

# GAZETA DE FÍSICA

Fundador: ARMANDO GIBERT

Direcção: J. Xavier de Brito — Rómulo de Carvalho — Armando Gibert — Lídia Salgueiro

---

---

Vol. I, Fasc. 4

Julho de 1947

---

---

## PAUL LANGEVIN

*O professor Paul Langevin foi um dos maiores físicos do nosso tempo e a sua morte consternou todos os que se dedicam à Ciência que tanto lhe ficou devendo. A Gazeta de Física, apesar da sua tão modesta categoria, não podia deixar de lhe prestar a sua sentida homenagem, dedicando-lhe a maior parte deste número. Embora dispondo apenas de uns escassos meses para a obtenção de originais não nos poupamos a esforços para conseguir a participação directa de alguns dos melhores colaboradores de Langevin, a quem agradecemos os artigos que nos enviaram. Desejamos também manifestar o nosso reconhecimento ao Ex.<sup>mo</sup> Sr. M. Dany, adido de Imprensa da Legação de França, que quis fazer o favor de nos ceder a fotografia que publicamos na capa deste número.*

A DIRECÇÃO

### 1. TRIBUNA DA FÍSICA

#### L'OEUVRE SCIENTIFIQUE DU PROFESSEUR PAUL LANGEVIN

Avec la disparition de Paul LANGEVIN la Science perd un de ses représentants les plus justement célèbres non seulement dans le monde savant mais encore dans le grand public.

L'oeuvre de ce maître de la pensée scientifique est remarquable par sa diversité, qui fait qu'aucun chapitre de la Physique ne lui est resté étranger et par le fait qu'il projeta une vive lumière sur les problèmes les plus fondamentaux relatifs à la nature des gran-

deurs physiques, les bases de la mécanique, les notions d'espace, de temps, les principes de causalité et la nature des grandeurs physiques.

Né en 1872 dans une famille de condition très modeste, Paul LANGEVIN après avoir fait ses premières études et acquis le grade de bachelier, s'orienta vers une carrière scientifique en devenant élève de l'Ecole de Physique et Chimie de la Ville de Paris (1888-1891). C'est ainsi qu'il devint un disciple

de Pierre CURIE alors professeur de cette école. L'influence d'un tel maître sur l'esprit du jeune étudiant remarquablement doué joua un rôle déterminant pour sa vocation scientifique.

Paul LANGEVIN devint ensuite élève de l'École Normale supérieure (1893-1897) où, comme pour l'École de Physique et Chimie, il entra premier et sortit avec le même rang. Dans le même temps il fit connaissance de Jean PERRIN ; les deux jeunes savants nouèrent les relations les plus amicales et les plus fécondes pour les échanges d'idées scientifiques. Cette grande amitié fut brisée seulement par la mort de Jean PERRIN qui s'exila de France en 1941 au moment de l'occupation allemande.

#### *Recherches sur les ions gazeux*

Encore élève à l'École Normale, Paul LANGEVIN commença ses recherches dans le domaine de la conductibilité électrique des gaz ionisés. A cette époque, la découverte des rayons de Röntgen, toute récente, orientait bien des chercheurs dans l'étude des manifestations diverses de ce nouveau rayonnement qui devait se montrer extraordinairement fécond. Un séjour au laboratoire Cavendish à Cambridge élargit le champ de connaissances de Paul LANGEVIN et indépendamment de SAGNAC il étudia la réémission des rayons X secondaires (1897).

De retour en France il reprit activement l'étude des propriétés des ions dans les gaz et en 1902 il soutint sa thèse de Doctorat sur ce sujet. Paul LANGEVIN analyse de manière très pénétrante le mécanisme du mouvement des ions gazeux, d'une part sous l'influence du champ électrique dû aux charges électriques des autres ions, soit sous l'influence des chocs dus à l'agitation thermique. Dans cette étude des phénomènes de diffusion des ions et de recombinaison, des contributions nouvelles de premier ordre sont apportées au point de vue théorique et au point de vue expérimental.

