

Zeitschrift:	Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali
Herausgeber:	Schweizerische Naturforschende Gesellschaft
Band:	126 (1946)
Rubrik:	Discours d'introduction du Président annuel et Conférences principales

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 06.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

A.

Partie scientifique

Discours d'introduction du Président annuel
et Conférences principales

Communications faites aux séances de sections

Wissenschaftlicher Teil

Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten
und Hauptvorträge

Vorträge, gehalten in den Sektionssitzungen

Partita scientifica

Discorso inaugurale del Presidente annuale
e Conferenze principali

Comunicazioni fatte alle sedute delle sezioni

Eröffnungsansprache des Jahrespräsidenten der SNG

bei Anlass der 126. Jahresversammlung, in Zürich

Das Experiment in den mineralogischen Wissenschaften

Von

PAUL NIGGLI, Zürich

Meine Damen und Herren!

In zweifacher Hinsicht mahnt uns die 126. Versammlung der Schweizer Naturforscher zur Besinnung. Die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft und ihre älteste, nun 200 Jahre alt gewordene, regionale Vorläuferin sind in einer Epoche gegründet worden, in der die Naturforschung in das den gegenwärtigen Zustand entscheidend bestimmende Entwicklungsstadium eintrat. Sie sind Kinder der « Zeit der Aufklärung ». Da mag für uns HUIZINGAS Wort gelten: « Es ist wohl gut, dass, wer vorwärts schreitet in den Wind der Jahrhunderte, einen Augenblick stille stehe und sich umsehe nach der Stelle, von wo er am Morgen ausgezogen ist. » Ja dieses Verweilen wird zur Pflicht, weil kein sanfter Morgenwind einen hellfrohen Frühlingstag der Zukunft anzeigt, und Wolken einer schweren Gewitternacht, in der alle wilden Gewalten entfesselt waren, den Ausblick noch nicht frei geben, so dass keine Gewissheit, sondern nur die Hoffnung uns erfüllt, sie möchten sich nicht erneut zusammenballen, sondern jener Klarheit Raum gewähren, die so oft dem Sturme folgt. Da wissenschaftliche Kenntnisse mithalfen, die Grösse der kulturzerstörenden Gewalten der letzten Vergangenheit ins Ungeahnte zu steigern, und da trotz « Aufklärung » ein Rückfall in Barbarei nicht vermieden werden konnte, ist der Wert dessen, was Werkzeuge zum Handeln lieferte und mindestens äusserlich dem letzten Jahrhundert den Stempel

aufdrückte, nämlich die Mehrung der Naturerkenntnis und die Zunahme der Herrschaft über Naturgewalten, fragwürdig geworden.

So nüchtern das Thema meiner Ausführungen « *Das Experiment in den mineralogischen Wissenschaften* » klingt, sinngemäss lässt es sich kaum behandeln ohne Hinweise auf Methoden und Ziel der Naturwissenschaften im allgemeinen. Es wird deshalb versucht werden müssen, Standort und Aufgabe dieser umstrittenen kulturellen Betätigung, vom subjektiven Gesichtspunkt eines Einzelnen aus, zu umreissen.

Mineralogische Wissenschaften steht nach altem Sprachgebrauch für alle Wissenschaften, die sich mit dem anorganischen Aufbau der Erde befassen, umschliesst somit Disziplinen, die oft als beschreibende, individuelle, systematische oder idiographische den exakten, allgemeinen oder nomothetischen, wie Physik und Chemie, gegenübergestellt werden. Und es hat Zeiten gegeben, daran erinnert die Anlage älterer mineralogischer und biologischer Institute, in denen die Zusammenstellungen « experimentelle Mineralogie » oder « experimentelle Pflanzen- und Tierkunde » als Widersprüche empfunden wurden.

Heute ist das Experiment, das seit den Zeiten eines GALILEI und NEWTON zum Hauptträger des allgemeinwissenschaftlichen und des technischen Fortschrittes wurde, in den mineralogischen Wissenschaften so heimisch geworden, dass bereits 1937 NORMAN L. BOWEN an der Versammlung der « Mineralogical Society of America » vorschlug, den alten Wahlspruch der Geologen: « Mente et malleo » in « Mente et malleo atque catino » zu verändern, und in den zwanziger Jahren schien es sogar eine Zeitlang, als ob der in der Natur beobachtende Mineraloge weniger hoch eingeschätzt werde als der experimentierende. Was bedeutet die Entwicklung, von der befürchtet wurde, sie führe zur Verkümmерung des unmittelbaren Beobachtungsvermögens und der Erlebnistiefe? Ist sie verbunden mit einer Umgestaltung der Ziele, die sich die Naturforscher gestellt haben?

Alle von hervorragenden Forschern stammenden Umschreibungen der Naturwissenschaften rücken das *Erkenntnisziel*, werde es nun als Gestaltung, als Aufsuchen von Ordnung und Gesetzlichkeit, Nachbildung und Beschreibung oder Rückführung der Naturerscheinungen auf Ideen und Beziehungen bezeichnet, in den Vordergrund, während in Rechenschaftsberichten und Ansprachen an

Volk und Behörden der *volkswirtschaftliche Nutzen* einer selbst reinen und abstrakten Forschung und die Bezungung der Naturgewalten hervorgehoben werden. Wie ist der Naturforscher, der in Ehrfurcht und in liebevoller Versenkung die Geheimnisse der Natur ergründen wollte, zu einem nicht unerheblichen Teil Zweckforscher und Grundlagenforscher für die Ingenieurwissenschaften geworden?

Sorgfältige Beobachtungen der Naturerscheinungen führten zu den Ideen und Gedanken, die ermöglichten, Ordnung und Gesetzmäßigkeit in eine zunächst unübersehbar scheinende Mannigfaltigkeit zu bringen. Die Wiederholung von Ähnlichem oder Gleichartigem liess Korrelationen ahnen und gab da, wo es möglich war, Veranlassung, durch *Experimente* nachzuprüfen, ob diese zu Recht bestehen und wie sie am einfachsten formulierbar sind. In ausgeklügelten Versuchsanordnungen eliminierte man gewisse Einflüsse, um die Wirkung anderer beurteilen zu können, und selbst wenn dies nur unvollkommen gelang, wurde anschliessend und gestützt auf die Ergebnisse ein nur in Gedanken ausführbares oder idealisiert gedachtes Experiment als Gesetz formuliert. Dreierlei geschah:

1. Durch Selektion und Vereinfachung entfernte man sich immer mehr vom komplexen Naturgeschehen und von der Beschreibung des Unmittelbar-Naturgegebenen und fand dafür die Grundprinzipien, aus deren Überlagerung und Zusammenwirken die Welt aufbaubar schien.

2. Die Experimenterkunst wurde *autonom*, so dass von einer der Wissenschaften, die dieser Erkenntnisrichtung besonders huldigten, ein Physiker noch vor wenigen Jahren glaubte schreiben zu dürfen: « Die Physik im eigentlichen Sinne behandelt überhaupt keine Naturerscheinungen, sie beobachtet nicht, sie stellt Versuche an, sie stellt sich die Erscheinungen, die sie studiert, erst selber her » (F. AUERBACH).

3. Deshalb entwickelten sich auch notwendigerweise aus den Experimentalwissenschaften die Grundlagen der *wissenschaftlichen Technik*, d. h. man benützte die gewonnenen Erkenntnisse nicht nur zum Verständnis der unmittelbaren Umweltserscheinungen, sondern zur Bändigung von Naturgewalten und zur Konstruktion von Neuartigem. Von selbst ergab sich, dass Vorgänge und allgemeine Erscheinungen wie Wärme, Elektrizität, Magnetismus leichter in Elementares zerlegbar und durch Versuche erforschbar waren als Form und Gestalt von Naturkörpern oder die Tektonik

der Sinnenwelt. Ja es erweckte schon Aufsehen, als die Synthese von Mineralien oder von in Lebewesen auftretenden chemischen Verbindungen gelang. Die Physik, oft als Lehre von den Naturkräften und Vorgängen (oder moderner als Energielehre) bezeichnet, schien zunächst mit wenigen Prinzipien auszukommen, in denen von einfachen, unveränderlichen Kraftwirkungen im Sinne der klassischen Mechanik ausgegangen wurde. Die Abstraktion ging soweit, dass vielfach das, was Materie genannt wurde, durch Massenpunkte ersetzbar schien, wobei allerdings bereits die Tatsachen der Chemie nur noch im allgemeinsten Sinne verständlich wurden.

