LA CRISTALLOGRAPHIE, UNE CLÉ DE LA CONNAISSANCE UNESCO, Paris, le 22 janvier 2014



Brève histoire de la cristallographie : quelques faits marquants

R. Guinebretière







UMR CNRS 7315

ENSCI, 12 rue Atlantis, 87068 Limoges, France



Pour commencer, un peu de poésie

Le cristal est associé à l'idée de beauté



Pour commencer, un peu de poésie



Le cristal est associé à l'idée de perfection

« Les cristaux bourgeonnantes nature travailleurs consciencieux savants nets stricts et purs agitant leur doigts fins savonnant leur fissures fulgurent. Les cristaux laborieux horlogers emprisonnant le temps dans leurs cribles filets et parfois saisissant l'eau d'une goutte molle fulgurent... »

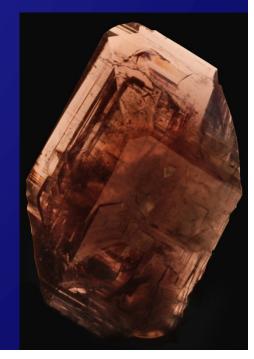
Raymond Queneau, Petite Cosmogonie Portative



« Ce que j'appelle cristallisation, c'est l'opération de l'esprit, qui tire de tout ce qui se présente la découverte que l'objet aimé a de nouvelles perfections. »



Stendhal, De l'amour - la première cristallisation



Pour commencer, un peu de poésie

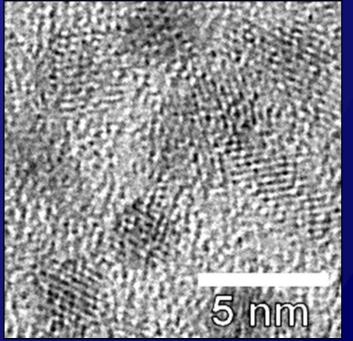
Les cristaux peuvent être très grands...ou très petits

Les cristaux peuvent être très grands...









« Cristallographie » : un mot venu du froid En premier lieu, le sens des mots...

« Cristallographie »

Terme introduit par A. Cappeler¹ en 1723

« Cristal »

« Krystallos », Strabon (64 av JC- ca 24, géographe grec)

Glace

Le « cristal de roche » (le quartz) est, comme la glace, transparent



C'est donc de l'eau qui a gelé très fortement...



...elle est devenue éternelle

« Krystallos »

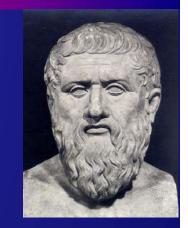
Au cours du 18^{ème} siècle le mot « cristal » remplace progressivement celui de « pierre angulaire »

¹M.A. Capeller "Prodromus Cristallographiae" 1723

Les solides platoniciens

Pour Platon, le monde est géométrique

Il montre qu'il existe 5 polyèdres convexes réguliers, et propose de décrire le monde sur la base de ces polyèdres



On dit que Platon aurait été inspiré par l'observation des formes des cristaux présents dans les mines de Laurion près d'Athènes







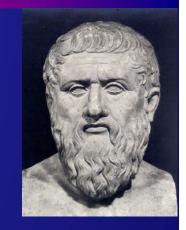




Les solides platoniciens

Cinq polyèdres convexes réguliers

... qui doivent expliquer l'ensemble du monde! A chaque polyèdre, Platon associe un élément



Le feu



La terre

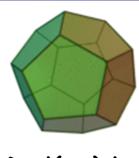


L'air



Octaèdre





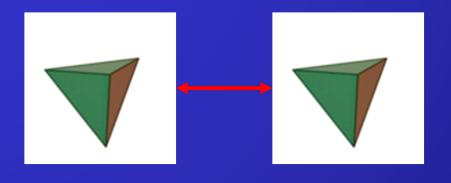
Dodécaèdre

La quintessence

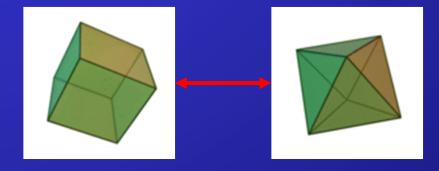
Le dodécaèdre est le plus proche de la sphère, c'est le « tout »

Les solides platoniciens

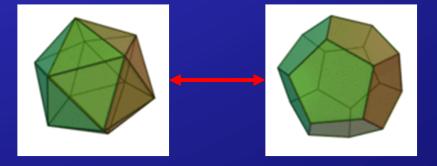
A chaque polyèdre, on associe un polyèdre dual :



Groupe tétraédrique : T



Groupe octaédrique : O



Groupe icosaédrique : I

J. Kepler et les cristaux sexangulaire de neige Pourquoi les cristaux de neige ont-ils une forme géométrique ?



J. Kepler « Strena seu de nive sexangula », 1611

Analogie avec les alvéoles des ruches des abeilles puis avec l'organisation interne des grenades



J. Kepler

Quaeritur jam in his duobus exemplis, quis sit auctor figurae rhombicae in alveolo apum inque granis mali punici? Materia in causa non est. Nuspiam enim inveniunt apes hujusmodi foliola rhombica in praeparato, quae colli jant apes atque coaptent ad effigiendas suas doriunculas.

Materia in causa non est

La cause n'est pas liée à la matière elle-même J. Kepler « Strena seu de nive sexangula », 1611

J. Kepler et les cristaux sexangulaire de neige

Pourquoi les cristaux de neige ont-ils une forme géométrique?