Le gaz intérieur à un condensateur plan étant soumis pendant un temps très court à

l'action d'un rayonnement ionisant, la manière dont varie la quantité d'électricité recueillie par les armatures en fonction de la différence de potentiel entre celles-ci ne dépend que d'une seule quantité, dépourvue de dimension

$$\varepsilon = \frac{K\alpha}{4\pi(k_1 + k_2)}$$

$K$  désigne la constante diélectrique du gaz,  $\alpha$  le coefficient de recombinaison des ions,  $k_1$  et  $k_2$ , leurs mobilités.

Après avoir vérifié la forme de la courbe de saturation par voie expérimentale, Paul LANGEVIN en déduit une méthode pour la mesure de cette constante  $\varepsilon$  et par suite en déduit la valeur du coefficient de recombinaison  $\alpha$  lorsque les mobilités sont connues.

Des considérations de théorie cinétique permettent de voir que le coefficient  $\varepsilon$  doit être inférieur à l'unité, et tendre vers cette limite lorsque la pression du gaz augmente. Cette conclusion remarquable est très bien vérifiée par l'expérience, les valeurs de ce coefficient variant depuis 0,01 à 0,90 pour l'air lorsque la pression croît de 0,2 à 5 atmosphères.

De nombreuses considérations fort intéressantes se rattachent à ces propriétés des ions, les coefficients  $\varepsilon$  et  $\alpha$  diminuent très rapidement aux faibles pressions. Il en résulte une faible recombinaison des ions dans la haute atmosphère et par suite une forte concentration d'équilibre de ces ions sous l'action du rayonnement solaire ionisant. Ces propriétés permettent d'expliquer l'existence de la couche de Heaviside et la persistance de la conductibilité pendant la période nocturne.

Parmi les résultats expérimentaux les plus remarquables de ces recherches il faut citer la découverte des gros ions de l'atmosphère dont la mobilité est plusieurs milliers de fois plus petite que celle des ions ordinaires. Les dimensions de ces gros ions et leur origine ont pu être complètement précisées. Il est possible de les identifier à des gouttelettes d'eau ayant un rayon du centième de micron ayant capté, par attraction électrostatique, la charge d'un ion gazeux ordinaire.

Une application technique fort intéressante de ce mécanisme de formation des gros ions se retrouve dans les procédés de dépoussièrage électrique (procédé Cottrell).

La distinction entre les ions ordinaires et les gros ions est à la base de l'explication de la formation des deux types de nuages. Dans la basse atmosphère (altitude inférieure à deux mille mètres) les gouttelettes proviennent d'une condensation de la vapeur d'eau sur les particules neutres et les gros ions de l'air, cette condensation n'exigeant pas une sursaturation importante ; l'air ainsi débarrassé des particules en suspension ne pourra donner de gouttelettes nouvelles qu'à la faveur d'une sursaturation plus importante. Par des courants ascendants et refroidissement adiabatique cette nouvelle sursaturation sera atteinte à une altitude beaucoup plus élevée (supérieure à cinq mille mètres) et la nouvelle condensation de la vapeur se fera grâce aux ions ordinaires. Ainsi se trouve expliquée l'existence des deux types de nuages, sans éléments intermédiaires, les stratus cumulus ou nimbus, d'altitude inférieure à deux mille mètres et les nuages supérieurs, les cirrus, d'altitude de l'ordre de dix mille mètres.

Les recherches sur les ions dans les gaz devaient conduire Paul LANGEVIN à analyser les échanges de quantité de mouvement entre particule électrisée et molécules gazeuses en fonction de la vitesse de la particule.

En perfectionnant la méthode des libres parcours de la théorie cinétique des gaz, c'est à dire en tenant compte de la loi de probabilité suivant laquelle se répartissent les trajets entre deux chocs, il est possible d'en déduire la mobilité. Le résultat obtenu, qui diffère d'un facteur deux vis à vis des valeurs anciennes a été largement utilisé par les physiciens et modifiait dans le même rapport numérique la coïncidence numérique remarquable de la théorie des métaux donnée par Drude entre le quotient des conductibilités électrique et thermique expérimentales obéissant à la loi de Wiedemann-Franz. Dans un travail ultérieur Paul LANGEVIN reprend le problème de manière plus complète en ne

faisant aucune hypothèse sur la loi particulière d'interaction entre molécules. Le problème de la mobilité et de la diffusion se trouve traité sous une forme très générale. Il est possible de montrer comme conséquence que les ions dans les gaz sont constitués par une seule couche de molécules maintenues autour d'un centre par attraction électrostatique. Ce centre est un électron dans le cas des ions négatifs et une molécule ionisée dans le cas des ions positifs, cette différence de constitution explique les valeurs différentes des mobilités. Dans le cas des gaz à haute température (flammes) la formule montre que les ions négatifs sont les électrons, les ions positifs les atomes ou des molécules ionisées.