Dadurch vertiefte sich der Gegensatz zwischen den sogenannten exakten Naturwissenschaften und der *Naturgeschichte*, die von der *Existentia* handelt. Auf der einen Seite das in neue Gefilde führende Experiment, auf der andern die Liebe zum Objekt, die sorgfältige Beobachtung des Naturgegebenen, der Sinn für Gliederung, Systematik und geschichtlichen Werdegang. Doch auf die Nebeneinanderentwicklung folgte bald wieder die heute unzweifelhaft im Aufschwung befindliche Zusammenarbeit. Einerseits wurde deutlich, dass selbst in allgemeinster und abstrakter Fassung Naturgesetzliches ohne Untersuchung der geometrischen Eigenschaften der Welt und ohne Annahme eines ganz bestimmten diskontinuierlichen Aufbaues nicht widerspruchsfrei darstellbar ist. Anderseits hielt das Experiment in seiner ursprünglichen Form, als Hilfsmittel, einen natürlichen ablaufenden Vorgang oder eine Formserie besser verstehen zu können, Einzug in alle Wissenschaften.

Wenn wir von der *Rolle des Experiments* in den historisch-beschreibenden Naturwissenschaften, z. B. in der Mineralogie, sprechen, so ist es selbstverständlich, dass wir eine bestimmte Art experimenteller Untersuchungen meinen. Die mannigfachen Hilfsmittel und Apparaturen, die zur Charakterisierung der Naturkörper dienen, die präparativen Methoden, die analytisch-chemischen, goniometrischen, mikroskopischen, röntgenographischen Verfahren zur stofflichen Kennzeichnung gehören naturgemäß nicht dazu. Für sie steht im Wahlspruch des Geologen « Malleo, der Hammer », muss doch heute das, was man seinem Wesen nach erkennen will, sowohl im Felde wie im Laboratorium untersucht werden. Benutzt anderseits ein Physiker oder Chemiker ein Mineral statt eines künstlichen Festkörpers zu Experimenten, so hat auch dies mit Mi-

neralogie im engern Sinne nichts zu tun. Gewiss sind fundamentale Erscheinungen der Kristalloptik am natürlichen Calcit, der Piezoelektrizität am Quarz, der Pyroelektrizität am Turmalin studiert worden und ist die Lehre vom kristallinen Aufbau der Materie aus der Mineralienkunde hervorgegangen; aber das Typische in allen diesen Fällen ist, dass bewusst von den erdgebundenen Eigentümlichkeiten des Ausgangsmaterials zugunsten einer allgemeinen Kristallkunde abgesehen wurde. Zu über 90 % bildet das, was man auf den Hochschulen « Allgemeine Mineralogie » nennt und das vielfach Forschungsgebiet der Mineralogen ist, nur eine physikalisch-chemische und geometrische Grundlage und Einführung für das eigentliche Fachstudium. Letzteres will Auskunft erteilen, warum ganz bestimmte Kristallarten in charakteristischen Ausbildungsweisen und Vergesellschaftungen in der Natur auftreten. Mit ihren Schwesterwissenschaften Petrographie und Geologie sucht die Mineralogie den Aufbau, die Entstehung und Umbildung der festen Erdkruste zu ergründen. Ein gegebener Tatbestand ist, um wissenschaftlich bearbeitbar zu werden, ohne Zerstörung natürlicher Zusammenhänge zu sichten und zu ordnen. Dieser Prozess der Beschreibung und Systematik ist zum Teil lediglich eine *Vorbedingung*, in den natürlichen genetischen Klassifikationen jedoch ein wichtiges *Schlussresultat* der eigentlichen Forschung.

Für den Naturkundler im engern Sinn sind somit eigentliche Experimente *Teste* oder *Rekonstruktionsversuche*, die er ausführt, um das Sein als Gewordenes, als Resultat natürlicher Prozesse deuten zu können. Er fühlt sich als Nachgeborener in eine Umwelt gestellt, die er als Ergebnis von Vorgängen neu erleben möchte. Damit wird er zum *Naturhistoriker*, der Gegenwärtiges aus Vergangenem abzuleiten hat.

Man sieht schon daraus, wie einseitig manche Definitionen der einzelnen Wissenschaften sind, denn von den Vorgängen sollen ja nach der Meinung vieler die Physik und die chemische Physik handeln, die Mineralogie aber nur von gewissen Objekten. In Wirklichkeit sind auch für den Mineralogen die Objekte weitgehend nur Offenbarungen von Bildungs- und Auswahlgesetzen, und jede Inventar- oder Bestandesaufnahme ist für ihn mit dem Versuch verbunden, das So- und Nichtanderssein zu erklären. Die in Praxis bemerkbare Trennung, die sich im Laufe der Zeiten zwischen Physik im alten Sinne und sogenannter beschreibender Natur-

wissenschaft bemerkbar gemacht hat, beruht auf dem schon erwähnten Umstande, dass, um Vorgänge überhaupt zu verstehen, der Physiker die natürlichen Erscheinungen zergliedern musste. Im Laboratorium suchte er in der Natur gekoppelte Vorgänge zu trennen, gewissermassen Reinkulturen darzustellen, um Grundgesetze zu finden.

Die Produkte, die der Mineraloge und Geologe als Gewordenes verstehen will, sind im natürlichen Laboratorium der Erde gebildet worden, in welchem nichts, was der Experimentalphysiker als Zufallsfaktoren ausschalten möchte, von vornherein gefehlt hat. Aus den Besonderheiten, die für den Physiker lästiges Beiwerk sind, muss versucht werden, vergangenes Geschehen lebendig zu gestalten und bis in Einzelheiten zu rekonstruieren.

Man könnte gegenüber den großzügigen Darstellungen der physikalischen Weltbilder, die gar nicht beabsichtigen und ausserstande sind, eine Realität wie eine meteorologische, mineralogische oder biologische Erscheinung in ihrer individuellen Eigenart völlig zu durchschauen, von *den exakten Wissenschaften* sprechen, wäre diese Wortbildung nicht gerade im umgekehrten Sinne gebraucht worden. Auch wäre es möglich, für die beschreibenden Wissenschaften den Begriff der *synthetischen Naturforschung* im Gegensatz zur analytischen einzuführen, da diese Disziplinen die Einzelerscheinungen wieder zur natürlichen Komplexheit zusammenfügen.

Doch wäre dies alles nur halbrichtig, da die Sprache ein so unbeholfenes Werkzeug ist, daß sie den Nuancenreichtum der Gedankenarbeit niemals zu fassen vermag. Uns aber gestatten diese Überlegungen, die Eigenart des Experimentes in den mineralogischen Wissenschaften näher zu umreißen.

Ein *erster Typus* zeichnet sich durch das Bestreben aus, die speziellen Konstanten physikalischer und chemischer Art für ein System zu bestimmen, das einigermassen einer natürlichen Gegebenheit nahekommt. Nur so ist es möglich, die Beobachtungen zur Urteilsbildung über die Genesis und das weitere Verhalten im natürlichen Verband richtig heranzuziehen. Kein Geringerer als J. H. VAN T'HOFF hat in diesem Sinne bei der Erforschung der Kalisalzlagerstätten mit einem grossen Stabe von Mitarbeitern die Mineralbildung bei Verdunstung von Meerwasser beispielhaft abzuklären versucht. Es handelt sich um das letzte Werk dieses grossen Forschers, das nach G. BREDIG zwar nicht in Phantasie und

Originalität, wohl aber in Kraft und Tiefe wissenschaftlicher Vorbildlichkeit und Tragweite den übrigen Leistungen des Schöpfers der Stereochemie und der Theorie der Lösungen ebenbürtig ist. Probleme der Technik, in diesem Falle der Kalisalz- und Gipsindustrie, fanden Beachtung, immer aber führte das Genie VAN T'HOFF « in grössere kosmische Ferne, immer wieder wurden seine Salzstudien zu einem Teleskop, in die geologische Vergangenheit und Zukunft zu schauen » (G. BREDIG). Die Untersuchungen über die Bildung der ozeanischen Salzablagerungen verhalfen der synthetischen Petrographie und Geologie, die, Anregungen von HORACE BÉNÉDICT DE SAUSSURE und JAMES HALL folgend, von französischen Forschern, wie dem Meister experimenteller Fragestellung, A. DAUBRÉE, begründet wurde, zum endgültigen Durchbruch.