La forme des alvéoles et leur ordonnancement a donc bien une cause, ils ne sont pas dues au hasard

Quid des cristaux sexangulaires de neige?

Cette forme, elle aussi a une cause

Cette cause, est-elle externe ou interne ?



Le froid

connectantur?

Comment expliquer alors le caractère sénaire ?

Nihil ad hoc instar de figuratione nivulae nostrae dici potest. Nam quinam hic ingressus, qui exitus, quae angustiae, quae lucta in patentissimis aeris campis? Concessero, inter cadendum ex alto per vapidum aerem fieri aliquam ad villos appositionem a contingentibus vaporibus At quare sex locis quodnam senarii principium? quis capitellum, ante quam caderet, in sex effigiavit cornua frigida? Quae causa statuens in illa superficie jam jam condensanda sex puncta, ad quae seni circum radii

« Qui a figuré, avant sa chute, cette forme à six cornes?»

Il faut chercher une cause interne!

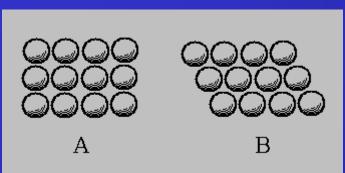
J. Kepler « Strena seu de nive sexangula », 1611



J. Kepler et les cristaux sexangulaire de neige

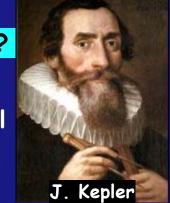
Pourquoi les cristaux de neige ont-ils une forme géométrique?

Cette cause, est-elle externe ou (interne ?)

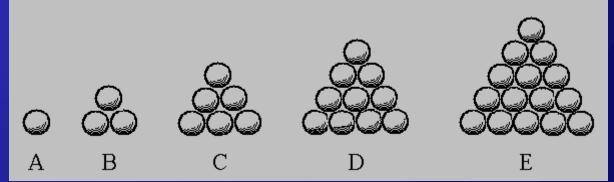


Assemblage tridimensionnel de sphères

Jam si ad structuram solidorum quam potest fieri arctissimam progrediaris ordinesque ordinibus 2 superponas, in plano prius coaptatos, aut ii erunt quadrati (A) aut trigonici (B)



2 agencements possibles dans le plan de base : en carré ou en triangle



En hauteur, l'agencement le plus compact sera obtenu si les sphères de la couche supérieure sont dans les creux ménagés par l'agencement des sphères de la couche inférieure



J. Kepler « Strena seu de nive sexangula », 1611

J. Kepler et les cristaux sexangulaire de neige Pourquoi les cristaux de neige ont-ils une forme géométrique ?

Pro quinta causa faciunt opera hujus formatricis facultatis alia, ut crystalli, omnes sexanguli, cum adamantes octaedrici sint rarissimi. Sed formatrix Telluris facultas non unam amplectitur figuram, gnara totius geometriae et in ea exercita



La forme extérieure varie selon la nature même de la matière, le cristal de roche est souvent hexagonal, on trouve rarement des diamants octaédriques. Mais la nature est exercée à trouver d'autres formes

Finalement, Kepler étend sa conception de la cause interne de la forme extérieure du cristal de neige, à la description de la forme de tous les cristaux!



J. Kepler « Strena seu de nive sexangula », 1611

Une étape essentielle : la loi de constance des angles

Comment classer les cristaux?

Analogie avec la botanique et la zoologie

Classement à partir de la forme extérieure



Pour représenter cette classification, il convient réaliser des modèles en terre cuite de chacune des formes observées

> Il est nécessaire de mesurer les angles entre les faces des cristaux





Goniomètre de Carangeot

J. B. Romé de l'Isle « *Essai de cristallographie »,* 1772

Une étape essentielle : la loi de constance des angles

« Au milieu des variations sans nombre dont la forme primitive d'un sel ou d'un cristal quelconque est susceptible, il est une chose qui ne varie point, et qui reste constamment la même dans chaque espèce ; c'est l'angle d'incidence ou l'inclinaison respective des faces entre elles ».



« Loi de constance des angles »

N. Stenon, « de solida intra solidum contento », 1669

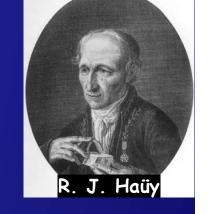
Les angles d'un cristal hexagonal ne varient pas, quoique ses cotés puissent varier

Romé de l'Isle

J. B. Romé de l'Isle « *Essai de cristallographie »,* 1772

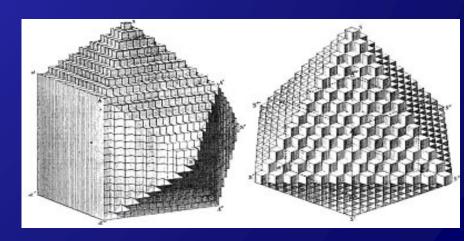
Les « molécules intégrantes »





Lorsque l'on casse un cristal de calcite en plusieurs morceaux, chaque morceau à la même forme que le cristal initial

Les cristaux sont constitués d'un assemblage régulier d'entités toutes identiques



R.J. Haüy, « *Traité de minéralogie* », 1801

Les « molécules intégrantes »

Les cristaux sont constitués d'un assemblage régulier d'entités toutes identiques



DE

MINÉRALOGIE,

PAR LE CEN. HAÜY,

Membre de l'Institut National des Sciences et Arts, et Conservateur des Collections minéralogiques de l'École des Mines.