Dans le même ordre d'idée Paul LANGEVIN, en collaboration avec J. J. REY a pu montrer qu'il était impossible d'expliquer la conductibilité des gaz (que l'on sait être due à l'action des rayons cosmiques) par des chocs d'agitation thermique exceptionnels. Dans ce cas, en effet, le rôle d'une élévation de température se traduirait par une augmentation rapide de la conductibilité du gaz ce qui est en désaccord avec les faits.

#### *Recherches sur le mouvement brownien et la thermodynamique*

On doit également à Paul LANGEVIN des recherches sur la théorie du mouvement brownien. En décomposant l'action des chocs moléculaires agissant sur une particule en deux parties, l'une régulière (traduisant l'effet de viscosité) et l'autre irrégulière (déterminant le mouvement brownien) et en exprimant que l'énergie cinétique moyenne de la particule est celle de la loi d'équipartition de l'énergie on justifie immédiatement la formule d'Einstein.

Les problèmes posés par la théorie cinétique des fluides devaient déterminer Paul LANGEVIN, en collaboration avec Jean PERRIN, à analyser le second principe de la thermodynamique. Aux termes du nouvel énoncé proposé par ces savants un système complexe abandonné à lui même ne peut repasser par le même état au cours de son évolution spon-

tanée. Ce nouvel énoncé, en soulignant le caractère statistique du second principe laisse prévoir les possibilités de limitations telles que les fluctuations les présentent.

#### *Recherches sur l'électromagnétisme*

La physique et la structure des électrons a vivement retenu l'attention de Paul LANGEVIN. Outre divers travaux se rapportant à l'origine de la masse de l'électron ainsi que la variation avec la vitesse, Paul LANGEVIN montra que la théorie classique du rayonnement électromagnétique interprète complètement les phénomènes de diffusion de la lumière dans les milieux matériels fluides par exemple. Une justification de la théorie du bleu du ciel peut être faite dans cette voie en même temps que se trouve introduite une représentation des molécules ayant une anisotropie électrique. Les divers physiciens qui ont étudié ces questions ont fait usage de manière systématique de ce modèle souvent désigné sous le nom de «molécule de Langevin». La théorie de Rayleigh se trouvait intégrée de la sorte dans la théorie électromagnétique tout en étant complétée.

#### *Recherches sur le dia et le paramagnétisme*

La théorie du magnétisme doit de grands progrès à l'oeuvre de Paul LANGEVIN. Depuis l'époque où AMPERE avait attaché certains phénomènes magnétiques à l'action des courants électriques et envisagé l'existence de courants moléculaires à l'échelle microscopique, cette idée fondamentale n'avait guère évolué.

Ce fut le mérite de Paul LANGEVIN de reprendre cette idée en faisant jouer son rôle à l'électron et de ce travail fondamental devait se dégager une théorie du diamagnétisme et une théorie du paramagnétisme.

Paul LANGEVIN suppose qu'à l'intérieur des atomes les électrons décrivent des orbites fermées. Si  $e$  est la charge élémentaire,  $S$  l'aire de l'orbite balayée dans le temps  $\tau$  le moment magnétique  $M$  sera  $M = eS/\tau$ . L'interprétation des phénomènes diamagnétiques se fait en admettant que dans de telles substances la somme géométrique des moments

magnétiques est nulle. Si l'ensemble est soumis à l'action d'un champ magnétique extérieur les divers électrons ont leurs trajectoires modifiées, le nouveau mouvement étant celui qui existait primitivement mais vis à vis d'un système d'axes tournant autour de la direction du champ magnétique  $H$  avec la vitesse angulaire de Larmor  $\omega = He/2m$ . Il en résulte que l'atome prend un moment magnétique supplémentaire, dirigé en sens inverse du champ magnétique et proportionnel à celui-ci.

