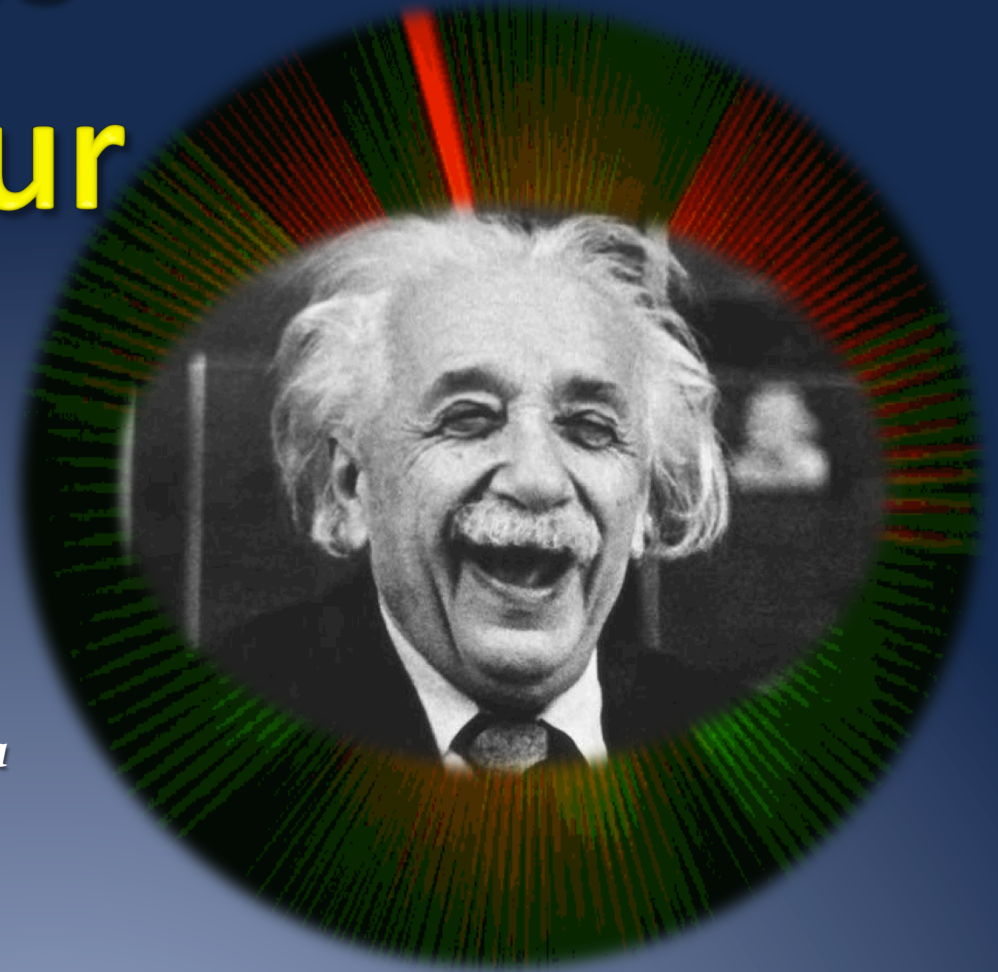


Les Lumières d'Einstein sur la lumière

Bruno JECH

« Cinquante années de cogitation consciente ne m'ont pas rapproché de la réponse à la question : que sont les quanta lumineux ? Certes aujourd'hui n'importe quel maraud croit savoir ce que c'est, mais il se trompe. »

Einstein, lettre à Besso, 12 décembre
1951



 L'Analogie
Cœur de la pensée

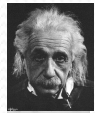
Douglas
Hofstadter
Emmanuel
Sander



« Un contemporain de J.S. Bach disait que, "en présence d'un thème donné, il est prompt à en envisager toutes les possibilités". Il semblerait que cette capacité d'"envisager toutes les possibilités" en peu de temps soit une marque de la créativité de l'esprit humain...

La plus grande percée de la vie d'Einstein [la relativité générale] a été un saut analogique analogue à un autre saut analogique [la relativité restreinte] – bref, une analogie entre analogie...

Ce constat évoque une réflexion du mathématicien polonais Stefan Banach, citée par son ami Stanislaw Ulam : "Si les bons mathématiciens perçoivent les analogies entre les théorèmes, les meilleurs d'entre eux perçoivent les analogies entre les analogies." Dans la même veine, le prédécesseur écossais d'Einstein, James Clerk Maxwell, disait que plutôt que de se sentir attiré par les parallèles entre les principes de la physique, il se sentait attiré par les parallèles entre les parallèles, ce qui semble fort être la quintessence de l'abstraction. » (p. 604)



Conce-voir la lumière av. A.E.



Fiat Einstein !



Quantifié, relativité,



Dualité, stimulé, indiscernabilité

Concevoir la lumière av. A.E.



Universidad de Valencia

« ... Il existe pour toutes choses ce que nous appelons leurs simulacres, sortes de membranes légères, détachées de la surface des corps et qui voltigent en tous sens dans les airs... Ma thèse est donc que la surface des corps émet des figures et images subtiles, auxquelles nous pourrions donner le nom de membranes ou d'écorces, puisqu'elles ont la même forme et le même aspect que les corps, quels qu'ils soient, dont elles émanent pour errer dans l'espace. C'est ce que mon raisonnement pourra faire comprendre à l'esprit le moins pénétrant. »

De rerum natura, livre IV Lucrèce, 98-55 av JC

N am ueluti pueri absinthia tecum medentes
 Cum dare conatur prius omnia pœula circum
 Contingunt mellis dulcis flauoque liquore
 Vt puerorum ætas improbanda ludificetur
 Labrorum tenuis interea perpotet amarum
 Absinthii lactem deceptaq; non capitatur
 Sed potius tali a tactu recreata ualestat
 Sic ego nunc quoniam ita hæc plerumq; uideo
 Tustior esse quibus non est tractata retroq;
 Vultus abhorret ab hac uolui tibi simulacrent
 Carminis pœrio rationem exponere nostrum
 Et quasi musco dulci contingere melle
 Sibi forte animum tali ratione tenere
 Vt istis in nostris possem dum percipis omne
 Natiuitatem rerum ac presentia uelut ita
 Atque animi quoniam docui natura quid esset
 Et quibus et rebus cum corpore compta uigere
 Quousque modo distincta reduci in ordis prima

DE SIMVLACHRIS.
 VNC agere incipiam tibi quod uehementer ad his
 At tenet: esse ea quæ rerum simulachra vocamus
 Quæ quasi membranæ summo de corporum rerum
 Ductæ uolant uero æroque per auras
 Atque eadem nobis uigilantibus obuiâ mentes
 Terrificant atq; in formis cum strepe figuris
 Contumur minus simulachraque luce carentium
 Quæ nos horrificæ languentis sæpe sopore
 Exercent ne forte animis aberrare reamur

GELEITWORT

Auf jeden, der nicht ganz im Geiste unserer Zeit aufgeht, sondern seiner Mitwelt und speziell der geläufigen Einstellung der Zeitgenossen gegenüber sich gelegentlich als Zuschauer fühlt, wird das Werk von Lukrez seinen Zauber ausüben. Man sieht hier, wie sich ein mit naturwissenschaftlichem und spekulativem Interesse begabter, mit lebendigem Fühlen und Denken ausgestatteter, unabhängiger Mann die Welt vorstellt, der auch von denjenigen Ergebnissen der heutigen Naturwissenschaft keine Ahnung hat, die uns im Kindesalter beigebracht werden, bevor wir ihnen bewußt oder gar kritisch gegenüberstehen können.

Einen tiefen Eindruck muß das feste Vertrauen erwecken, das Lukrez als treuer Schüler Demokrits und Epikurs in die Verständlichkeit, bezw. den kausalen Zusammenhang alles Welt-

*Préface d'Einstein pour le De rerum Natura
 Éd. Weidman – Berlin 1904*

Concevoir la lumière av. A.E.