Wie notwendig die vollständige Durcharbeitung der natürlichen Salzsysteme, an der sich nach dem Tode VAN T'HOFFS noch viele beteiligten, war, geht schon daraus hervor, dass sich die Unrichtigkeit der Ansichten ergab, von denen der Physikochemiker und die Petrographen ausgegangen waren. Die beobachtbaren Salzparagenesen können auf Grund der Laboratoriumsversuche gar keine normalen Verdunstungsparagenesen sein, sie haben ihren derzeitigen Charakter durch spätere Vorgänge einer Metamorphose erhalten. Derartige recht häufige Widerlegungen plausibler Annahmen durch das Experiment erfüllen den wirklich Naturkundigen Bemühungen gegenüber, allgemeine Theorien (seien sie noch so hübsch mathematisch formulierbar) auf Spezialerscheinungen anzuwenden, ohne die exakten Daten zu kennen, mit grösster Skepsis. Naturgemäß handelt es sich bei diesen Nichtbestätigungen einer vorgefassten Meinung um keine Misserfolge an sich; sie klären ab, führen zu erneuter sorgfältiger Beobachtung und beweisen im Grunde genommen nur, dass man sich noch nicht genügend frei gemacht hatte von dem Reichtum an Voraussetzungen, der so vielen Formulierungen der allgemeinen Physik und Chemie innewohnt. Es ergibt sich hieraus eine Situation, die durch das Verantwortungsbewusstsein und Temperament der Forscherpersönlichkeit in verschiedener Weise gemeistert wird. Glaubt der eine durch mathematische Fassung allgemeiner Prinzipien die Wissenschaftlichkeit seiner Methode beweisen zu müssen, so schreckt ein anderer vor leicht in Formeln fassbaren, jedoch voraussetzungsreichen Vereinfachungen zurück. Nur wenigen ist es vergönnt, am

richtigen Ort und in souveräner Beherrschung der Gesetzlichkeiten den Übergang vom Allgemeinen zum Speziellen zu vollziehen, die grossen Züge zu erkennen, die Mannigfaltigkeit nicht zu ignorieren und Trugschlüsse zu vermeiden. Es beweist nämlich eine erfolgreiche Synthese niemals, dass ein Naturprodukt auf gleichem Wege entstanden ist, wie umgekehrt Abweichungen von Künstlichem und Natürlichem nicht ohne weiteres sicherstellen, dass in der Natur und im Versuch *prinzipiell* verschiedene Wege benutzt wurden. Missachtung dieses Gesetzes der Vieldeutigkeit eines Endzustandes hat zu vielen Streitigkeiten, ja sogar zu ungerechtfertigten Angriffen gegen das Experiment in den beschreibenden Naturwissenschaften geführt. Engste Zusammenarbeit von Beobachtung unter Benutzung aller Hilfsmittel (wie Hammer, Waage, Mikroskop und Röntgenapparatur) mit Urteilskraft auf Grund der Kenntnisse allgemeiner Gesetze und mit spezifischer Experimentierkunst ist in allen Stadien der Untersuchung notwendig. Im Grunde genommen hat A. DAUBRÉE mit der Forderung, dass der geologische Versuch durch denjenigen selbst zur Ausführung kommen sollte, der in der Natur beobachtet, alle Umstände, die bei der Lösung der Frage in Betracht kommen, überlegt und sich so über die möglichen Ursachen des Phänomens unterrichtet hat, vollkommen recht, und wenn die Gegenwart infolge des Umfanges mancher Arbeiten zum « team work » tendiert, so ist es die wichtigste Aufgabe des Leiters, seine Arbeitsgruppe so zusammenzustellen, dass Unter- und Überschätzungen der einen Richtung unterbleiben.

Es liessen sich aus der neuen Zeit Dutzende von Beispielen anführen, wie durch voreilige Verallgemeinerungen im positiven oder negativen Sinne Missverständnisse entstanden sind. Neptunisten und Plutonisten, Magmatiker, Migmatiker und Metasomatiker haben sich ebenso bekämpft wie die Anhänger der Lehre von der Bildung der Erzlagerstätten durch aszendierende, deszendierende oder lateralsekretionäre Lösungen, und nicht selten haben sie ihren Gegnern das Fehlen einer Erfahrung in der Feldbeobachtung oder mangelnde Kenntnis der Experimentalwissenschaften vorgeworfen, ohne zu beachten, dass Natur *und* Laboratorium den beweglichen und unvoreingenommenen Geist und sorgfältigen Beobachter benötigen.

Untersuchungen, wie wir sie an einem Beispiel kennen gelernt haben und die gewissermassen dem Entwerfen spezieller Karten-

werke entsprechen, sind übrigens keineswegs eine reine Routinearbeit oder blosses Detailstudium. Neue fundamentale Einsichten werden durch sie vermittelt, manches, was die kühne Theorie übersehen hat, wird ins richtige Licht gestellt. Mannigfaltige Methoden müssen ausgearbeitet werden, um komplexe Verhältnisse darzustellen, Methoden, ohne die sich auch viele technische Aufgaben nie bewältigen liessen.

In ausgesprochenem Masse gilt dies für einen *zweiten Typus* von Experimenten in den beschreibenden Naturwissenschaften. Die allgemeine Physik und Chemie bevorzugt im Laboratorium Stoffe, die unter leicht realisierbaren Bedingungen die momentan besonders interessierenden Reaktionsweisen praktisch für sich allein studieren lassen. Im Naturgeschehen ist der Stoffbestand gegeben und nicht nach Gesichtspunkten leicht realisierbarer Experimentiertechnik ausgewählt; zudem können sich zu gleicher Zeit Temperatur, Druck und andere Faktoren ändern und hiebei Grössen annehmen, die der Experimentator zu vermeiden sucht. Der Naturkundler muss dann nicht nur das Zusammenwirken der verschiedenen Faktoren durch Experimente an komplexen Systemen zu ergründen suchen, den Einfluss von Spurenelementen nicht vernachlässigen, sondern abklären, er muss auch sehr häufig eine *völlig neue Experimentaltechnik* entwickeln. Ein Beispiel möge dies erläutern.

Beobachtungen und Überlegungen führten zur Auffassung, dass viele Gesteine Erstarrungsprodukte glutflüssiger Schmelzen sind. Nach Vorversuchen von F. FOUCÉE, A. MICHEL-LÉVY, J. MOROCEWICZ und vielen andern sowie Studien an Schlacken, besonders durch J. H. L. VOGT, hat in systematischer Arbeit das *Geophysikalische Laboratorium der Carnegie-Stiftung in Washington* begonnen, die Kristallisationsverhältnisse analoger Silikatschmelzen experimentell abzuklären. Allein das Studium der vulkanischen Erscheinungen liess erkennen, dass die natürlichen Silikatschmelzen, die Magmen, Bestandteile fast aller Flüchtigkeitsgrade enthalten, so dass unter Umständen neben Kristallisationsvorgängen auch Verdampfungen, Destillationen, Sublimationen, kritische Erscheinungen auftreten, ja dass die Gegenwart von Wasser und ähnlichen Substanzen in Magmen für eine Fülle natürlicher Prozesse verantwortlich ist. Es mussten daher, ausgehend von der Phasenlehre und allgemeinen Thermodynamik, wie sie W. GIBBS

und die holländischen Physikochemiker (besonders H. W. BACKHUIS-ROOZEBOOM, A. H. SCHREINEMAKERS und A. SMITS) geschaffen hatten, die theoretischen Grundlagen des Verhaltens derartiger komplexer Systeme ausgearbeitet werden (NIGGLI). Die Erfahrungen der hydrothermalen Mineralsynthese (z. B. französische Forscher, ferner J. KOENIGSBERGER, E. BAUR, P. NIGGLI, G. W. MOREY, W. NOLL) mussten zu Hilfe genommen werden, und man ist heute mehr als je bemüht, die Experimentaltechnik auszubauen, damit gleichzeitig hohe Temperaturen und Drucke gemessen und feste, flüssige und gasförmige Phasen in beliebigen Zeitmomenten analysiert werden können. Es hat somit die Naturbeobachtung gebieterisch die Untersuchung von Systemen verlangt, die dem Physikochemiker zu verwickelt schienen. Ja es mussten schliesslich den geophysikalischen Erkenntnissen gemäss Kombinationen von Temperaturen und Drucken berücksichtigt werden, die erst in den letzten Jahren (L. H. ADAMS, P. W. BRIDGMAN, R. E. GIBSON, D. GRIGGS, R. W. GORANSSEN) versuchstechnisch verwirklicht werden konnten. Selbstverständlich resultierten auch hierbei viele neue Erkenntnisse von zum Teil sehr grosser technischer Bedeutung.