Cette théorie fait donc prévoir que la propriété diamagnétique doit présenter, en première approximation, un caractère atomique et que la constante relative à une molécule doit être la somme des constantes atomiques. En outre cette propriété diamagnétique ne doit pas dépendre de la température; enfin la constante atomique a un ordre de grandeur déterminé par le nombre des électrons et les dimensions des atomes.

Toutes ces conséquences sont en excellent accord avec les faits expérimentaux et cette interprétation du diamagnétisme est universellement acceptée.

En ce qui concerne le paramagnétisme, Paul LANGEVIN l'interprète par une action d'orientation des atomes porteurs d'un moment magnétique, l'orientation étant déterminée par l'action du champ magnétique extérieur. L'application de la loi de BOLTZMANN relative à la distribution statistique d'un tel ensemble permet de dégager les conséquences suivantes :

- a) Le moment magnétique et par suite la susceptibilité paramagnétique dépendra de la température absolue et variera en raison inverse de celle-ci (loi découverte expérimentalement par P. CURIE).
- b) Sous l'influence d'un champ magnétique de grandeur croissante une saturation du moment magnétique développé s'établit progressivement. La relation obtenue, connue sous le nom de formule de LANGEVIN s'est révélée en très bon accord avec l'expérience pour divers corps et en particulier le sulfate de gadolinium.

Cette théorie a permis de prévoir un phénomène remarquable qui a été mis à profit pour l'obtention des très basses températures. L'orientation paramagnétique doit s'accompagner d'une élévation de la température et réciproquement une désaimantation adiabatique doit se traduire par un abaissement de la température. C'est en mettant à profit cette dernière propriété que l'on a pu (DE HAAS) obtenir les plus basses températures que l'on sache actuellement réaliser.

Les prolongements des théories de Paul LANGEVIN ont été importants dans le domaine du magnétisme. En ajoutant l'hypothèse du champ moléculaire P. WEISS a pu donner une première théorie très féconde des phénomènes de ferromagnétisme. Les nouveaux apports théoriques dus à VAN VLECK, PAULI, HEISENBERG ont complété ce bel édifice en laissant intacts les résultats établis antérieurement.

La théorie de l'orientation des molécules paramagnétiques sous l'influence du champ magnétique devait servir de modèle, peu de temps plus tard, à la théorie des diélectriques développée avec éclat par P. DEBYE.

La similitude des deux théories est frappante et le nombre important des travaux suscités par cette théorie des diélectriques doit se rattacher indirectement à l'oeuvre de Paul LANGEVIN.

#### *Biréfringences électrique et magnétique*

Les recherches relatives à l'orientation statique des molécules sous l'action d'un champ magnétique devaient naturellement conduire Paul LANGEVIN à l'étude des phénomènes de biréfringence électrique et magnétique. COTTON et MOUTON avaient émis l'idée que ces effets de biréfringence étaient dus à l'action orientatrice des champs électrique ou magnétique sur des molécules présentant une anisotropie optique ainsi qu'une anisotropie électrique ou magnétique. La théorie développée quantitativement par Paul LANGEVIN en utilisant la loi de BOLTZMANN lui permettait de rendre compte de la loi d'action suivant les carrés des champs en même temps

que la dépendance des constantes de KERR et de COTTON-MOUTON en raison inverse de la température absolue. L'explication développée par Paul LANGEVIN permettait en même temps de réfuter celle imaginée par VOIGT selon laquelle l'effet COTTON-MOUTON serait apparenté au phénomène de ZEEMAN. Le mémoire de Paul LANGEVIN sur les biréfringences électrique et magnétique a été la base de nombreuses recherches théoriques et expérimentales sur ce sujet.

#### *La relativité*

Le renouvellement des idées qui s'est produit avec la théorie de la relativité ne devait pas laisser Paul LANGEVIN à l'écart des transformations fondamentales amorcées par LORENTZ et développées par A. EINSTEIN.

Après avoir montré que le résultat négatif de l'expérience de TROUTON et NOBLE peut s'expliquer de la même manière que pour l'expérience de MICHELSON, c'est à dire par la contraction dans le sens du mouvement des éléments constituant le condensateur, Paul LANGEVIN s'attache à la question essentielle des relations entre la Mécanique et la cinématique.