Tout comme une pierre tombant dans l'eau et qui devient la cause et le centre de diverses rides circulaires, le son s'étend en cercles dans l'air. Tout se passe comme si chaque corps placé dans l'air éclairé s'étend en cercles et remplit l'espace qui l'entoure, avec une infinie multitude d'images de lui-même, qui apparaissent en tout lieu...

1508 – Carnet D

Il n'est pas possible que l'œil projette hors de soi, au moyen de ses rayons, sa faculté de voir parce que... elle ne pourrait le faire sans employer un certain temps.

in Codex Ashburnham

Chaque phénomène naturel se produit par les voies les plus courtes.

in Carnet II

Si tu places un verre rempli d'eau sur le rebord de la fenêtre de manière que les rayons solaires le frappent du côté opposé, tu vois les couleurs dont j'ai parlé se former dans l'impression faite par les rayons solaires qui ont pénétré dans le verre, rayons qui s'éteignent et se ternissent sur le sol dans un endroit sombre, au pied d'une fenêtre, parce que l'œil ne sert à rien, ce pourquoi nous pouvons dire avec certitude que manifestement ces couleurs n'ont rien à voir avec l'œil.

in Codex Windsor



Leonardo da VINCI

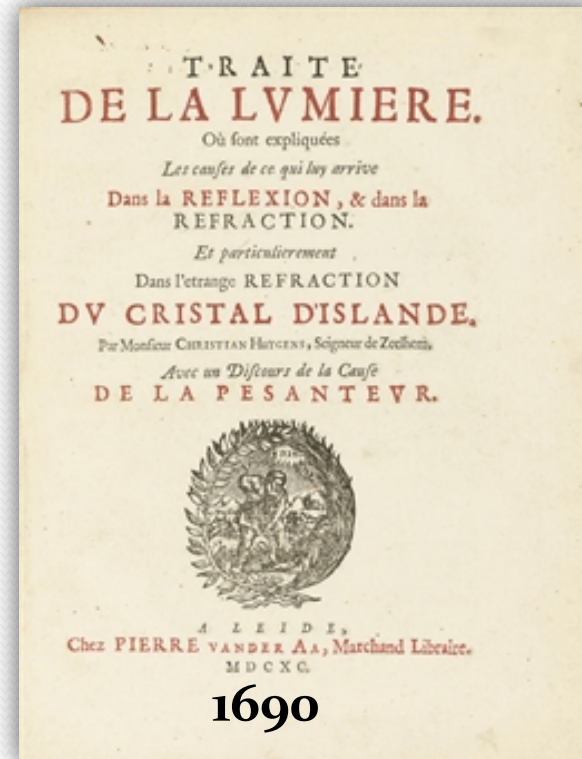
1452-1519

Concevoir la lumière av. A.E.

Particules versus Ondes



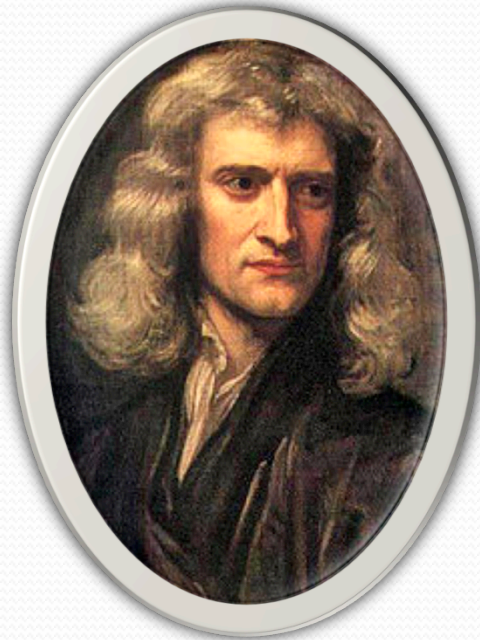
Christian HUYGENS
1629-1695



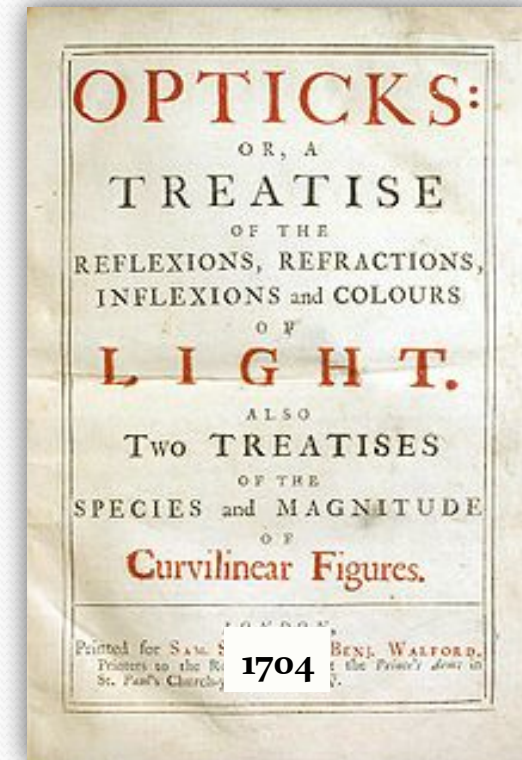
- *La lumière est une onde*
- *Elle se propage moins vite dans les milieux denses que dans le vide*
- *Ne résout pas le problème des couleurs*

Concevoir la lumière av. A.E.

Particules versus Ondes



Isaac NEWTON
1643-1727



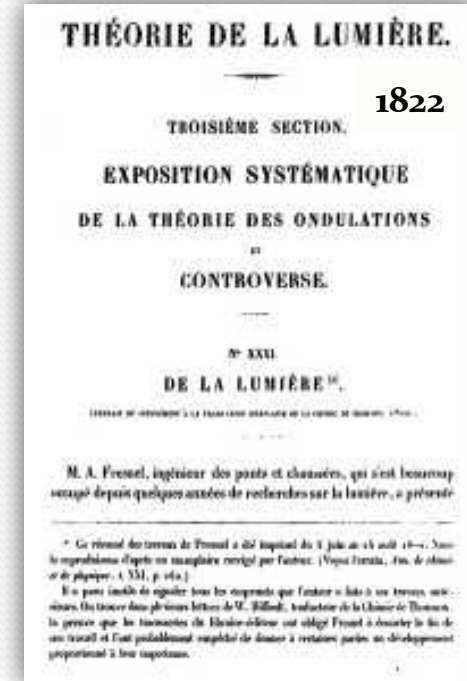
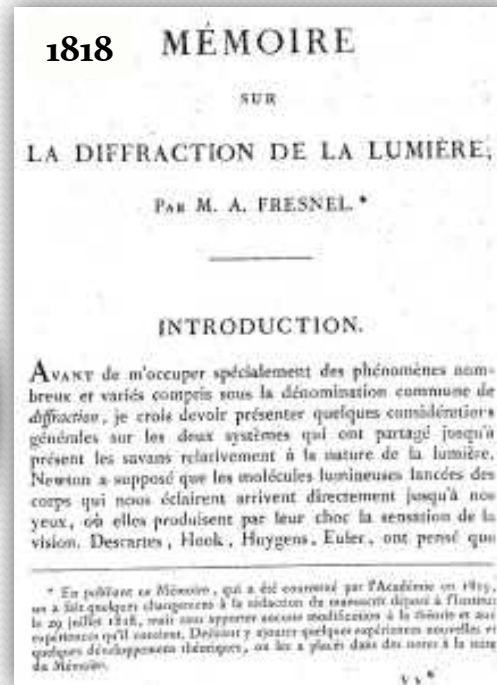
- *La lumière est constituée de grains dont la taille est liée à la couleur*
- *Ceux-ci sont sensibles à la gravitation*
- *La lumière se propage plus rapidement dans un milieu dense que dans le vide*
- *Dans un milieu donné, à chaque couleur correspond un indice de réfrangibilité*

Concevoir la lumière av. A.E.