PUBLIÉ PAR LE CONSEIL DES MINES.

En cinq volumes, dont un contient 86 planches.

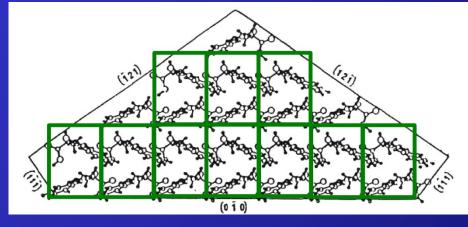
TOME PREMIER.



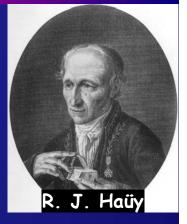
DE L'IMPRIMERIE DE DELANCE.

A PARIS,

CHEZ LOUIS, LIBRAIRE, RUE DE SAVOYE, N°. 12.
(X) 1801.









R.J. Haüy, « Traité de minéralogie », 1801

Vers une description moderne de la nature interne des cristaux

PROBABLE NATURE OF THE INTERNAL SYMMETRY OF CRYSTALS

SOME studies pursued by the writer as to the nature of molecules have led him to believe that in the atom-groupings which modern chemistry reveals to us the several atoms occupy distinct portions of space and do not lose their individuality.

The object of the present paper is to show how far this conclusion is in harmony with, and indeed to some extent explains, the symmetrical forms of crystals, and the argument may therefore in some sort be considered an extension of the argument for a condition of internal symmetry derived from the phenomena of cleavage.

SOME studies pursued by the writer as to the nature of molecules have led him to believe that in the atom-groupings which modern chemistry reveals to us the several atoms occupy distinct portions of space and do not lose their individuality.

Les cristaux sont constitués d'atomes qui occupent des positions bien définies

Vers une description moderne de la nature interne des cristaux

If we are to suppose that crystals are built up of minute masses of different elements symmetrically disposed, it is natural to inquire in the first place what very symmetrical arrangements of points or particles in space are possible.

> Le cristal est constitué d'un ensemble de cubes qui comportent 1 atome au centre et 1 à chaque sommet

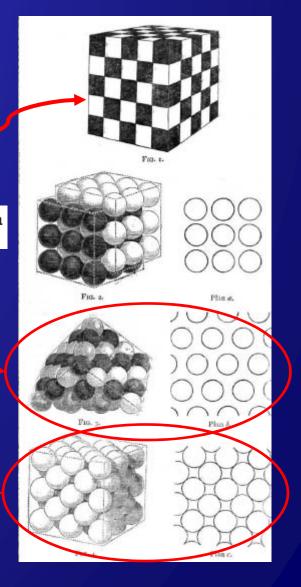
> > In this system each point is equidistant from the eight nearest points

A second kind of symmetry will be presented if one-half the points in the first kind be removed so that we have only those at the cube centres, or only those at the cube angles. In this system each point is equidistant from the six nearest points

A third kind of symmetry will be presented if again one-half the points be removed

point is equidistant from the twelve nearest points

In this system each



Vers une description moderne de la nature interne des cristaux

Barlow définit ainsi 5 types d'arrangement possibles

To proceed then to facts, we notice first that, as a rule, compounds consisting of an equal number of atoms of two kinds crystallise in cubes.

La plupart des cristaux qui contiennent 2 éléments différents cristallisent sous forme de cube!

KCI, KBr KI, NaCl etc.

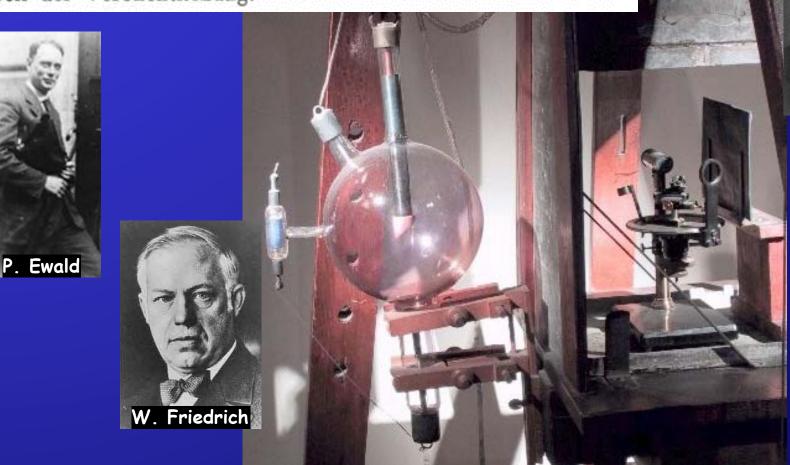
Début de généralisation aux systèmes non-cubiques¹

¹W. Barlow « Probable nature of the internal symmetry of crystals » Nature, 29, 1883, 205-207 W. Barlow « Probable nature of the internal symmetry of crystals » Nature, 29, 1883, 186-188

Première expérience de diffraction des rayons X par un cristal Une expérience imaginée par M. Laue et réalisée par W. Friedrich and P. Knipping Prix Nobel de physique 1914

M. Laue

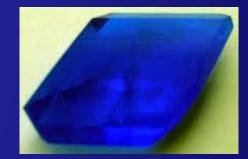
Die Herren Friedrich und Knipping haben auf meine Anregung diese Vermutung experimentell geprüft. Über die Versuche und ihr Ergebnis berichten sie selbst im zweiten Teil der Veröffentlichung.



