de la constante de Planck,  $h$ .

Cette théorie se vérifia à l'aide de nombreuses expériences : interférences des électrons tombant sur des cristaux (Elsasser, Davisson et Germer), expériences de diffractions avec des rayons atomiques d'hélium et des rayons atomiques ou moléculaires d'hydrogène (Stern et Johnson).

Elle trouva aussi son succès dans son application à la désintégration radioactive par émission de rayons alpha. Elle permet à une particule de traverser une barrière de potentielle lorsque son énergie est suffisante pour la franchir par au dessus, comme l'exigeait la mécanique classique : c'est ce que l'on appelle "l'effet Tunnel".

### Schrödinger :

1926 : en se plaçant d'un point de vu différent, il établit pour l'onde associée à une particule, une équation aux dérivées partielles, analogue à l'équation d'onde.

Il montra que cette équation, jointe à des conditions aux limites appropriées, donnait une suite discrètes d'états d'énergie. Il obtient pour l'hydrogène les mêmes niveaux d'énergie que par la méthode de Bohr. Sa théorie permettait donc de retrouver aussi la formule de Balmer.

### Heitler :

1927 : avec London, ils rédigèrent un mémoire sur la molécule de dihydrogène et attribuèrent à la liaison chimique entre deux atomes identiques ou peu différents une "énergie d'échange".

Cette énergie qui n'a pas d'équivalent en mécanique classique est une conséquence mathématiques de l'équation de Schrödinger

### London :

1927 : avec Heitler, ils rédigèrent un mémoire sur la molécule de dihydrogène et attribuèrent à la liaison chimique entre deux atomes identiques ou peu différents une "énergie d'échange".

Cette énergie qui n'a pas d'équivalent en mécanique classique est une conséquence mathématiques de l'équation de Schrödinger