Particules versus Ondes



Augustin FRESNEL
1788-1827



- Réhabilite la théorie ondulatoire de Huygens
- Donne une théorie convenable de la diffraction lumineuse
- Introduit la nécessité d'un éther luminifère

Concevoir la lumière av. A.E.

Particules versus Ondes



Léon FOUCAULT
1819-1868

- *Mesures indépendantes de la célérité de la lumière (1849-1850)*
- *Validation du fait que la lumière se propage moins vite dans l'eau que dans l'air*
- *Invalidation des théories corpusculaires au profit des théories ondulatoires de la lumière*



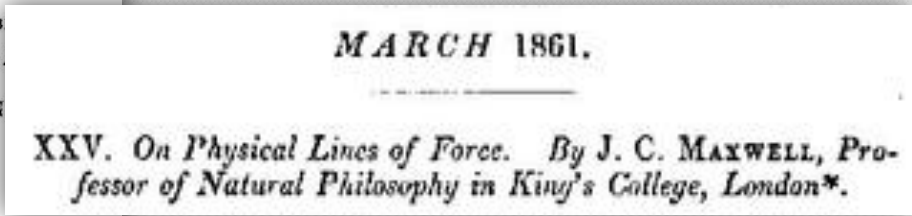
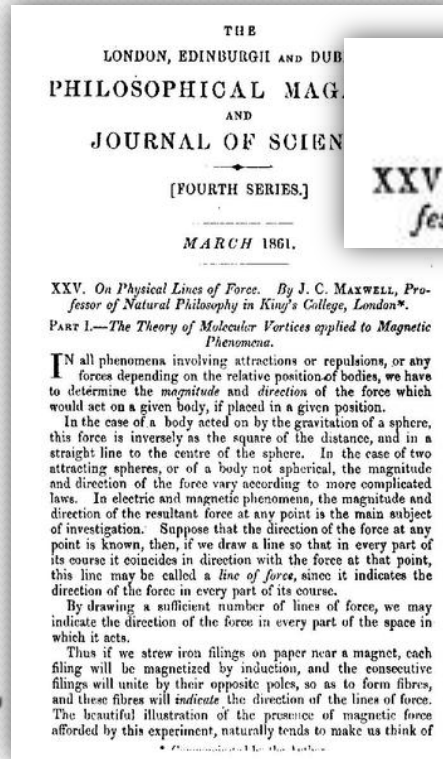
Hippolyte FIZEAU
1819-1896

Concevoir la lumière av. A.E.

Particules versus Ondes



James CLERK-MAXWELL
1831-1879



- *Théorie électromagnétique de la lumière (1861-1862)*
- *Interprétation de la polarisation lumineuse*
- *Nécessité d'un éther luminifère*

La vitesse des ondes transverses dans notre milieu hypothétique, calculée à partir des expériences électromagnétiques de MM. Kohlraush et Weber, coïncide si exactement avec la vitesse de la lumière calculée à partir des expériences d'optique de M. Fizeau, qu'il nous est difficile de pas inférer que la lumière consiste en ondulations transverses dans le même milieu qui est la cause des phénomènes électriques et magnétiques.

Concevoir la lumière av. A.E.

Particules versus Ondes



Heinrich HERTZ

1857-1894

- *Met en évidence l'existence d'ondes électromagnétiques se propageant à la vitesse de la lumière (1887-1888)*
- *... mais aussi d'un effet photoélectrique*
- *Il faudrait plusieurs jours à un rayonnement UV intense pour extraire un seul électron d'une plaque de métal selon la théorie de Maxwell !*

7. Ueber die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen.

(Sitzungszt. d. Berl. Akad. d. Wiss. vom 2. Febr. 1888, Wiedemanns Ann. 34, p. 551.)

1888

Wirken veränderliche elektrische Kräfte im Innern von Isolatoren, deren Dielektricitätsconstante merklich von Eins verschieden ist, so üben die jenen Kräften entsprechenden Polarisationen elektrodynamische Wirkungen aus. Eine andere Frage aber ist es, ob auch im Luftraum veränderliche elektrische Kräfte mit Polarisationen von elektrodynamischer Wirksamkeit verknüpft sind. Man hat die Folgerung ziehen können, dass, wenn diese Frage zu bejahen ist, die elektrodynamischen Wirkungen sich mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten müssen.

Während ich mich vergeblich nach Versuchen umsah, welche eine unmittelbare Beantwortung der angeregten Frage hätten ergeben können, kam mir der Gedanke, es möchte möglich sein, jene Folgerung zu prüfen, und zwar selbst dann, wenn die fragliche Geschwindigkeit die des Lichtes nicht unbedeutend übertrifft. Der Plan, welcher für die Untersuchung aufgestellt wurde, war der folgende: Zuerst sollten mit Hilfe der schnellen Schwingungen eines primären Leiters entsprechende regelmäßige, fortschreitende Wellen in einem geradlinig ausgespannten Drahte erzeugt werden. Zweitens sollte ein secundärer Leiter gleichzeitig der Einwirkung der durch den Draht fortgeplanten Wellen und der durch die Luft fortgeplanten direkten Wirkung der primären Schwingung ausgesetzt und so beide Wirkungen zur Interferenz gebracht werden. Endlich sollten solche Interferenzen in verschiedenen Abständen vom primären Kreise hergestellt und so ermittelt werden, ob die Schwingungen der elektrischen Kraft

8*

4. Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung.

(Sitzungsberichte d. Berl. Akad. d. Wiss. vom 9. Juni 1887, Wiedemanns Ann. 31, p. 983.)

1887

In einer Reihe von Versuchen, welche ich über die Resonanzerscheinungen zwischen sehr schnellen elektrischen Schwingungen angestellt und kürzlich veröffentlicht habe,¹⁾ wurden durch dieselbe Entladung eines Inductoriums, also genau gleichzeitig, zwei elektrische Funken erregt. Der eine derselben, der Funke A, war der Entladungsfunke des Inductoriums und diente zur Erregung einer primären Schwingung. Der zweite, der Funke B, gehörte der inducirten, secundären Schwingung an. Der letztere war ziemlich lichtschwach, seine maximale Länge war in den Versuchen genau zu messen. Als ich nun gelegentlich zur Erleichterung der Beobachtung ein verdunkelndes Gehäuse um den Funken B anbrachte, bemerkte ich, dass innerhalb des Gehäuses die maximale Funkenlänge sehr merklich kleiner war, als sie vorher gewesen. Bei successiver Entfernung der einzelnen Theile des Gehäuses fand sich, dass nur derjenige Theil desselben die benachtheiligende Wirkung ausübte, welcher die dem Funken A zugekehrte Seite des Funkens B deckte. Die dort befindliche Wand aber zeigte die Wirkung nicht allein, wenn sie sich in unmittelbarer Nähe des Funkens B befand, sondern ebenso, wenn sie in grösserer Entfernung von B zwischen die Funken A und B eingeschoben wurde. Die Erscheinung war bemerkenswerth genug, um ein näheres Eingehen auf dieselbe herauszu-

¹⁾ Siehe No. 2. p. 32.

Concevoir la lumière av. A.E.

Particules versus Ondes



Albert A. MICHELSON

1852-1931

Prix Nobel de Physique 1907

- *Impossible de mettre en évidence le mouvement de la Terre par rapport à l'éther !*
- *La lumière semble avoir une célérité indépendante du mouvement de la source et de l'observateur !*

1887^{THE}
AMERICAN JOURNAL OF SCIENCE

[THIRD SERIES.]