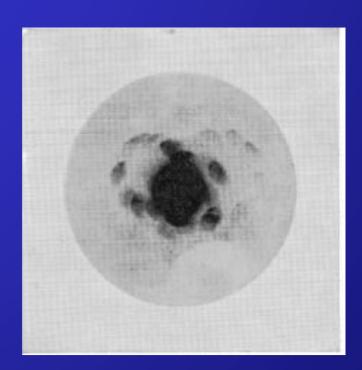
W. Friedrich, P. Knipping, M. Laue "Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen", publié d'abord dans "Sitzungsberichte der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften" en juin 1912, puis repris dans Annalen der Physik, 41, 1913, 971-988.

Première expérience de diffraction des rayons X par un cristal Une expérience imaginée par M. Laue et réalisée par W. Friedrich and P. Knipping

La première expérience est réalisée avec un cristal de sulfate de cuivre



21 avril 1912



Premier diagramme de diffraction des rayons X par un cristal

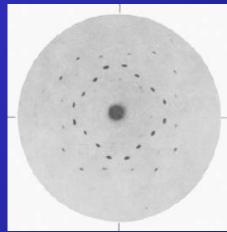
W. Friedrich, P. Knipping, M. Laue "Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen", publié d'abord dans "Sitzungsberichte der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften" en juin 1912, puis repris dans Annalen der Physik, 41, 1913, 971-988.

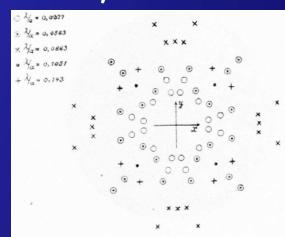
Première expérience de diffraction des rayons X par un cristal Une expérience imaginée par M. Laue et réalisée par W. Friedrich and P. Knipping Deuxième série de mesures en plaçant l'échantillon sur une tête goniométrique qui permet une orientation précise du cristal par rapport à la direction du faisceau incident

Visualisation très claire de la symétrie d'ordre 4

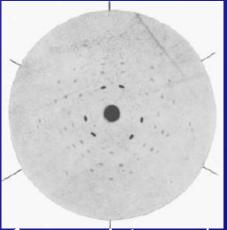


Mesure sur un cristal de ZnS taillé parallèlement aux familles de plans





Mise en évidence par rotation du cristal d'une symétrie d'ordre 3



W. Friedrich, P. Knipping, M. Laue "Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen", publié d'abord dans "Sitzungsberichte der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften" en juin 1912, puis repris dans Annalen der Physik, 41, 1913, 971–988.

Un débat très intense autour de la découverte de Laue, Friedrich et Knipping Une critique remarquable de l'article de Laue et coll.

En novembre 1912, W.L. Bragg jeune docteur de 22 ans, publie un article qui constitue une ré-interprétation des résultats de Laue

The Diffraction of Short Electromagnetic Waves by a Crystal.

By W. L. Bragg, B.A., Trinity College, (Communicated by Professor Sir J. J. Thomson.)

[Read 11 November 1912.]

[PLATE II.]

Herren Friedrich, Knipping, and Laue have latel a paper entitled 'Interference Phenomena with Rönt the experiments which form the subject of the paper being carried out in the following way. A very narrow pencil of r X-ray bulb is isolated by a series of lead screens piero dependent of this beam is set a small slip of crystal, and a photographic plate is placed a few centimetres behind the crystal at right angles to the beam. When the plate is developed, there appears on it, as well as the intense spot cased by the undeviated X-rays, a series of fainter spots forming geometrical pattern. By moving the photographic plate backwards or forwards it can be seen that these spots are rectilinear pencils spreading in all directions from he crystal, some of them making an angle of over 45° with the uncertous of the incident radiation.

When the crystal is a specimen of cubical zinc blende, and one of its three principal cubic axes is set parallel to the incident beam, the pattern of spots is symmetrical about the two remaining axes. This pattern is shown in Plate II. Laugh theory of the formation of this pattern is as follows. He considers the molecules of the crystal to form a three-dimensional grating, each molecule being capable of emitting secondary vibrations when struck by incident electromagnetic waves from the X-ray bulb. He places the molecules in the simplest possible of the three cubical point systems, that is, molecules arranged in space in a pattern whose element is a little cube of side 'a,' with a molecule at each corner. He takes coordinate axes whose origin is at a point in the crystal and which are parallel to the sides of the cubea. The incident waves are propagated in a direction parallel to the x axis, and on account of the narrowness of the beam the waves surfaces may be taken to be parallel to the xy plane. The spots are considered to be interference maxima of the waves scattered by the orderly arrangement of molecules in the crystal. In order to get an interference maximum in the direction

Bitsungeberlehte der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Titre remarquable!

Le terme rayons X n'est pas écrit

The Diffraction of Short Electromagnetic Waves by a Crystal. By W. L. Bragg, B.A., Trinity College. (Communicated by Professor Sir J. J. Thomson.)

W. L. Bragg

[Read 11 November 1912.]

Bien sûr les "Short electromagnetic waves" en question sont des rayons X

Evidemment, ce titre à l'avantage de ne pas contredire la conception corpusculaire de W.H. Bragg, père de l'auteur

W.L. Bragg "The diffraction of short electromagnetic waves by a crystal" Proc. Camb. Phil. Soc. 17, nov. 1912, 43-57

Un débat très intense autour de la découverte de Laue, Friedrich et Knipping Une critique remarquable de l'article de Laue et coll.