Berücksichtigen wir schliesslich die für das Naturvorkommen gültigen geologischen Massstäbe, so ergibt sich, dass unter Umständen, selbst bei vollkommener Entwicklung der Experimentierkunst, direkte Nachahmungsversuche zur Abklärung natürlicher Bildungsweisen überhaupt unmöglich sind. Nicht nur widerstehen Erscheinungen, die grosse Räume und Massen beanspruchen, dem Laboratoriumsversuch, der Faktor Zeit verhindert den unmittelbaren Test. Deshalb benötigen die beschreibenden und historischen Naturwissenschaften einen *dritten*, auch in der Technik notwendig gewordenen *Typus*, den *Modellversuch* an künstlichen Materialien, jedoch unter strenger Wahrung der sogenannten *Ähnlichkeitsgesetze*. Er ist u. a. in jenem Zweige der mineralogischen und technisch-angewandten Wissenschaften entwickelt worden, der zur Hydraulik, Aerodynamik und dem Erdbau in engster Beziehung steht. H. HELMHOLTZ, O. REYNOLDS, L. PRANDTL und Lord J. RALEYGH haben die hydraulischen Ähnlichkeitsgesetze formuliert und so ermöglicht, in Versuchsanstalten Ergebnisse zu erhalten, die, ins Grosse übertragen, zum mindesten keine wesentlichen Widersprüche ergeben. In der Sedimentpetrographie spielt besonders die Reynoldsche Zahl bei der Vergleichswertung eine wichtige Rolle.

Es ist selbstverständlich, dass auch der geologisch-tektonische Versuch immer den Charakter eines Modellversuches annehmen muss, dass es aber nicht leicht ist, die Eigenschaften massstabsgetreu zu reduzieren. Erstens sind uns die Stoffe und Bedingungen in erheblicher Erdtiefe nur sehr unvollkommen bekannt, und zweitens bleibt unsicher, ob nicht bei gewissen plausibeln Ähnlichkeitsrelationen andere Faktoren irreduzibel bleiben. Reibungs-, Viskositätsverhältnisse, Dichtigkeitsverhältnisse, Dimensions- und Zeitverhältnisse bestimmen sicherlich nicht allein ein Ähnlichkeitsgesetz; der chemische Bestand und das Reaktionsgeschehen sind jedoch kaum in analoger Art wie die mechanischen Bedingungen modellartig ersetztbar. Neuerdings haben u. a. M. K. HUBBERT und Fr. F. GROUT die Grundlagen geologischer Modellversuche diskutiert, nachdem seit A. DAUBRÉE viele Geologen die experimentelle Geologie zu Demonstrationszwecken und als Veranschaulichungsmittel ausbauten.

Bei einer zweiten Gruppe von Modellversuchen will man nicht völlig massstabsgerecht Naturgeschehen reproduzieren, sondern nur dem Prinzip nach ein bestimmtes Verhalten an leichter zugänglichen oder reaktionsfähigeren Stoffen studieren. Man ersetzt beispielsweise Silikatstrukturen durch energetisch verwandte, leichter synthetisierbare Kristallverbindungen (z. B. V. M. GOLDSCHMIDT).

In allen bis jetzt genannten Fällen ist der Experimentator von einem gegebenen Tatbestand und einer Idee über die Bildungsweise ausgegangen, ohne vorerst zu fragen, warum die Natur diese und keine anderen Stoffe und Bedingungen erzeugt. Die Untersuchungen haben sich auch darauf beschränkt, Daten von *allgemeiner physikalisch-chemischer Bedeutung* festzulegen. Benutzt man z. B. die Phasenregel, so ist es hierfür von einer gewissen Grösse der Kristalle an gleichgültig, ob ein Festkörper in vielen Einzelindividuen oder als Einkristall auftritt, auch wird auf Habitus und Tracht der Kristalle, die ein Mineralaggregat kennzeichnen helfen, keine Rücksicht genommen. Das entspricht der ungeheuren Schematisierung der klassischen physikalischen Chemie. Um Grundgesetze zu finden, mussten individuelle Unterschiede als belanglos, ja in einem gewissen Sinne als Zufälligkeiten betrachtet werden. Die Baugesetze und die Architektonik der Natur wurden als etwas Sekundäres angesehen, und man vergass, gleichberechtigt neben

den dynamischen auch allgemein morphologische Gesetze aufzustellen.

Deshalb erscheinen wenigstens in der gegenwärtigen Zeit *zwei weitere Typen experimenteller Untersuchungen* innerhalb der mineralogischen Wissenschaften, die Besonderheiten wie *Struktur* und *Textur* einer Mineralvergesellschaftung, äussere Form und innere Variabilität der Einzelkristalle oder das *So-* und *Nichtanderssein* und die *natürliche Selektion* dem Verständnisziel erschliessen wollen, noch disziplingebunden zu sein. Immer wieder versucht der Mineraloge, das, was Naturspiel scheint, in seiner Gesetzmässigkeit zu fassen, Eigentümlichkeiten, die man, um vorerst einen Gesamteindruck zu erhalten, übersehen musste, zu neuer Fragestellung zu benützen. Hat die Wertung der Sinneseindrücke nach ihrer wissenschaftlichen Erklärbarkeit infolge der notwendigen Abstraktion und dadurch möglich werdenden Verallgemeinerung zur Entfremdung von der Realität geführt, so stellen die Versuche, das *Lokalkolorit* eines Minerals oder einer Mineralvergesellschaftung sukzessive der wissenschaftlichen Behandlung zu erschliessen, die Naturnähe wieder her.

Es ist der besondere Reiz der beschreibenden Naturwissenschaften, aus der Spannung des Individuell-Einmaligen und des Allgemein-Typischen fortlaufend neue Erkenntnisse zu gewinnen, als Beobachter zum Urquell der Natur zurückzukehren und sozusagen tagtäglich den Akt zu vollziehen, den die allgemeine Physik nur periodisch vollführt. Experimentaluntersuchungen auf diesen Gebieten sind besonders schwierig, da sehr häufig theoretische Grundlagen fehlen. Aber gerade weil es sich oft um die Kinetik und nicht um die teilweise von der Energielehre her fassbare Statik handelt, um morphologische Aussagen im Gegensatz zu atektonischen Allgemeinsätzen, oft auch um eine Geometrisierung statt einer Algebraisierung der Natur, werden nicht nur enge Beziehungen zu den experimentell-biologischen Wissenschaften hergestellt, es wird eine Naturforschung der Zukunft vorbereitet, die sich von der Alleinherrschaft der Energetik befreit hat. Beziehungen zwischen Kristallwachstum, Kristallgestalt, Kristallverwachsungen, Strukturanlagen und Milieufaktoren sind auf Grund sorgfältiger Beobachtungen und statistischer Bearbeitung ableitbar, *doch kann auch hier nur das Experiment gewonnene Ansichten widerlegen oder wahrscheinlich machen*. Das Kristallindividuum, an sich einmalig

in bezug auf äussere Gestalt und inneren Realbau, ist mit andern zu Arten zusammenzufassen, deren Variationsbreite bestimmt werden muss. Begeht der Physikochemiker oft den Fehler, Untersuchungen an Einzelkristallen bereits als typisch für eine Kristallart anzusehen, so hat der Mineraloge seinerseits zu versuchen, die Abhängigkeit der Eigenschaften von Spezialbau und den Besonderheiten der Entstehung und Vorgeschichte herauszufinden. Ist in grossen Zügen die Idealstruktur einer Kristallverbindung bekannt, so setzt die Kristallchemie mit ihren für mineralogische Erkenntnisse wichtigen Spezialaufgaben ein: sie hat die Deformationsmöglichkeiten, Substitutions- und Einlagerungseffekte, die pathologischen Erscheinungen, die Verwandtschaftsbeziehungen mit andern Strukturen, die Haltbarkeits- und Stabilitätsbeziehungen, das paragenetisch verschiedene Auftreten in der Natur abzuklären.