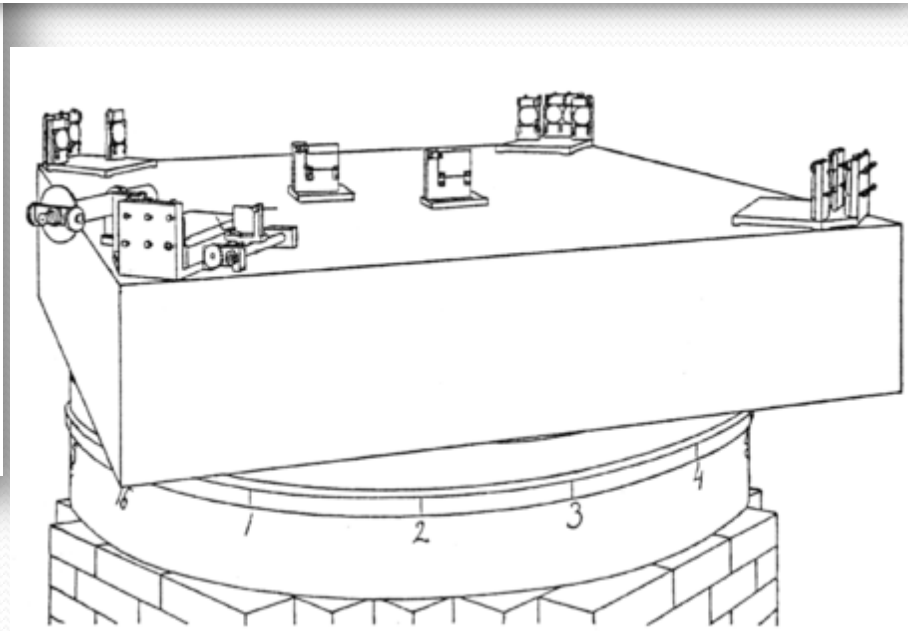
ART. XXXVI.—*On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether*; by ALBERT A. MICHELSON and EDWARD W. MORLEY.*

THE discovery of the aberration of light was soon followed by an explanation according to the emission theory. The effect was attributed to a simple composition of the velocity of light with the velocity of the earth in its orbit. The difficulties in this apparently sufficient explanation were overlooked until after an explanation on the undulatory theory of light was proposed. This new explanation was at first almost as simple as the former. But it failed to account for the fact proved by experiment that the aberration was unchanged when observations were made with a telescope filled with water. For if the tangent of the angle of aberration is the ratio of the velocity of the earth to the velocity of light, then, since the latter velocity in water is three-fourths its velocity in a vacuum, the aberration observed with a water telescope should be four-thirds of its true value.†

* This research was carried out with the aid of the Bache Fund.
† It may be noticed that most writers admit the sufficiency of the explanation according to the emission theory of light; while in fact the difficulty is even greater than according to the undulatory theory. For on the emission theory the velocity of light must be greater in the water telescope, and therefore the angle of aberration should be less; hence, in order to reduce it to its true value, we must make the absurd hypothesis that the motion of the water in the telescope carries the ray of light in the opposite direction!

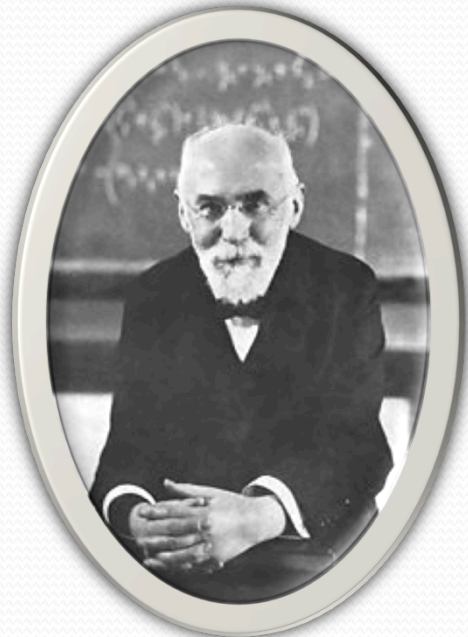
AM. JOUR. SCI.—THIRD SERIES, VOL. XXXIV, NO. 203.—NOV., 1887.

ART. XXXVI.—*On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether*; by ALBERT A. MICHELSON and EDWARD W. MORLEY.*



Concevoir la lumière av. A.E.

Particules versus Ondes

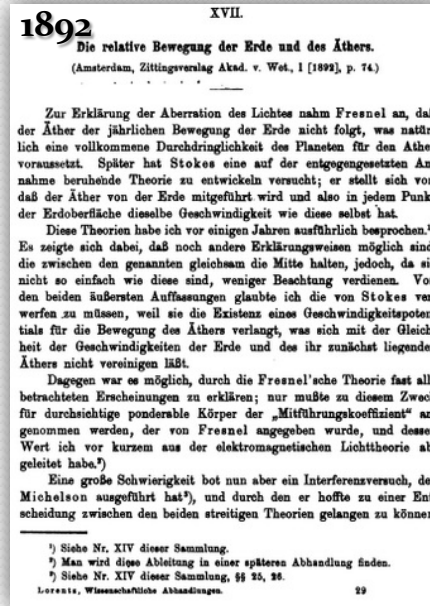


Hendrik A. LORENTZ

1853-1928

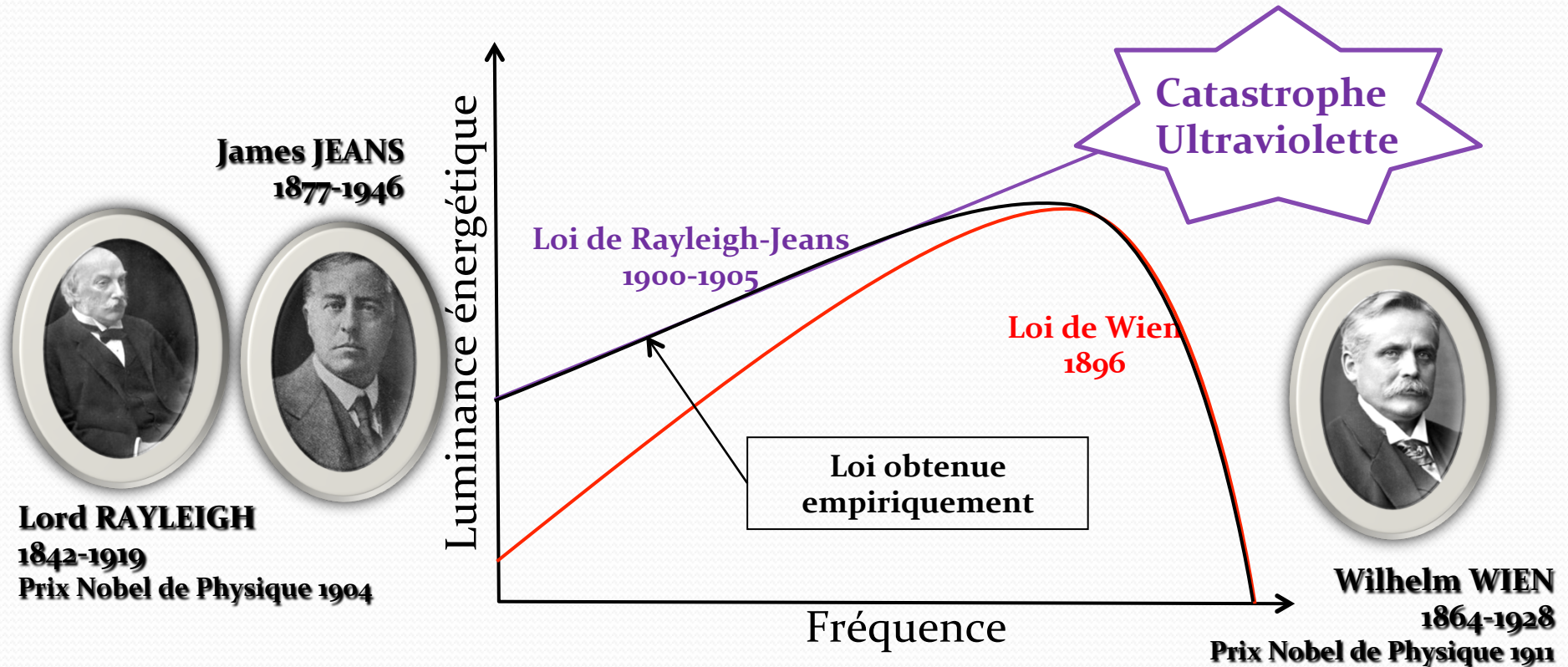
Prix Nobel de Physique 1902

- *L'électricité est constituée d'« ions »*
- *Contradictions fondamentales entre l'électromagnétisme et la mécanique*
- *Introduction d'hypothèses ad-hoc pour contourner les contradictions*



Concevoir la lumière av. A.E.