However, this explanation seems unsatisfactory. Several sets of numbers h_1 h_2 can be found giving values of $\frac{\lambda}{a}$ approximating very closely to the five values above and yet no spot in the figure corresponds to these numbers. I think it is possible to explain the formation of the interference pattern without assuming that the incident radiation consists of merely a small number of wavelengths. The explanation which I propose, on the contrary, assumes the existence of a continuous spectrum over a wide range in the incident radiation, and the action of the crystal as a diffraction grating will be considered from a different point of view which leads to some simplification.

W.L. Bragg conteste l'interprétation de Laue

Il propose de considérer que le faisceau incident est polychromatique avec un spectre continu

Les ondes qui interfèrent ne sont pas due à la fluorescence mais sont les ondes diffusées par le nuage électronique des atomes!

W.L. Bragg "The diffraction of short electromagnetic waves by a crystal" Proc. Camb. Phil. Soc. 17, November 1912, 43-57

Un débat très intense autour de la découverte de Laue, Friedrich et Knipping Une critique remarquable de l'article de Laue et coll.

The atoms composing the crystal may be arranged in a great many ways in systems of parallel planes, the simplest being the cleavage planes of the crystal. I propose to regard each interference maximum as due to the reflection of the pulses in the

The atoms composing the crystal may be arranged in a gr incident beam in one of these systems. many ways in systems of parallel planes, the simplest being the cleavage planes of the crystal. I propose to regard each interference maximum as due to the reflection of the pulses in the incident beam in one of these systems. Consider the crystal as divided up in this way into a set of parallel planes. A minute fraction of the energy of a pulse traversing the crystal will be reflected from each plane in succession, and the corresponding interference maximum will be produced by a train of reflected pulses. The pulses in the train follow each other at intervals of $2d\cos\theta$, where θ is the angle of incidence of the primary rays on the plane, d is the shortest distance between successive identical planes in the crystal. Considered thus, the crystal actually 'manufactures' light of definite wave-lengths, much as, according to Schuster, a diffraction grating does. The difference in this case lies in the extremely short length of the waves. Each incident pulse produces a train of pulses and this train is resolvable into a series of wave-lengths λ , $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{\lambda}{3}$, $\frac{\lambda}{4}$ etc. where λ

Though to regard the incident radiation as a series of pulses is equivalent to assuming that all wave-lengths are present in its spectrum, it is probable that the energy of the spectrum will be greater for certain wave-lengths than for others. If the curve representing the distribution of energy in the spectrum rises to a maximum for a definite λ and falls off on either side, the pulses may be supposed to have a certain average breadth of the order of this wave-length. Thus it is to be expected that the intensity of the spot produced by a train of waves from a set of planes in the crystal will depend on the value of the wave-length viz. 2d cos 6 When $2d\cos\theta$ is too small the successive pulses in the train are so close that they begin to neutralize each other and when again $2d\cos\theta$ is too large the pulses follow each other at large intervals and the train contains little energy. Thus the intensity of a spot depends on the energy in the spectrum of the incident radiation characteristic of the corresponding wave-length.

"Loi de Bragg"



W.L. Bragg "The diffraction of short electromagnetic waves by a crystal" Proc. Camb. Phil. Soc. 17, November 1912, 43-57

La diffraction des rayons X : une méthode pour déterminer la structure interne des cristaux

The Reflection of X-rays by, Crystals.

By W. H. Bragg, M.A., F.R.S., Cavendish Professor of Physics in the University of Leeds; and W. L. Bragg, B.A., Trinity College, Cambridge.

(Received April 7,-Read April 17, 1913.)

In a discussion of the Laue photographs it has been shown* that they may conveniently be interpreted as due to the reflection of X-rays in such planes within the crystal as are rich in atoms. This leads at once to the attempt to use cleavage planes as mirrors, and it has been found that mica gives a reflected pencil from its cleavage plane strong enough to make a visible impression on a photographic plate in a few minutes' exposure. It has also been observed that the reflected pencil can be detected by the ionisation method.†

For the purpose of examining more closely the reflection of X-rays in this manner we have used an apparatus resembling a spectrometer in form, an ionisation chamber taking the place of the telescope. The collimator is replaced by a lead block pierced by a hole which can be stopped down to slits of various widths. The revolving table in the centre carries the crystal. The ionisation chamber is tubular, 15 cm. long and 5 cm. in diameter. It can be rotated about the axis of the instrument, to which its own axis is perpendicular. It is filled with sulphur dioxide in order to increase the ionisation current: both air and methyl iodide have also been used occasionally to make sure that no special characteristics of the gas in

C'est à dire pour déterminer quantitativement les valeurs des l'intensités diffractées

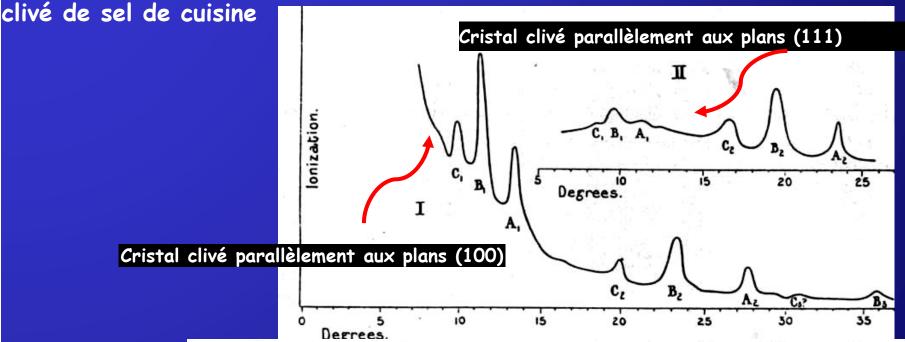


For the purpose of examining more closely the reflection of X-rays in this manner we have used an apparatus resembling a spectrometer in form, an ionisation chamber taking the place of the telescope. The collimator is

replaced by a lead block pierced by a hole which can be stopped down to slits of various widths. The revolving table in the centre carries the crystal. The ionisation chamber is tubular, 15 cm. long and 5 cm. in diameter. It can be rotated about the axis of the instrument, to which its own axis is perpendicular.