Auch diese Detailarbeiten müssen zu allgemeinen Einsichten zusammengefasst werden, die letzten Endes das Ziel verfolgen, zu verstehen, warum uns die Natur in keiner anderen als der gegebenen Mannigfaltigkeit und Struktur gegenübertritt. Gerade die mineralogisch-kristallographischen Wissenschaften haben *Rahmen gesetze* und innerhalb dieser *Selektionsprinzipien* oder *Auswahl gesetze* von grossem Geltungsbereich entdeckt, die das Sosein der anorganischen Umwelt beherrschen und die zeigen, dass auch Morphologisches exakt und mathematisch behandelbar ist.

Aber diese ursprünglich typische mineralogische Fragestellung (*die Berücksichtigung von Form und Gestalt der Einzelkörper, von Struktur und Textur der Aggregate, von der Variabilität der Konstitution im einzelnen*) beginnt auch in der Technik, die fortlaufend komplexere Materialien herstellt, eine grosse Rolle zu spielen. Man hat sich überzeugt, dass die sogenannten allgemeinen physikalischen und chemischen Konstanten zur Charakterisierung des Verhaltens völlig ungenügend sind, dass man wie in der Mineralogie auch bei den Werkstoffen die einzelnen Kristallindividuen und deren Verbandsverhältnisse gründlich studieren muss, um zu vertrauenswürdigen Aussagen zu gelangen.

Damit aber kehren wir zu einigen allgemeinen Fragen der Wissenschaftslehre zurück. Physik und Chemie waren genötigt, ihr früheres Ideal eines mechanischen Weltbildes, einer Aufteilung des Weltgeschehens in Materie und Energie, aufzugeben. Ein Teil dessen, was man heute Physik nennt, ist reine Spezialwissenschaft,

z. B. Lehre vom Atombau, geworden, und keine Disziplin birgt so viele beschreibende und systematische Elemente in sich wie jene Chemie, die auf präparativem Wege die Mannigfaltigkeit der molekularen und kristallinen Verbindungstypen zu realisieren sucht.

In einer zurzeit noch keinen besonderen Namen tragenden Grundwissenschaft, analog der klassischen Physik, wird nicht nur versucht, allgemeine dynamische Aussagen unter Zuhilfenahme weitreichender Abstraktionen festzulegen; Struktur- und Feldgesetze sowie generell morphologische Prinzipien haben in ihr Eingang gefunden. Eine Gliederung und Quantisierung der Natur, hierarchische Aufbauprinzipien, die zum philosophisch etwas unbestimmten Begriff der Ganzheiten Veranlassung gaben, lassen sich nicht mehr übersehen. Die Naturwissenschaft beginnt die notwendige Periode der ersten erfolgreichen, aber auch so vieles ausser Betracht lassenden Schematisierungen zu überwinden, sie wird wieder naturverbundener, sie erinnert sich, dass Sein und Werden, Quantität und Qualität, Form und Energie zusammengehören. Sie strebt erneut nach Mannigfaltigkeit in der Einheit.

Die mineralogischen und biologischen Wissenschaften sind deshalb in bezug auf allgemeine Zielsetzung, Methodik und Darstellungsart kaum mehr nach den überlieferten Vorstellungen von den übrigen Wissenschaften abtrennbar, selbst wenn nach wie vor die Objektgebundenheit, die historische Komponente, das Erkennenwollen in mehr künstlerischem Sinne, d. h. das Bedürfnis, die Natur gedanklich neu zu gestalten, sie besonders auszeichnen.

Auch für sie gilt jedoch, dass der wahrheitsliebende und sozial denkende Mensch erworbene Erkenntnisse nutzbar zu machen sucht, um Probleme des Tages zu meistern. Es wäre unnatürlich, wenn sich sein Tun und Handeln in verschiedene, nicht zur Interferenz geeignete Sphären aufspalten liesse. Es sei neben dem schon Gesagten nur daran erinnert, dass die mineralogischen Wissenschaften durch die Lehre von den zur Verfügung stehenden Rohstoffen die Grundlagen der Entwicklung der Technik vom Steinzeitalter bis zur Epoche der Nutzung von Stoffen mit günstigem Atomkernzerfall bedingt haben und die biologischen Wissenschaften den Aufschwung der Hilfeleistung durch die Medizin.

Aber diese verpflichtende und an sich selbstverständliche Einordnung jeglicher kulturellen Tätigkeit in ein übergeordnetes Ganzes als einziges Ziel anzusprechen und einen sogenannten

«Nutzen», meist gemessen an materiellen Gütern, zum endgültigen Wertmassstab zu machen, verfälscht den Sinn des Lebens und lässt dieses in einen Konkurrenzkampf ausarten, in dem Wörter wie Fortschritt, soziales Verständnis, Gemeinschaft nur noch Tarnschilder für etwas ganz Andersartiges, Hintergrundiges sind. Besinnung ist gerade heute, und bis das Gleichgewicht zwischen technischem Fortschritt, moralisch-geistiger Entwicklung und Verschärfung des Gewissens wieder hergestellt ist, wichtiger als Tempo und Dynamik.

In einem Gespräch unter Studenten an den Hochschulen Zürich über «zweckfreie Wissenschaft» sind vor kurzem von einer sich besonders sozial gebärdenden Seite jene, die vergessen, dass Wissenschaft in erster Linie dazu dienen soll, den Menschen von seiner Umwelt so frei als möglich zu machen und die Kräfte dieser Umwelt in seinen Dienst zu stellen, gebeten worden, sich nicht mehr Jünger der Wissenschaft zu nennen. Wohl dürfe eine gewisse Forscherneugierde als Moment persönlicher Belebung des Geistes hinzukommen, aber jeder, der aus reiner Freude am Erkennen und an der Wahrheit arbeite, stelle sich ausserhalb einer echten Gemeinschaft und sei ein privatisierender und parasitierender Einzelgänger. Das Verwunderliche an dieser Verkennung vom Menschsein und Sinn des Lebens, an dieser Loslösung der Naturwissenschaften von den Geisteswissenschaften und der Kunst, ist eigentlich nur, dass es sich um einen Ausspruch handelt, der nach den grauenvollen Tagen erfolgte, in der sich in nie geahntem Umfange wissenschaftlicher Scharfsinn staatlichen Machtinteressen zur Verfügung gestellt hat, um Kräfte der Zerstörung ins Ungemessene zu steigern oder sogenannten sozialen Fortschritt rücksichtslos und auf Kosten anderer zu verwirklichen. Nur die geistige Weite und Unabhängigkeit einer Persönlichkeit, die Liebe zur wissenschaftlichen Wahrheit, der Drang zum Erkennenwollen an sich, können vor missbräuchlicher Verwendung fachlichen Könnens schützen und auf die wahre Dienstleistung an der Menschheit vorbereiten.

Wissenschaftliches Erkennen soll in erster Linie den Geist befreien und erheben, Einsichten vermitteln, die neben religiösem und künstlerischem Erlebnis die menschliche Kultur bereichern. Eine harmonische Entwicklung aller Fähigkeiten und Anlagen des Menschen führt schliesslich zu jenem Gleichgewicht, in dem es zur Selbstverständlichkeit wird, dass nicht *gegen*, sondern *mit* der

Natur und im Interesse wirklicher Gemeinschaft gearbeitet wird. Und so wird, ohne in den Verdacht des Überflüssigen zu kommen, die beschreibende Naturwissenschaft, d. h. die *Forschung um der Gestaltung eines Naturbildes willen*, stets ein Korrektiv sein gegenüber einer Geschäftigkeit, die, ohne Rücksicht auf die Folgen, sofort eine Erkenntnis auszunützen sucht, lediglich um mächtiger und materiell unabhängiger zu werden.

Ja es wäre erwünscht, wenn die Ergriffenheit, das Erstaunen in Ehrfurcht vor den Wundern der Natur wieder so lebendig würden, wie sie es zu Beginn der neuen Epoche naturwissenschaftlichen Aufschwunges waren. Weder das wissenschaftliche Experiment als wichtiges Hilfsmittel der Forschung noch ein gesunder Fortschritt der Zivilisation würde dadurch Schaden erleiden, denn die reine Freude an der Erkenntnis und an der Wahrheit benötigen gleichfalls ein wohlüberlegtes verantwortbares Experiment, das den humanistisch Gesinnten ebenso wertvoll ist, wenn es Vergangenes beleuchtet und erleuchtet, wie wenn es der äusseren Lebensgestaltung neue Möglichkeiten erschliesst. Nur so wird sich der Mensch seiner Pflichten und Beziehungen gegenüber den Mitmenschen, den Ahnen und Enkeln, der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft bewusst.