Problème de l'émission du corps noir



Concevoir la lumière av. A.E.

Problème de l'émission du corps noir



Max PLANCK
1858-1947
Prix Nobel de Physique 1918

9. Ueber das Gesetz
der Energieverteilung im Normalspectrum;
von Max Planck.

(In anderer Form mitgeteilt in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft,
Sitzung vom 19. October und vom 14. December 1900, Verhandlungen
2. p. 202 und p. 237. 1900.)

Ann. Phys.

Vendredi 19 octobre 1900

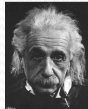
*Donne une expression correcte de la loi
de rayonnement du corps noir*

Vendredi 14 décembre 1900

*Emet l'hypothèse d'une quantification
de l'énergie rayonnée*



Conce-voir la lumière av. A.E.



Fiat Einstein !

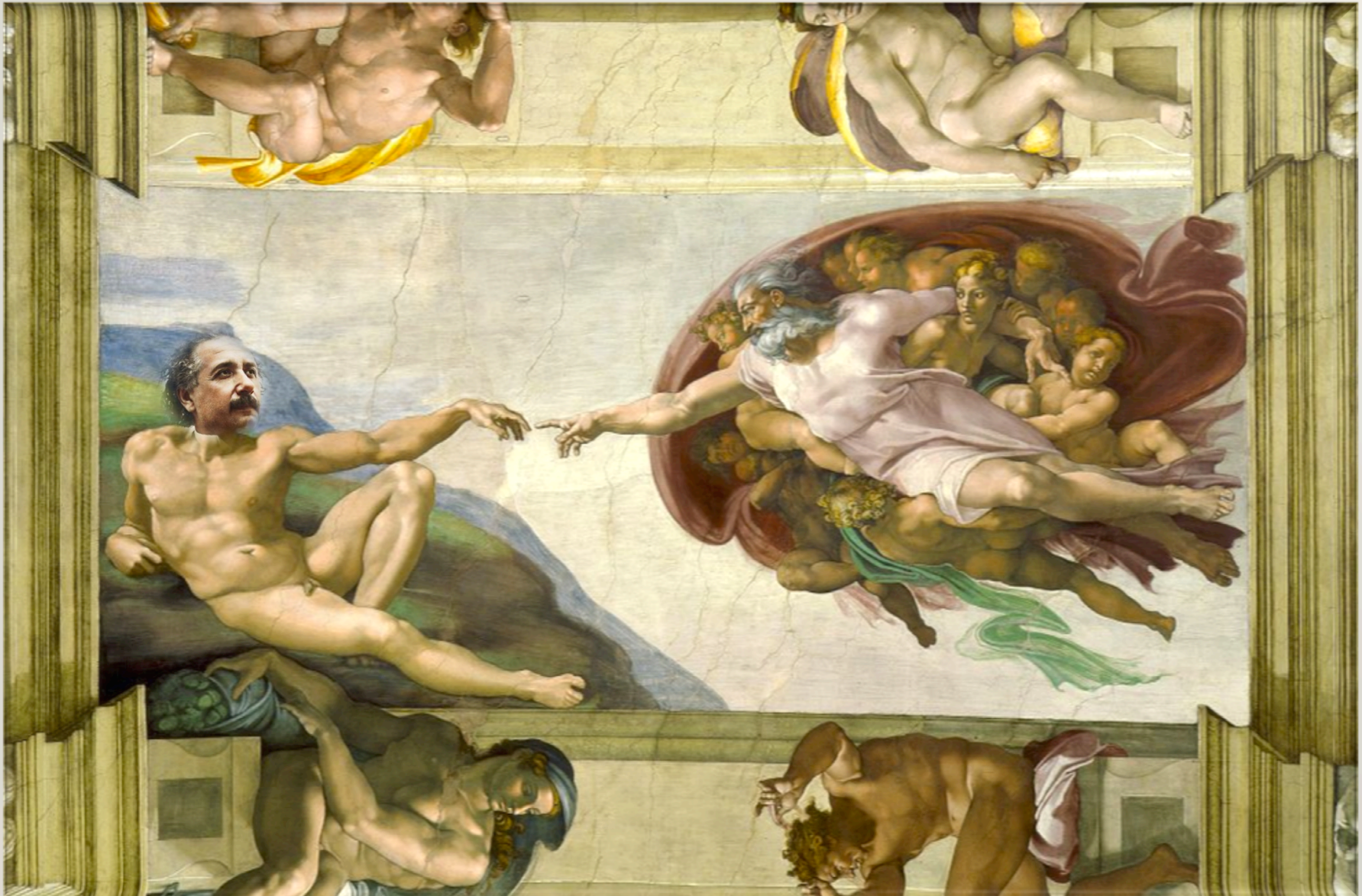


Quantifié, relativité,



Dualité, stimulé, indiscernabilité

Fiat Einstein !



Fiat Einstein !



1882



1891



1885



1894

C'est au cours de cette année passée à Aarau que me vint à l'esprit la question suivante : si l'on poursuit une onde lumineuse à la vitesse de la lumière, on se trouve face à un champ d'ondes indépendant du temps. Mais il n'existe, semble-t-il, rien de tel. C'est ainsi que je fis, tout jeune, la première expérience de pensée concernant la théorie de la relativité restreinte.

Esquisse autobiographique

Étude de l'état de l'éther dans un champ magnétique

Mémoire non publié envoyé à son oncle Caesar

Fiat Einstein !



1896



Albert et Mileva



Polytechnicum de Zürich

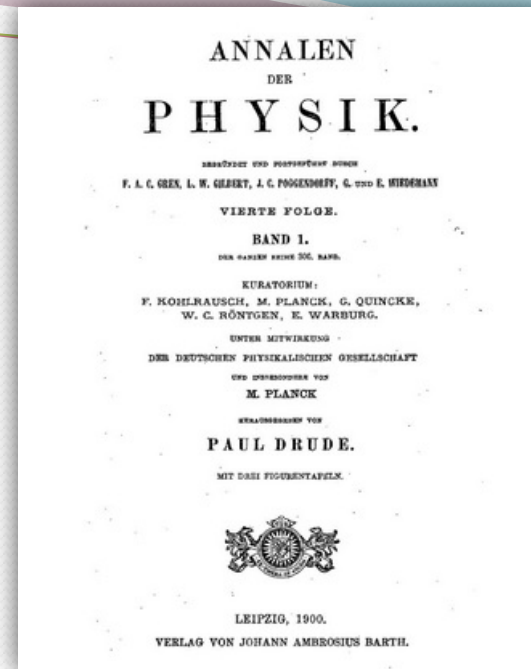


Eduard, Mileva et Hans-Albert
Einstein en 1914

Fiat Einstein !



Bureau des Brevets à Berne



Ann. Phys.