La diffraction des rayons X : une méthode pour déterminer la structure interne des cristaux

Diagramme de diffraction enregistré en configuration symétrique sur un cristal



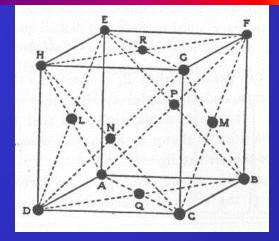
three peaks A, B, and C represent three sets of homogeneous rays. Rays of a definite quality are reflected from a crystal when, and only when, the crystal is set at the right angle.

The

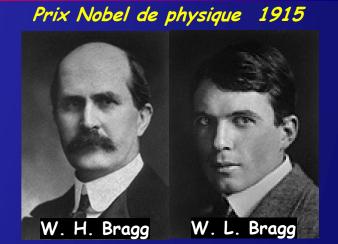
This is really an alternative way of stating the original deduction of Laue. The three sets of rays are not manufactured in the crystal, because all their properties are independent of the nature of the crystal.

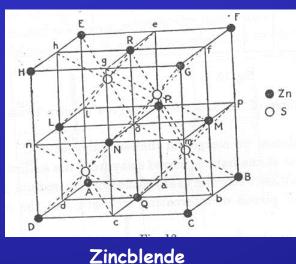
W.H. Bragg, W.L. Bragg "The reflection of x-rays by crystals" Proc. Roy. Soc. Lond. A88, avril 1913, 428-438

La diffraction des rayons X : une méthode pour déterminer la structure interne des cristaux



Diamant





Chlorure de potassium

W.L. Bragg "The structure of some crystals a indicated by their diffraction of x-rays" Proc. Roy. Soc. Lond. A89, juin 1913, 248–277

W.H. Bragg, W.L. Bragg "The structure of diamond" Proc. Roy. Soc. Lond. A89, juil. 1913, 277–291

Diffraction des rayons X par des échantillons polycristallins

Physik. Zeitschr. XVII, 1916. Debye u. Scherrer, Interferenzen an Teilchen im Röntgenlicht. I. 277

Vor einiger Zeit hat der eine von uns auf eine Methode aufmerksam gemacht, die dazu dienen kann sowohl über die Zahl, wie über die gegenseitige Anordnung der Elektronen im Atom auf experimentellem Wege Aufschluß zu erlangen2). Die Möglichkeit einer solchen Mes-sung beruht, wie damals hervorgehoben wurde darauf, daß, wenn eine Regelmäßigkeit der Anordnung der Elektronen im Atom vorhanden ist, dieselbe auch dann noch erkennbar bleibt, wenn viele solche Atome in regelloser Orientierung miteinander gemischt vorkommen.

Im einzelnen konnte nämlich gezeigt werden, daß wenn eine solche Substanz mit der vorausgesetzten inneren Regelmäßigkeit der Elektronenanordnung versehen mit monochromatischen Röntgenstrahlen bestrahlt wird, die dadurch hervorgebrachte Sekundärstrahlung nicht (im wesentlichen) gleichmäßig von der Substanz aus in den Raum hinein ausgestrahlt wird, sondern Maxima und Minima zeigen muß. Dieselben liegen auf Kegeln, deren Achse mit der Richtung der primären Strahlung zusammenfällt und deren Spitze sich im Innern des als klein anenommenen Sekundärstrahlers befindet. Damit die fraglichen Maxima und Minima zustandekommen ist noch obendrein nötig, daß die Wellenlänge der benutzten Primärstrahlung von derselben Größenordnung, wie die gegenseitigen Elektronenabstände ist. Daß diese zweite Forderung experimentell erfüllbar sein dürfte, wurde damals geschlossen aus einem Vergleich der Wellenlänge der Fluoreszenz-Röntgenstrahlung mit den nach den Bohrschen Quantenansätzen zu erwartenden Elektronenabständen.

Versuche, welche inzwischen von uns in dieser Richtung angestellt wurden, zeigten den erwarteten Erfolg. Nebenbei aber fanden sich in einigen Fällen über den erwarteten Effekt übergelagert anders geartete Interferenzen, welche durch die Schärfe der auftretenden Maxima klar erkennen ließen, daß für sie nicht die regelmäßige Anordnung der doch voraussichtlich recht kleinen Zahl von Elektronen im Atom

ti Eine Notiz mit im wesentlichen gleichem Inhalt y Eine Notiz mit im westenlitchen gleichem Innait wurde am 3. Dezember 1915 der Kgl. Ges. d. Wiss, zu Göttingen vorgelegt. Eine Notiz II vom 17. Dezember 1915 befaßt sich mit Interferenzen an Flüssigkeiten (Ben-zol uww. Auf letztere beabsichtigen wir ausführlicher

201 usw.; Auf letetere heabsichtigen wir ausiuhrnener zurückaukommen. 2) Nachr.d. Kgl. Ges. d. Wiss. Göttingen vom 27. Febr. 1915, Ann. der Phys. 46, 809, 1915.

verantwortlich gemacht werden konnte. uns auf die Beschreibung und Erklarung dieser einen Erscheinung allein beschränken; eigentlichen Elektroneninterferenzen und ver wandte Erscheinungen beabsichtigen wir in einer späteren Mitteilung näher einzugehen.