Wissenschaftliche Forschung ist ein Kind der Zeit, in die sie hineingeboren ist, und zugleich ein Formfaktor dieser Zeit selbst. Uns, die wir bald die Fackel weiterzugeben haben, war es vergönnt, den erfolgreichen Aufstieg des Experimentes in den mineralogischen Wissenschaften aktiv miterleben zu dürfen. Die anfängliche Überschätzung hat einer unbestrittenen Wertschätzung Platz gemacht, auch konnten die Gefahren einer Verkümmерung des Sinnes für unmittelbare Beobachtung, der Vernachlässigung morphologischer Einsichten sowie der Bedeutung der Systematik gebannt werden. Ja als im politischen Leben von Materialismus, Mechanismus und von der Bedeutungslosigkeit des Individuellen viel die Rede war, hat die Naturwissenschaft als Ganzes, gezwungenermassen und ihren eigenen Gesetzen folgend, begonnen, ein naturnäheres Weltbild zu formen, das diejenigen Einseitigkeiten der Betrachtungsweise zu vermeiden sucht, die zur Überbetonung der reinen Zahl und der formlosen Masse führten.

Noch haben viele Anbeter und Kritiker naturwissenschaftlicher Methoden den Sinn dieser Entwicklung nicht richtig erfasst,

uns aber scheint sich durch diese Evolution eine Zukunft vorzubereiten, in der Schlagworte von gestern (und leider auch noch von heute) ihre Suggestivkraft einbüßen werden und in der sich der Forscher, der, gestützt auf Beobachtung, Experiment und Urteilskraft, im Geiste die Natur neu erlebt und gestaltet, von den Fesseln befreit, die so oft, durch die einem Werk innewohnenden Möglichkeiten, den Schöpfer der Freiheit des verantwortungsbewussten Handelns berauben.

Erfüllt von dieser Zuversicht, erkläre ich die 126. Jahrestagung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft und das 201. Jahr der Tätigkeit der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich für eröffnet.

Die Mykorrhizasymbiose der Waldbäume

Von

ELIAS MELIN, UPPSALA

Während 30 Jahren waren ich und meine Schüler mit experimentellen Untersuchungen über die Mykorrhiza der Waldbäume beschäftigt. Einiges von unseren Ergebnissen der letzten Jahre möchte ich hier kurz mitteilen.

In der älteren Literatur findet man die verschiedensten Ansichten über die Natur der Baummykorrhiza. Einige Forscher verfochten FRANKS Auffassung, dass Wurzel und Pilze in mutualistischer Symbiose leben, das heisst, dass sie einander gegenseitig fördern. Andere meinten, dass die Pilze ungefährliche, andere wieder, dass sie schädliche Parasiten sind. In den letzten Jahrzehnten sind indes zahlreiche Tatsachen gesammelt worden, welche definitiv zeigen, dass die Mykorrhizen nützlich oder sogar notwendig für die Bäume sind. Im Jahre 1917 habe ich nachgewiesen, dass sich in gewissen kürzlich trockengelegten Mooren Nordschwedens Kiefern- und Fichtenpflanzen nur entwickeln konnten, wenn sie Mykorrhiza hatten. Ich fand nebeneinander Pflanzen mit und ohne Mykorrhiza. Die ersten waren grün und üppig, die letzten gelbgrün und verkümmert. Gleichartige Beobachtungen hat man später in verschiedenen baumlosen Gebieten der Erde gemacht. Es erwies sich, dass hier Baumpflanzen nur gedeihen und zu normaler Entwicklung gebracht werden können, wenn sich Mykorrhizapilze im Boden befinden, so dass sich Mykorrhiza bilden kann. Dies gilt z. B. für gewisse Gegenden Südafrikas, Australiens, Neuseelands, der Philippinen und Nordamerikas.

Um die Frage nach der Bedeutung der Mykorrhiza mit grösserer Sicherheit beantworten zu können, muss man zunächst die Pilze kennen lernen, welche dieselbe aufbauen. Gelingt es, diese in Reinkultur zu erhalten, so kann man dann Kulturversuche mit Pflanzen unter verschiedenen Bedingungen mit und ohne bestimmte

Mykorrhizapilze ausführen. Ausserdem wird es dann möglich, die Physiologie der Mykorrhizapilze zu studieren.

Die ersten biologischen Analysen von Baummykorrhizen habe ich vor 25 Jahren ausgeführt. Ich isolierte damals von Mykorrhizen der Kiefer und Fichte eine Anzahl Pilze, die sich bei Syntheseversuchen als Symbionten erwiesen. Schon aus diesen Versuchen ging hervor, dass sowohl die Mykorrhizen der Kiefer als die der Fichte von mehreren verschiedenen Pilzarten gebildet werden können. Dies hat sich später bestätigt. Es konnte weiter festgestellt werden, dass die meisten der isolierten Pilzsymbionten zu höheren Pilzen, den Basidiomyzeten, gehören. Sie bildeten indes keine Fruchtkörper in Reinkultur und konnten deshalb nur in Ausnahmefällen bestimmt werden.

Nachdem die Isolierungsversuche gezeigt hatten, dass die Mykorrhizapilze der Bäume vor allem unter den höheren Pilzen zu suchen sind, lag die Annahme nahe, dass manche der in den Wäldern wachsenden Hutpilze Mykorrhizabildner sind. Um zu erforschen, wie es sich damit verhält, züchteten ich und meine Mitarbeiter (vor allem A. B. HATCH und O. MODESS) eine Anzahl häufig vorkommender Waldpilze in Reinkultur, um mit ihnen Versuche zu machen, synthetisch Mykorrhiza zu erzeugen. Dabei ergab sich, dass Gattungen wie Röhrlinge (*Boletus*), Milchlinge (*Lactarius*), Täublinge (*Russula*), Ritterlinge (*Tricholoma*), Haarschleierlinge (*Cortinarius*), Wulstlinge (*Amanita*), Leistlinge (*Cantharellus*), Wurzeltrüffeln (*Rhizopogon*) und Boviste (*Scleroderma*) Mykorrhizapilze enthalten.

Bisher sind etwa 50 höhere Pilze als Mykorrhizabildner bei Waldbäumen experimentell festgestellt worden. Zweifellos wird diese Anzahl durch künftige Untersuchungen vervielfacht werden. Wahrscheinlich wird sich herausstellen, dass eine Anzahl Gattungen der höheren Bodenpilze — z. B. *Amanita*, *Boletus*, *Lactarius*, *Russula* und *Cortinarius* — ausschliesslich oder überwiegend Mykorrhizapilze enthalten. Andere Gattungen der höheren Bodenpilze, z. B. *Marasmius*, *Mycena*, *Clitocybe* und *Collybia*, scheinen ganz und gar saprophytische Arten zu umfassen, die in Streu leben und Zellulose sowie Lignin abbauen.

Ob auch Ascomyzeten Mykorrhizen bei Bäumen bilden können, ist noch nicht mit Sicherheit festgestellt. Wahrscheinlich ist dies aber der Fall. Einer meiner Mitarbeiter, D. LIHNELL, hat nach-

gewiesen, dass *Cenococcum graniforme* Mykorrhiza sowohl bei Nadel- als bei Laubbäumen bildet. Dieser Pilz kommt sehr zahlreich in verschiedenen Waldböden als Sklerotium vor, sein Fruchtkörper ist aber noch nicht bekannt. Seine systematische Stellung konnte deshalb nicht festgestellt werden. Wahrscheinlich gehört er zu den Ascomyzeten. Er entwickelt ein schwarzes Myzel, und die von ihm gebildeten Mykorrhizen sind kohlschwarz mit reich ausstrahlenden Hyphen. Dieser Mykorrhiza-Typus ist in der Natur sehr gewöhnlich.

Ohne hier auf weitere Einzelheiten einzugehen, will ich nur betonen, dass einige Mykorrhizapilze sehr spezialisiert sind, so dass sie Mykorrhiza nur innerhalb einer bestimmten Baumgattung bilden; andere sind weniger spezialisiert und können Mykorrhiza bei verschiedenen Gattungen hervorrufen. Zu den am stärksten spezialisierten gehört *Boletus elegans*, der nur bei der Lärche vorkommt; zu den etwas weniger spezialisierten gehört z. B. *Lactarius deliciosus*, der Mykorrhiza bei Kiefer und Fichte bildet. Zu den am wenigsten spezialisierten gehören z. B. der Fliegenpilz (*Amanita muscaria*), der Mykorrhiza bei Kiefer, Fichte und Lärche sowie bei Birke bildet, und das eben genannte *Cenococcum graniforme*, welche Art Mykorrhizabildner bei Kiefer, Fichte, Birke, Espe und Linde, wahrscheinlich auch bei anderen Bäumen ist. Die Spezialisierung gewisser Mykorrhizapilze lässt sich noch nicht erklären. Möglicherweise beruht sie darauf, dass von den Wurzeln Substanzen abgesondert werden, welche eine antibiotische Wirkung auf gewisse Pilze ausüben.