La Mécanique, au XIX<sup>e</sup> siècle semblait avoir atteint un développement parfait grâce aux succès remportés en Astronomie. Il semblait que l'ensemble des sciences exactes devait prendre modèle sur la Mécanique de Newton. Or à la base de celle-ci se trouvaient des notions à priori telles que la notion de masse, de temps absolu ainsi qu'une distinction formelle entre la notion de masse et celle d'énergie.

Ce fut le grand mérite de Paul LANGEVIN d'avoir puissamment établi l'interdépendance entre des notions à priori distinctes et d'avoir montré que la Mécanique n'est qu'une branche de la Physique dont elle n'aurait jamais dû se séparer.

Il montra en effet que si l'on associe le principe de conservation de l'énergie à une cinématique déterminée on en déduit les lois fondamentales d'une mécanique particulière.

C'est ainsi que l'utilisation de la cinématique de Galilée qui repose sur la notion de temps absolu permet de justifier les lois de la mécanique de Newton avec la notion de masse absolue pour la matière.

Si l'on associe au principe de conservation de l'énergie la cinématique de Lorenz-Einstein, exigée par les lois de l'électromagnétisme on justifie complètement la dynamique de relativité. Dans cette nouvelle dynamique la séparation établie entre les notions de masse et d'énergie se trouve abolie. La contribution de Paul LANGEVIN dans ces développements a été très importante — il a pu justifier, par des raisonnements différents et plus généraux plusieurs résultats dus à Einstein.

Divers problèmes relatifs à la mécanique relativiste ont été traités par Paul LANGEVIN et en particulier la discussion de l'expérience de Sagnac, l'interprétation des écarts des masses atomiques vis à vis des multiples de la masse de l'atome d'hydrogène, etc.

Les développements de nos connaissances sur les filiations radioactives et les bilans énergétiques ont permis de justifier complètement les idées développées par Einstein et Langevin.

#### *Les ondes ultrasonores*

Les travaux de Paul LANGEVIN sur les ondes ultrasonores devaient mettre en pleine lumière ses qualités de savant et d'ingénieur au sens le plus élevé de ce terme.

A la suite du retentissant naufrage du Titanic la question du repérage des obstacles à la navigation était devenue à l'ordre du jour; mais la campagne des sous-marins allemands pendant la guerre de 1914-1918 donnait à ce problème une importance encore plus grande. En collaboration avec l'ingénieur CHILOWSKI, Paul LANGEVIN envisagea l'utilisation de signaux acoustiques dirigés dont on mesure le temps d'écho séparant l'émission de la réception. On était ainsi conduit à utiliser des ondes acoustiques de petites longueurs d'ondes pour permettre l'emploi de faisceaux dirigés. Pour réaliser des appareils émetteurs d'ondes acoustiques de fréquences élevées

Paul LANGEVIN eut l'idée d'utiliser la transformation d'oscillations électriques en oscillations mécaniques par l'emploi des propriétés piézo électriques du quartz. Malgré la petitesse de ces effets piezo électriques découverts par les frères CURIE — il a été possible d'en tirer parti pour servir à l'émission et à la réception des ondes ultrasonores en utilisant les phénomènes de résonance.

La technique des ultra sons a permis tout d'abord de disposer d'un procédé très précieux pour assurer le sondage en mer et la détection des obstacles sous-marins. Il n'est pas excessif de dire que la technique imaginée par Paul LANGEVIN a joué un rôle de premier plan dans la lutte contre les sous-marins allemands dans la dernière guerre, et sans l'emploi des appareils à ultra sons la bataille de l'Atlantique n'aurait peut être pas été gagnée par les Alliés. Mais cette même technique s'est révélée comme très précieuse pour les besoins de paix et en particulier pour la pêche, les ultra sons pouvant servir à la détection des bancs de poissons.

Enfin, au laboratoire, le nombre de travaux et recherches consacrés aux ultra sons s'est accru de manière très considérable dans ces dernières années, non seulement en Physique mais aussi en Chimie et en Biologie.