Die Interferenzen sind scharf, also muß es sich um eine Erscheinung handeln, bei der eine recht große Zahl von Strahlungszentren zusammen wirkt. Ist dem aber so, dann liegt es nahe in den Fällen, wo die Interferenzen beobachtet wurden, dieselben zurückzuführen auf die kristallinische Struktur der durchstrahlten Substanz auch wenn letztere, wie es stets der Fall war, als anscheinend amorphes Pulver benutzt wird, oder sogar als "amorph" in der Chemie bezeichnet wird. Dieser von uns tatsächlich angenommene Standpunkt mag befremdlich erscheinen mit Rücksicht auf das von Friedrich, Knipping und v. Laue in ihrer ersten Arbeit angegebene Versuchsergebnis¹), wonach ein fein gepulverter Kristall keine Interferenzen mehr aufkommen ließ. In Wirklichkeit läßt sich aber einerseits diese Behauptung, wie die hier mitgegebenen Aufnahmen zeigen, nicht aufrecht erhalten, andererseits folgt die Erscheinung mit Notwendigkeit aus der von v. Laue entworfenen Theorie der Kristallinterferenzen, wie im folgenden ausgeführt wird. Mit Rücksicht auf unser Endziel bemerken wir, daß die in dieser Notiz besprochenen Beobachtungen auch als experimenteller Beweis für die Richtigkeit der an die Spitze gestellten Behauptung angesehen werden können.

Erklärt man sich mit den nachfolgenden Überlegungen einverstanden, dann liefert die Beobachtung der fraglichen Interferenzen ein einfaches Mittel, um mit absoluter Sicherheit über den (mikro-)kristallinischen oder amorphen Zustand einer Substanz zu entscheiden. Die in § 3 vorgeführte Diskussion dreier Photogramme soll zeigen, wie man über die einfache Feststellung einer jener Tatsachen hinausgehend die photographische Aufnahme benutzen kann, um den inneren Aufbau des Einzelkristalls zu erforschen. Tatsächlich gelingt es mit Hilfe einer cinzigen Photographie die gegenseitige Lage und die Abstände der Atome im Kristall zu bestimmen, ähnlich wie das bekanntlich Bragg durch die elektrometrische Untersuchung der Reflexion an den verschiedenen Netzebenen eines großen Kristalls gelungen ist. Man kann mit gutem Grund sogar behaupten, daß diese ganze Frage mit Hilfe eines vollständig amorph ausschenden Pulvers nach unsrer Methode erheb-

1) Sitz,-Ber, d. Kgl Bayer, Ak. d. W. 1912, S. 315.

Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgenlicht. I.

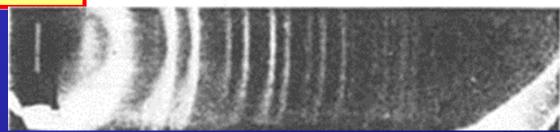
THE CRYSTAL STRUCTURE OF IRON.1

By A. W. HULL.

IN the X-ray analysis of iron a special procedure is necessary on account of the difficulty of obtaining large crystals.

Abstract of a paper presented at the Cleveland Meeting of the Physical Society, October

27, 28, 1916.



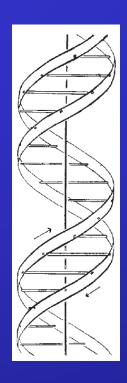
Anneaux de diffraction de Debye - Scherrer et Hull

La cristallographie devient une science centrale pour l'étude des matériaux

- A.W. Hull "The crystal structure of iron" Congres annuel de l'Am. Phys. Soc., oct. 1916 A.W. Hull "A new method of x-ray crystal analysis" Phys. Rev. 10, 1917, 661-696
- Debye, P. Scherrer "Interferenzen an regellos orientierten Teichen im Röntgenlicht" Physikalische Zeitschrift 17, 1916, 277-282

La biologie, un nouveau domaine d'application pour la cristallographie

Prix Nobel de physiologie, 1962



MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid

WE wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (D.N.A.). This structure has novel features which are of considerable biological interest.

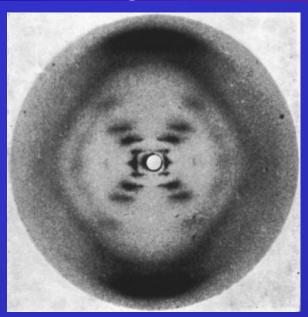
A structure for nucleic acid has already been proposed by Pauling and Corey¹. They kindly made their manuscript available to us in advance of publication. Their model consists of three intertwined chains, with the phosphates near the fibre axis, and the bases on the outside. In our opinion, this structure is unsatisfactory for two reasons:

(1) We believe that the material which gives the X-ray diagrams is the salt, not the free acid. Without the acidic hydrogen atoms it is not clear what forces would hold the structure together, especially as the negatively charged phosphates near the axis will repel each other. (2) Some of the van der Waals distances appear to be too small.