Es ist bemerkenswert, dass so viele, teilweise wenig verwandte Pilzarten mit ein und derselben Baumart in Verbindung treten und Mykorrhiza bilden. Dies bedeutet, dass bei diesen Pilzen gewisse physiologische Übereinstimmungen bestehen. Ein eingehendes Studium der Physiologie der Mykorrhizapilze ist deshalb von grossem Interesse.

Die Mykorrhizapilze der Bäume werden von gewissen Vitaminen begünstigt, wenn sie auf synthetischem Substrat in Reinkultur gezüchtet werden. In vielen Fällen haben sie die Fähigkeit verloren, selbst eine oder mehrere dieser lebenswichtigen Substanzen zu synthetisieren. Von Interesse ist indes, dass sich verschiedene Arten von Mykorrhizapilzen in dieser Beziehung sehr ungleich verhalten. Einen einfachen Typus repräsentiert *Boletus variegatus*.

Dieser braucht nur Vitamin B₁, um sich auf synthetischem Medium gut zu entwickeln. Ohne dieses Vitamin findet kein Wachstum statt.

Bei zahlreichen Mykorrhizapilzen ist der Bedarf an Vitaminen oder anderen Wuchsstoffen bedeutend komplizierter. Als Beispiel will ich nur *Lactarius deliciosus* anführen. Auf synthetischem Medium mit B-Vitaminen ist das Wachstum dieses Pilzes schwach, aber nach Zusatz von verschiedenen Extrakten, z. B. Extrakten aus Streu oder Pilzfruchtkörpern, erfolgt eine bedeutende Wachstumssteigerung. Die für gutes Wachstum dieses und vieler anderer Mykorrhizapilze erforderlichen Wuchsstoffe sind ihrer Natur nach noch unbekannt.

Für die Keimung der Basidiosporen von Mykorrhizapilzen sind nach N. FRIES besondere Stoffe notwendig, die ihrer Natur nach auch unbekannt sind.

Nach den Untersuchungen von O. MODESS finden sich unter den Mykorrhizapilzen Schwedens Arten mit verschiedenen Forderungen an den Säuregrad des Bodens. Zu den am stärksten azidophilen gehören z. B. gewisse *Amanita*-Arten (*A. muscaria* und *A. porphyria*), während *Boletus granulatus* schwach saure Reaktion vorzieht.

In der Natur kommen die Hyphen der Mykorrhizapilze nicht nur in den Mykorrhizen vor, sondern sie strahlen von diesen in den Waldboden hinein. Kulturversuche mit Mykorrhizapilzen auf Walderde sind deshalb von grösstem Interesse. Solche Versuche wurden dadurch erschwert, dass sich bei Sterilisierung der Walderde durch Erhitzen Substanzen bilden, die das Wachstum vieler Mykorrhizapilze verhindern. Durch meine Untersuchungen ist aber nun festgestellt worden, dass sich diese toxischen Stoffe nicht bilden, wenn die wasserlöslichen Substanzen der Walderde vor dem Erhitzen sorgfältig ausgewaschen werden. Auf ausgewaschener sterilisierter Walderde wuchsen eingepflanzte Mykorrhizapilze kräftig, wenn Zucker zugeführt wurde.

Die angeführten Versuche zeigen, dass organische Stickstoffverbindungen im Boden von den Mykorrhizapilzen ausgenutzt werden können, wenn sie Zucker als Energiequelle erhalten. Anderseits können die Mykorrhizapilze auch anorganische Stickstoffverbindungen assimilieren. Dagegen sind sie nicht imstande, den molekularen Stickstoff der Atmosphäre auszunutzen.

Die Mykorrhizapilze der Bäume entwickeln sich kräftig und in charakteristischer Weise zwischen den Rindenzellen der Wurzeln, was darauf hindeutet, dass Pektine von den Pilzen leicht ausgenutzt werden können. In Reinkulturen sind gewisse Zuckerarten gute Energiequellen. Dagegen scheinen Zellulosen und Lignine nicht ausgenutzt zu werden.

Meine Untersuchungen haben ferner gezeigt, dass die Mykorrhizapilze der Bäume in der Streudecke der Wälder nicht wachsen können, weil die Nadel- und Laubstreuarten Stoffe enthalten, die eine antibiotische Wirkung auf die Mykorrhizapilze ausüben. Sie scheinen deshalb typische Humuspilze zu sein, die mit den Wurzeln in Verbindung treten.

Die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Bäumen sind in den letzten Jahren eingehend von zwei meiner Mitarbeiter studiert worden, nämlich von Dr. A. B. HATCH und von Dr. E. BJÖRKMAN. Nach BJÖRKMAN sind es hauptsächlich drei Faktoren, welche die Konstitution der Mykorrhiza in hohem Grade beeinflussen, nämlich das Licht sowie der Vorrat von löslichem Stickstoff und Phosphor im Boden. Kiefern- und Fichtenpflanzen wurden bei verschiedenen Lichtstärken in verschiedenen Humustypen aufgezogen. Im Dunkeln oder in schwachem Licht, bis etwa zehn Prozent von vollem Tageslicht, entwickelten sich im allgemeinen keine Mykorrhizen. Wenn die Lichtstärke von zehn Prozent auf fünfundzwanzig Prozent erhöht wurde, erfolgte indes eine rasche Steigerung der Mykorrhizabildung; bei weiterer Erhöhung der Lichtstärke war die Steigerung unbedeutend.

Bei starkem Mangel an assimilierbarem Stickstoff oder Phosphor im Substrat entwickeln sich keine Mykorrhizen. Diese bilden sich am besten aus, wenn einer dieser Stoffe oder beide in mässigen, aber suboptimalen Mengen vorhanden sind. Wenn beide in optimalen Mengen vorkommen, findet keine Mykorrhizabildung statt. In Kolben mit Reinkulturen und in Topfversuchen mit natürlichen Erdarten wurden dieselben Resultate erzielt. In den Topfversuchen wurden einerseits Humustypen verwendet, welche arm an assimilierbarem Stickstoff, aber reich an Phosphorsäure waren, anderseits solche, welche reich an löslichem Stickstoff, aber arm an Phosphorsäure waren. Diesen Humustypen wurden Stickstoff und Phosphor in wechselnden Mengen zugeführt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich Mykorrhizen gut bei hohen Lichtstärken sowie bei mässigem Mangel von leicht zugänglichem Stickstoff oder Phosphor oder beiden ausbilden. Kommt sowohl löslicher Stickstoff als Phosphorsäure in für das Wachstum der Pflanzen optimalen Mengen vor, so entwickeln sich keine Mykorrhizen.

Worin liegt nun die Bedeutung der genannten Faktoren für die Mykorrhizabildung ? Der Umstand, dass so verschiedene Faktoren wie die genannten dieselbe Wirkung ausüben, deutet darauf hin, dass diese Wirkung indirekt ist. Ausgeführte Versuche sprechen dafür, dass die Bedeutung darin liegt, dass die erwähnten Faktoren den Zuckergehalt der Wurzeln beeinflussen. Dieser Faktor scheint es zu sein, welcher direkt oder indirekt die Mykorrhizabildung regelt, wenn die Voraussetzungen im übrigen günstig sind. Bei den höchsten Lichtstärken findet die lebhafteste Produktion von Kohlehydraten statt, welche unter anderem für den Aufbau von Proteinen und Nukleinsäuren verwendet werden. Wenn Mangel an Stickstoff oder Phosphor herrscht, werden die genannten Synthesen gehemmt, und es entsteht deshalb ein Überschuss löslicher Kohlehydrate in der Pflanze und auch in den Wurzeln. Wenn dagegen sowohl Stickstoff als Phosphor in reichlichen Mengen zugänglich sind, werden die Eiweiss- und Nukleinsäuresynthesen begünstigt, und ein Überschuss löslicher Kohlehydrate entsteht nicht. Die Mykorrhizabildung soll nach BJÖRKMAN unterbleiben, weil die Pilze keinen Zucker erhalten. Eine Stütze für die Richtigkeit dieser Auffassung fand BJÖRKMAN bei Kiefernpllanzen, welche stranguliert worden waren. Vierjährige Kiefern wurden im Frühjahr stranguliert, und im nächsten Herbst wurde die Entwicklung der Mykorrhiza bei diesen Pflanzen mit der bei normalen Pflanzen verglichen. Bei den ersteren waren die Mykorrhizen gut entwickelt, bei den letzteren fehlten sie so gut wie vollständig.