Il y aurait encore beaucoup à dire sur l'extraordinaire activité de la pensée créatrice de Paul LANGEVIN. Le rayonnement intellectuel de ce grand génie était tout à fait remarquable; son enseignement au Collège de France attirait non seulement un public de jeunes physiciens mais aussi des maîtres éminents qui venaient prendre contact avec les nouvelles théories ou recherches exposées et repensées par Paul LANGEVIN. Les dernières années de sa vie furent extrêmement assombries par la guerre. Dès 1940 il fut emprisonné par les nazis et traité comme un vulgaire malfaiteur; pendant la totalité de l'occupation allemande son emprisonnement fut transformé en une mise en résidence surveillée à Troyes où de nombreuses amitiés s'appliquèrent à rendre son séjour moins pé-

nible. Il eut dans cette période le chagrin d'être séparé de sa fille déportée à Auschwitz et de perdre son gendre Jacques SOLOMON, physicien de grande valeur, fusillé par les Allemands. Dans ces dures épreuves qu'il subit avec la plus grande constance et la plus

haute dignité il sut être un modèle de courage et montra ainsi qu'il était une aussi grande figure morale qu'il avait été un grand génie.

R. LUCAS

DIRECTEUR D'ÉTUDES A L'ÉCOLE DE PHYSIQUE  
ET DE CHIMIE DE LA VILLE DE PARIS

### RECORDAÇÕES DE PAUL LANGEVIN

A recordação visual que qualquer de nós guarda das personalidades científicas que um dia viu ou com quem contactou, depende de um sem número de factores, mas tenho de mim para mim que aquele que mais pesa é o entusiasmo que essas personalidades emprestam à exposição das suas ideias. Com efeito, quando fecho os olhos e recordo os grandes homens de ciência que tive ocasião de conhecer durante a minha estadia — já distante — em Paris, duas imagens predominam sobre todas as outras e vejo-as sempre a exprimir-se com aquele entusiasmo que souberam guardar até ao fim da vida. São elas as de Jean Perrin e de Paul Langevin. Vi pela primeira vez Paul Langevin em 1931 a dirigir o seminário de Física do Collège de France.

Era expositor nessa tarde Rosenblum que vinha apresentar ao seminário os novos resultados que tinha obtido no estudo da estrutura fina do espectro magnético da radiação alfa. Este fenómeno que Rosenblum tinha descoberto dois anos antes, havia despertado um vivo interesse entre os Físicos, quer experimentais quer teóricos. Com efeito, Rutherford assinalara logo após a descoberta de Rosenblum toda a importância que esta podia ter sobre as concepções, então correntes, relativas aos espectros emitidos nas transmutações radioactivas e Louis de Broglie não exitara em dizer que, se a estrutura fina do espectro magnético da radiação alfa permitisse concluir que o princípio de combinação de Ritz ainda era aplicável aos estados energéticos nucleares, ela constituiria a chave

para a introdução da mecânica quântica nos núcleos atómicos. Rosenblum retomara no fim de 1930 as suas experiências servindo-se do grande electro-imã que a Academia das Ciências de Paris tinha podido construir graças aos donativos obtidos na jornada Pasteur, electro-imã que era então um instrumento único de trabalho em todo o mundo. Rosenblum tinha em vista nesta nova série de investigações verificar dentro de que medida os resultados experimentais suportavam as ideias teóricas com que alguns Físicos, designadamente Feather e Gamow, tinham procurado interpretar o fenómeno da estrutura fina. Após alguns meses de árduas investigações, Rosenblum estabelecera que, do ponto de vista energético, havia um acordo satisfatório entre os dados teóricos e experimentais; porém, atingido este resultado, Rosenblum tinha sido levado a pensar, e dissera-o na roda dos camaradas mais íntimos do Laboratório, que as ideias teóricas sobre o assunto só poderiam ser definitivamente confirmadas ou infirmadas, se fosse possível determinar com precisão as intensidades relativas das riscas do espectro alfa. Esta ideia de Rosenblum surgira-lhe a oito dias do fim do prazo que lhe tinha sido concedido para trabalhar com o grande electro-imã — aparelho que era então a *Meca* de um sem número de investigadores das mais variadas especialidades.

Apesar do trabalho intenso da última semana, Rosenblum não podera chegar a uma conclusão e havia-nos dito nas vésperas do Seminário no Collège de France:

«Não falarei no problema das intensidades;