Académie Olympia

*5. Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen;
von Albert Einstein.*

— Ann. Phys. Décembre 1900

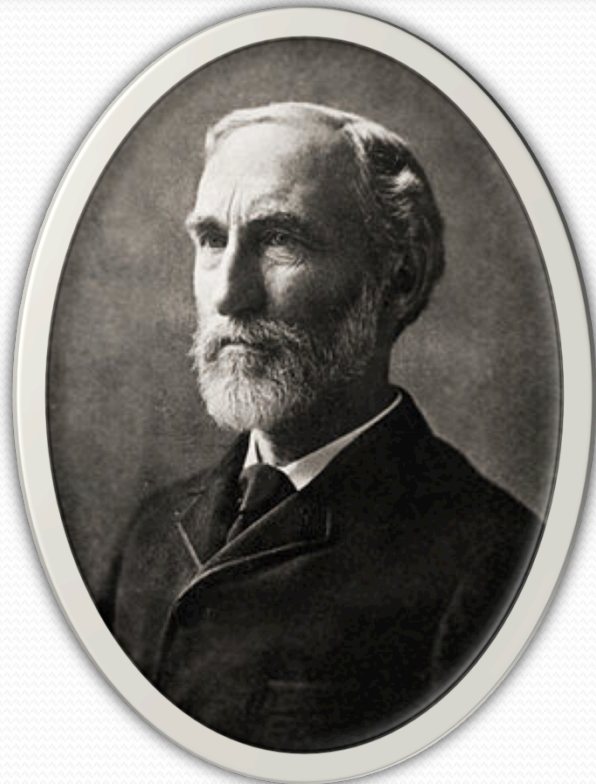
*5. Ueber die thermodynamische Theorie
der Potentialdifferenz zwischen Metallen und voll-
ständig dissociirten Lösungen ihrer Salze und
über eine elektrische Methode zur Erforschung der
Molecularkräfte; von A. Einstein.*

— Ann. Phys. Avril 1902

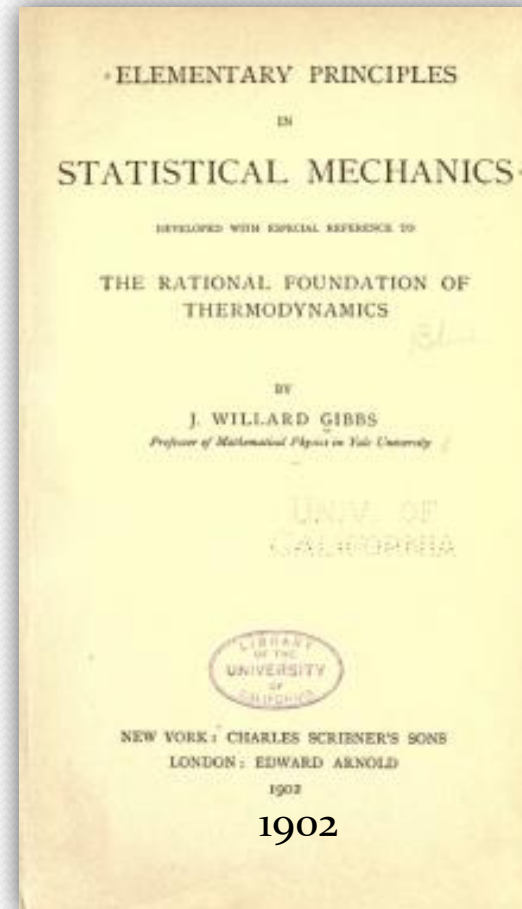
Fiat Einstein !

6. *Kinetische Theorie des Wärmegleichgewichtes und des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik; von A. Einstein.*
____ Ann. Phys. Juin 1902

9. *Eine Theorie der Grundlagen der Thermodynamik; von A. Einstein.*
____ Ann. Phys. Janvier 1903



Josiah W. GIBBS
1839-1903



Fiat Einstein !



Einstein en 1904

6. Zur allgemeinen molekularen Theorie der Wärme; von A. Einstein.

Ann. Phys. Mars 1904

- *Se propose de donner une signification générale de la constante aujourd'hui dite de Boltzmann, fondamentale en thermodynamique statistique.*
- *Quels systèmes présentent des fluctuations énergétiques aisément mesurables ?*
- *« Ce sont ceux où l'on a un espace vide siège d'un rayonnement thermique. »*
- *En déduit un bon ordre de grandeur de la loi du déplacement de Wien : $\lambda_m = 0,293/T$*

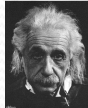
On voit que, grâce à la théorie moléculaire générale de la chaleur, on peut parfaitement déterminer et la manière dont dépend λ_m de la température, et son ordre de grandeur. Compte tenu de la grande généralité de nos hypothèses, je crois qu'il ne faut pas attribuer cette concordance au hasard. *(Fin de l'article)*



Conce-voir la lumière av. A.E.



Fiat Einstein !



Quantifié, relativité,



Dualité, stimulé, indiscernabilité

Quantifié, relativité,

1905

ANNUS MIRABILIS

6. *Über einen
die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes
betreffenden heuristischen Gesichtspunkt;
von A. Einstein.*

Ann. Phys. Mars 1905

*Sur un point de vue
heuristique concernant la
production et la
transformation de la lumière*

Entre les représentations théoriques que les physiciens se sont forgées sur les gaz et autres corps pondérables, et la théorie de Maxwell sur les processus électromagnétiques dans ce que l'on appelle l'espace vide, il existe une différence formelle très profonde...

D'après la théorie de Maxwell on doit concevoir l'énergie, pour tout phénomène purement électromagnétique et donc également pour la lumière, comme une fonction continue de l'espace, alors que l'énergie d'un corps pondérable, d'après les conceptions actuelles des physiciens, doit être représentée comme une somme étendue sur les atomes et les électrons...

Quantifié, relativité,

La théorie ondulatoire de la lumière opérant avec des fonctions d'espace continues a parfaitement fait ses preuves pour la description des phénomènes purement optiques et ne sera sans doute jamais remplacée par une autre théorie. Mais il ne faut pas perdre de vue que les observations optiques portent sur des valeurs temporelles moyennes et pas sur des valeurs instantanées...

Il me semble... que les observations sur le "rayonnement noir", la photoluminescence, la production de rayons cathodiques au moyen de la lumière ultra-violette et sur d'autres ensembles de phénomènes concernant la production ou la transformation de la lumière paraissent mieux compréhensibles dans le cadre de l'hypothèse où l'énergie de la lumière se répartit de façon discontinue dans l'espace...

▪ *Montre alors que l'entropie d'une enceinte rayonnante de volume V_0 est analogue à celle d'une population de N masses ponctuelles dans un volume V_0 déduite de la théorie de Boltzmann.*



**Ludwig
BOLTZMANN**
1844-1906

Quantifié, relativité,

Un rayonnement monochromatique de faible densité... se comporte relativement à la théorie de la chaleur comme s'il se composait de quanta d'énergie de grandeur $R\beta\nu/N$ indépendants les uns des autres.

$$E = R\beta\nu/N = k\nu\beta\dots = h\nu$$

Relation d'Einstein-Planck



George STOKES
1819-1903

- D'où une interprétation de type corpusculaire de la loi de Stokes relative à la luminescence.
- D'où une interprétation de type corpusculaire de l'effet photoélectrique et de son inverse (expériences de Lenard).
- D'où une interprétation de type corpusculaire de l'ionisation des gaz par rayonnement ultraviolet (expériences de Stark)