J. D. Watson, F. H. C. Crick "Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid" Nature 171, 737-738 (25 avril 1953)

La biologie, un nouveau domaine d'application pour la cristallographie



Molecular Configuration in Sodium **Thymonucleate**

Sofium thymonucleate fibres give two distinct types of X-ray diagram. The first corresponds to a crystalline form, structure A, obtained at about 75 per cent relative humidity; a study of this is described in detail elsewhere. At higher humidities a different structure, structure B, showing a lower degree of order, appears and persists over a wide range of ambient humidity. The change from A to B is reversible. The water content of structure B fibres which undergo this reversible change may vary from 40-50 per cent to several hundred per cent of the dry weight. Moreover, some fibres never show structure A, and in these structure B can be obtained with an even lower water content.



R.E. Franklin

The X-ray diagram of structure B (see photograph) shows in striking manner the features characteristic of helical structures, first worked out in this laboratory

by Stokes (unpublished) and by Crick, Cochran and Vand². Stokes and Wilkins were the first to propose such structures for nucleic acid as a result of direct studies of nucleic acid fibres, although a helical structure had been previously suggested by Furberg (thesis, London, 1949) on the basis of X-ray studies of nucleosides and nucleotides.

While the X-ray evidence cannot, at present, be taken as direct proof that the structure is helical. other considerations discussed below make the existence of a helical structure highly probable.

Acta Cryst. (1952). 5, 581

The Structure of Synthetic Polypeptides. I. The Transform of Atoms on a Helix

By W. Cochran

Crystallographic Laboratory, Cavendish Laboratory, Cambridge, England

F. H. C. CRICK

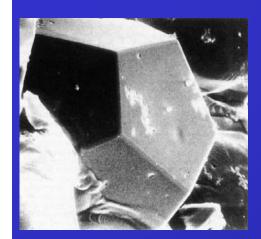
The Medical Research Council Unit for the Study of the Molecular Structure of Biological Systems, The Cavendish Laboratory, Cambridge, England

AND V. VAND*

Chemistry Department, The University, Glasgow W. 2, Scotland

R.E. Franklin, R.G. Gosling "Molecular configuration in sodium thymonucleate" Nature 171, 740-741 (25 avril 1953)

La cristallographie s'affranchie des limites de l'espace à trois dimensions Découverte des quasicristaux et nouvelle définition Prix Nobel de chimie, 2011

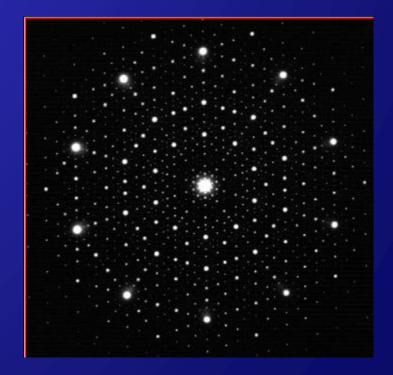


1982 → premières synthèses d'alliages métalliques constitués de quasi-cristaux :



D. Shechtman





D. Shechtman, I. Blech, D. Gratias, J. W. Cahn, « Metallic phase with long range orientational order and no translational symmetry » Phys. Rev. Lett. 53 (1984) 1951-1954

La cristallographie s'affranchie des limites de l'espace à trois dimensions Découverte des quasicristaux et nouvelle définition

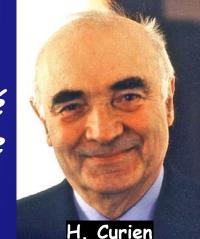
Nouvelle définition d'un cristal :

« Un cristal est un solide auquel on peut associer un diagramme de diffraction présentant des pics fins »

1991, Union Internationale de Cristallographie

Au-delà de l'ordre parfait, du rôle des défauts

« Cette matière solide, qui a longtemps fondé l'essentiel de son charme sur sa parfaite ordonnance atomique, séduit aussi, aujourd'hui, par ses écarts aux canons de la périodicité... »



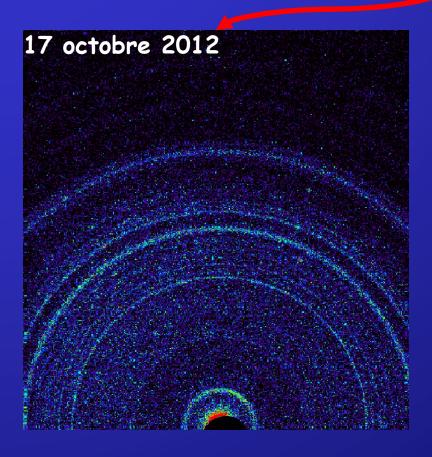
Hubert Curien, lors de la cérémonie d'ouverture du congrès de l'Union Internationale de Cristallographie à Bordeaux en 1990

On parle « d'ingénierie des défauts »

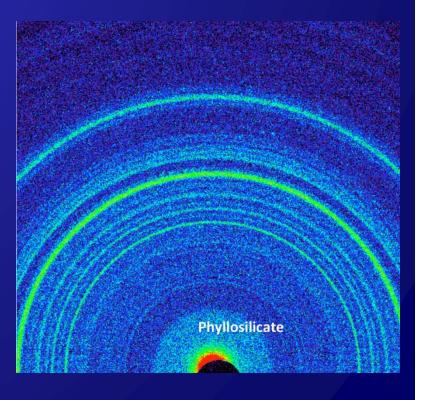
La cristallographie, au-delà de nos frontières usuelles

Un siècle après l'expérience de W. Friedrich, P. Knipping et M. Laue

Premier diagramme de diffraction extra-terrestre









Merci de votre attention



Comité de AICr2014 pilotage

http://www.aicr2014.fr/