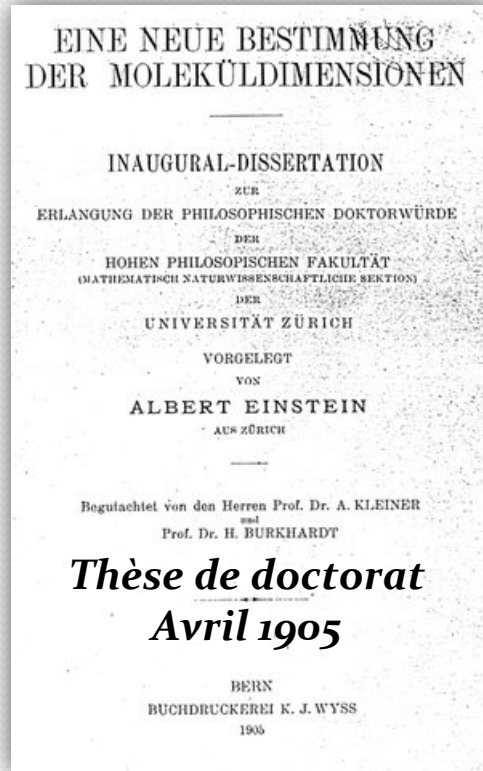


Philipp LENARD
1862-1947
Prix Nobel de
Physique 1905



Johannes STARK
1874-1957
Prix Nobel de
Physique 1919

Quantifié, relativité,



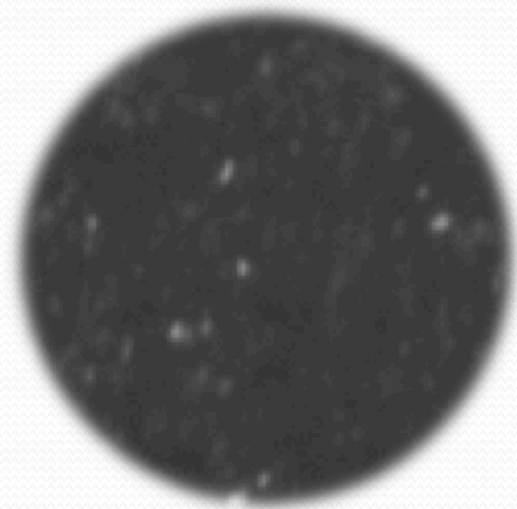
*Une nouvelle détermination
des dimensions moléculaires*

$$R \approx 1 \text{ nm}$$
$$N = 2,1 \cdot 10^{23}$$

5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;*
von A. Einstein.

Ann. Phys. Mai 1905

Mouvement des particules en suspension dans un fluide au repos, comme conséquence de la théorie cinétique moléculaire de la chaleur
Etude du mouvement brownien comme résultat quasi-macroscopique de l'agitation moléculaire



Quantifié, relativité,

Sur l'électrodynamique des corps en mouvement

Ann. Phys. Juin 1905

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper;
von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

- *Invariance de la célérité de la lumière dans le vide posée en postulat pour contrer la contradiction classique de cette invariance avec le principe de relativité.*
- *« L'introduction d'un "éther lumineux" se révélera superflue dans la mesure où, dans la conception qui va être développée, il ne sera pas introduit d'"espace au repos absolu" doté de propriétés particulières... »*
- *La célérité de la lumière dans le vide apparaît comme une vitesse limite et indépassable.*
- *La célérité de la lumière dans le vide apparaît comme la vitesse des systèmes physiques de masse nulle.*
- *« Il est intéressant de remarquer que l'énergie et la fréquence d'un complexe lumineux varient avec l'état de mouvement de l'observateur selon la même loi. »*

Quantifié, relativité,

13. *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*
von A. Einstein.

Ann. Phys. Septembre 1905

L'inertie d'un corps dépend-elle de son contenu en énergie ?

$$m = E/c^2$$

12. *Zur Theorie der Lichterzeugung und Lichtabsorption;*
von A. Einstein.

Ann. Phys. Mars 1906

Théorie de la production et de l'absorption lumineuse
Quantification de l'énergie de la matière

13. *Das Prinzip von der Erhaltung der Schwerpunktsbewegung und die Trägheit der Energie;*
von A. Einstein.

Ann. Phys. Mai 1906

Le principe de conservation du mouvement du centre de gravité et l'inertie de l'énergie
L'énergie rayonnante a les mêmes attributs que la matière

$$E = mc^2$$



Conce-voir la lumière av. A.E.



Fiat Einstein !



Quantifié, relativité,



Dualité, stimulé, indiscernabilité

Dualité, stimulé, indiscernabilité

RADIATIONS. — *Ondes et quanta* (1). Note de M. **LOUIS DE BROGLIE**,
Septembre 1923 présentée par M. Jean Perrin.

PZ Octobre 1909

Physikalische Zeitschrift.

**A. Einstein (Zürich), Über die Entwicklung
unserer Anschauungen über das Wesen und
die Konstitution der Strahlung.**

*Sur l'évolution de nos conceptions sur la
nature et la constitution du
rayonnement*

- Généralise ses travaux de 1905-1906
- Montre que le terme de fluctuation énergétique d'un rayonnement se présente sous la forme d'une somme d'un terme typiquement ondulatoire et d'un terme typiquement corpusculaire
- A toute onde doit donc être associé un corpuscule

DUALITÉ ONDE-CORPUSCULE



Louis de BROGLIE

1892-1987

Prix Nobel de Physique 1929

DUALITÉ CORPUSCULE-ONDE

Mécanique ondulatoire

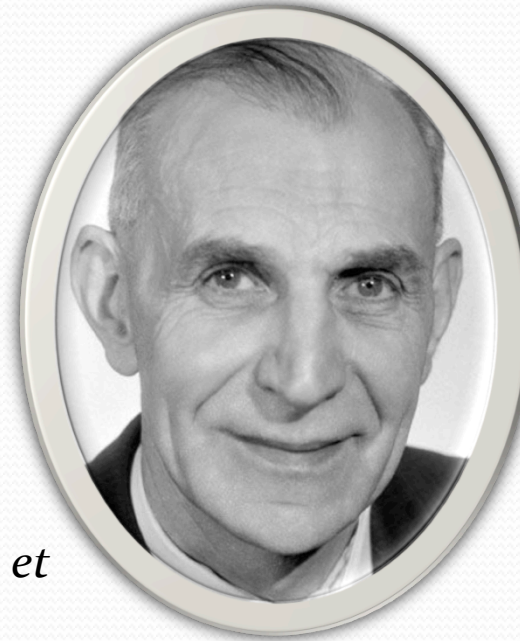
1923-1924

Dualité, stimulé, indiscernabilité

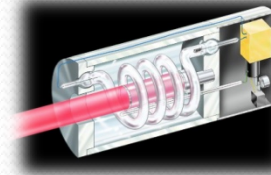
Zur Quantentheorie der Strahlung.
PZ Mars 1917 Von A. Einstein¹).

Sur la théorie quantique du rayonnement

- Introduction de coefficients d'émission A et d'absorption B
- L'absorption fait intervenir une émission aujourd'hui qualifiée d'induite ou de **stimulée**
- Retrouve ainsi la formule du rayonnement de Planck
- L'émission du rayonnement est dirigée dans une direction particulière et pas dans toutes les directions



Alfred KASTLER
1902-1984
Prix Nobel de Physique 1966
Procédé de pompage optique (1950)



Theodore MAIMAN
1927-2007
Invention du LASER
(1960)



Dualité, stimulé, indiscernabilité

**Attribution du Prix Nobel de Physique 1921
Pour ses contributions à la physique
théorique et spécialement pour la
découverte de la loi de l'effet
photoélectrique**



*Conférence Nobel
d'Einstein du 11 juillet 1923*

GRUNDGEDANKEN UND PROBLEME DER RELATIVITÄTS- THEORIE.

Vortrag gehalten an der Nordischen Naturforscherversammlung in
Göteborg den 11 Juli 1923

VON

ALBERT EINSTEIN.

Betrachten wir denjenigen Teil der Relativitätstheorie, der heute in gewissem Sinne als gesicherter Besitz der Wissenschaft betrachtet werden kann, so gewahren wir zwei Gesichtspunkte, die bei dieser Theorie eine führende Rolle spielen. Die ganze Entwicklung dreht sich um die Frage:

Gibt es in der Natur physikalisch bevorzugte Bewegungszustände? (Physikalisches Relativitätsproblem). Ferner erweist sich das erkenntnistheoretische Postulat als fundamental:

Begriffe und Unterscheidungen sind nur insoweit zulässig, als ihnen beobachtbare Tatbestände eindeutig zugeordnet werden können. (Inhaltsforderung für Begriffe und Unterscheidungen.)

Diese beiden Gesichtspunkte werden dadurch klar, dass wir sie auf einen speziellen Fall, z. B. auf die klassische Mechanik, anwenden. Zunächst sehen wir, dass es in jedem von Materie besetzten Punkte einen bevorzugten Bewegungszustand gibt, nämlich den der Materie in dem betrachteten Punkte. Unser Problem fängt aber erst an mit der Frage, ob es physikalisch bevorzugte Bewegungszustände mit Bezug auf *ausgedehnte* Gebiete gibt. Dies ist vom Standpunkt der klassischen Mechanik zu bejahen; die vom Standpunkt der Mechanik physikalisch bevorzugten Bewegungszustände sind diejenigen der Inertialsysteme.

Diese Aussage, wie überhaupt die Grundlage der Mechanik, wie man sie vor der Relativitätstheorie im Allgemeinen darzustellen pflegte, genügt bei weitem nicht der oben genannten »Inhaltsforderung«. Bewegung kann nur als Relativbewegung von Körpern gedacht werden. In der Mechanik meint man die Bewegung relativ zum Koordinatensystem, wenn man von

*Idées fondamentales et problèmes
de la théorie de la relativité*

Dualité, stimulé, indiscernabilité

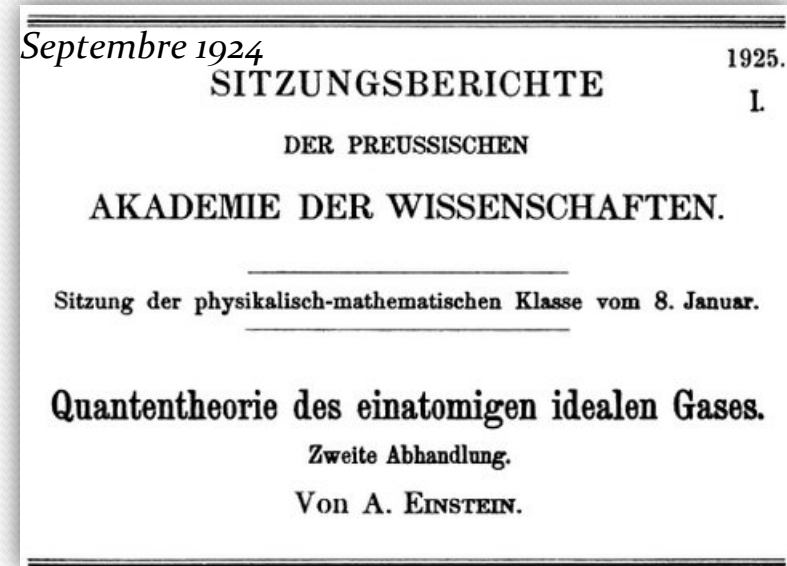


Satyendranath BOSE
1894-1974

PLANCK'S LAW AND
THE LIGHT QUANTUM HYPOTHESIS

By [Satyendranath] Bose
Dacca University, India
Received by Zeitschrift für Physik on 2 July 1924

Loi de Planck et hypothèse des quanta lumineux
Proposition d'une statistique où les quanta lumineux sont indiscernables

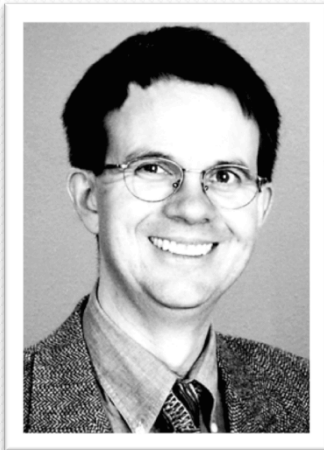


Théorie quantique du gaz parfait monoatomique
Retour à l'analogie matière-lumière (1924-1925)

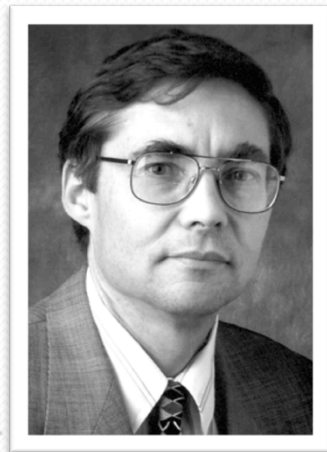
- *Applique la statistique de Bose à un gaz monoatomique*
- *Montre qu'à très basse température, les atomes s'accumulent dans une seule cellule quantique : c'est la condensation quantique (appliquée plus tard à la superfluidité)*
- *Montre que son approche est compatible avec celle de de Broglie*

Dualité, stimulé, indiscernabilité

Réalisation d'un condensat de Bose-Einstein à partir d'un gaz en 1995



Eric CORNELL
Prix Nobel
de Physique 2001



Carl WIEMAN
Prix Nobel
de Physique 2001



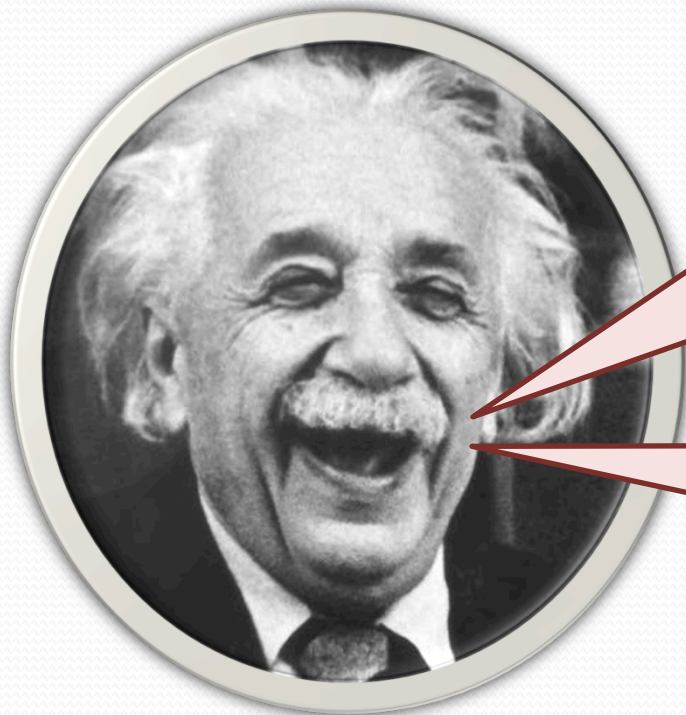
Visionnez l'animation sur le site :
<http://toutestquantique.fr/condensation-de-bose-einstein/>

L'Analogie
Cœur de la pensée

**Douglas
Hofstadter
Emmanuel
Sander**



En fin de compte, ce dont témoigne si clairement la vie créative d'Einstein, c'est que la perception d'analogies profondes et abstraites dans le grand arbre de la science a pour effet de secouer non pas une brindille ni même une branche, mais le tronc lui-même. Comme personne ne le contesterait de nos jours, les analogies découvertes par Albert Einstein ont bien fait trembler la Terre.



Il existe une passion de comprendre comme il existe une passion pour la musique. Cette passion est plutôt commune chez les enfants, mais elle se perd chez la plupart avec l'âge. Sans cette passion, il n'y aurait ni mathématiques, ni sciences naturelles. Cette passion qui a été en moi depuis toujours ne s'est jamais émoussée.

L'homme auquel le sentiment de mystère n'est pas familier, qui a perdu la faculté de s'émerveiller, de s'abîmer dans le respect, est comme un homme mort.