Die Versuche scheinen zu erklären, dass optimale Mykorrhizabildung in der Natur hauptsächlich auf relativ nahrungsarmen Böden vorkommt, in Schweden vor allem bei mässigem Gehalt des Bodens an löslichem Stickstoff, wie in den mittelschwedischen Nadelmischwäldern. Wenn dagegen ausser dem Stickstoffgehalt auch die Phosphormenge gross ist, wie es oft in Nadel- und Laubwäldern mit typischem Mull der Fall ist, ist die Mykorrhizabildung in der Regel gering.

Die Frage nach der Bedeutung der Mykorrhiza für die Bäume wurde kürzlich von A. B. HATCH untersucht. HATCH verwendete als Substrat Prärieerde aus einer baumlosen Gegend in Wyoming, USA. Keimlinge von *Pinus Strobus* wurden im August 1934 in Versuchsgefäße mit dem genannten Humus gepflanzt. Die Hälfte derselben wurde mit Reinkulturen bekannter Mykorrhizapilze geimpft. Die nicht geimpften Pflanzen entwickelten sich schwach und nahmen einen gelblichen Farbton an, während sich die geimpften kräftig entwickelten und dunkelgrüne Nadeln bekamen. Der Versuch wurde im Mai 1935 abgebrochen. Die geimpften Pflanzen wiesen damals gut entwickelte Mykorrhizen auf, den schwachen aber fehlten dagegen diese vollständig. Chemische Analysen ergaben, dass die Mykorrhizapflanzen einen viel höheren Stickstoffgehalt hatten als die Kontrollpflanzen. Die ersten hatten außerdem einen doppelt so grossen Gehalt an Phosphat und Kalium wie die Kontrollpflanzen. Spätere Versuche mit verschiedenen Baumarten haben diese Resultate bestätigt.

Damit ist endgültig bewiesen, dass die Mykorrhizen der Bäume als nahrungsaufnehmende Organe effektiver sind als die Wurzeln allein. In Waldböden, wo Mangel an Stickstoff, Phosphor oder beiden Stoffen herrscht, also unter Verhältnissen, wo Mykorrhizen optimal ausgebildet werden, können die Mykorrhizapilze leichter als die Wurzeln mit den Mikroorganismen des Bodens um die Nahrung konkurrieren. Die Bedeutung des Zusammenlebens für die beiden Symbionten scheint also im grossen und ganzen ziemlich geklärt zu sein, die Pilze erhalten Kohlehydrate von den Wurzeln und außerdem die nötigen Wuchsstoffe, während den Wurzeln Stickstoff und andere lebenswichtige Nährstoffe durch die Pilze zugeführt werden. Manches deutet indes darauf hin, dass verschiedene Arten von Mykorrhizapilzen ungleich effektiv für die Nahrungsversorgung der Bäume sind. Verschiedene Mykorrhiza-Kombinationen sind deshalb wahrscheinlich nicht physiologisch gleichwertig, und Generalisierungen sind zu vermeiden. Es ist eine wichtige Aufgabe für die Zukunft, verschiedene Mykorrhiza-Kombinationen bei ein und demselben Baum vom nahrungsphysiologischen Gesichtspunkte zu vergleichen.

Leider gestattet die Zeit nicht, dass ich hier näher auf die praktischen Konsequenzen der Ergebnisse der Mykorrhizaforschung eingehe. Der Zweck meines Vortrages war nur, eine Orientierung

über eine der theoretisch und praktisch wichtigsten Symbioseformen zu geben, nämlich die Verbindung zwischen den Waldbäumen und den Hutmilzen des Bodens. Nur eine für die Forstwirtschaft wichtige Aufgabe möchte ich hervorheben, nämlich die, die Mykorrhizapilze und die Mykorrhizabildung in den Pflanzschulen zu kontrollieren. Sind die Baumpflanzen für Waldtypen bestimmt, bei denen die Mykorrhiza notwendig ist, muss man in den Pflanzschulen Voraussetzungen für eine gute Mykorrhizabildung schaffen und geeignete Pilze zuführen. Wenn die Pflanzen dagegen für Waldtypen bestimmt sind, bei denen Mykorrhiza nicht notwendig ist, sind mykorrhizafreie Pflanzen vorzuziehen.

Médecine, Science, Humanisme

Par

M. GUSTAVE ROUSSY
Membre de l'Institut
(Paris)

Le chemin que je me propose de suivre, au cours de cet exposé, va logiquement nous mener de la Médecine et de son histoire, à la Biologie dont la Médecine désormais se réclame et à cette Science de l'Homme dont, non seulement la recherche médicale mais toutes les recherches scientifiques, sont l'aboutissement.

Dès que l'observateur de la Nature — qu'il s'agisse des choses de la Matière ou de celles de la Vie — s'élève, en partant du fait particulier, vers de vastes notions de synthèse, il prend contact avec d'innombrables et nouveaux problèmes. Ce sont quelques-uns de ces problèmes que je vais aborder ici, puisque aussi bien ils se présentent à nous au cours et au terme de toutes recherches en Médecine, qu'elles soient d'ordre biologique, chimique, physique ou psychologique.

La Médecine, par son objet comme par ses méthodes, forme aujourd'hui un des grands chapitres de cette Science de la vie dénommée Biologie. Et son histoire est, un peu, l'histoire de l'homme comme l'histoire des progrès de la médecine est, un peu, l'histoire des sciences. Georges Duhamel n'a-t-il pas écrit, en mai 1945 : « Orientée, guidée, armée, enrichie, la médecine, à cette heure du siècle, est en train de devenir la science des sciences. J'entends qu'elle poursuit un judicieux effort pour amener toutes les sciences à servir la cause de l'homme. »

Depuis plus d'un siècle, depuis qu'abandonnant les chemins de l'empirisme, la médecine s'est appuyée, dans ses données et dans ses progrès, sur les sciences d'observation et sur les sciences d'expérimentation, suivant les grands principes énoncés par Claude

Bernard, depuis Lavoisier, depuis Pasteur, et tout en gardant ses ambitions millénaires, elle est devenue à son tour, une science d'observation et d'expérimentation. Cette admirable évolution s'est produite grâce à l'apport que les sciences rationnelles, la physique et la chimie, lui ont fourni.

Certes, durant des siècles, ces progrès furent retardés et souvent figés par l'influence des doctrines philosophiques, par celle des préjugés confessionnels. Et longtemps, un trop grand conformisme livresque entrava la conception biologique de la médecine, ses conditions de recherches, ses méthodes de travail et son évolution.

Mais ces temps sont révolus.

La Médecine d'aujourd'hui est bien une Science parce qu'elle sait que l'art de guérir est subordonné à un ensemble de connaissances et de constatations chimiques et physiques qui l'intègrent dans tout un ensemble dont elle ne s'évadera plus.

Le plan de notre exposé, s'il embrasse d'immenses contrées, restera simple en ses données :

partant de la Médecine, de ses origines, de son histoire, il passera par les Sciences qui l'ont fait évoluer, discutera leur valeur philosophique et tentera de montrer, en termes de conclusions, comment cette évolution concourt désormais à faire progresser ce nouvel humanisme autour duquel notre exposé est axé.

I. — La Médecine à travers la préhistoire et l'histoire

« On ne connaît bien une science que lorsqu'on connaît son histoire », a écrit Auguste Comte dans son *Introduction au Cours de Philosophie positive*. Mais l'histoire de la médecine, comme celle de l'homme, est recouverte, en ses origines, par la muette poussière des temps vertigineux. Et si l'on peut penser que l'homme primitif, dès qu'il se tint debout, face au ciel, selon l'image du *De Natura Rerum*, — « Os sublime dedit, coelumque tueri... » — se mit à regarder le monde énigmatique, il se trouva inévitablement aux prises avec des problèmes parmi lesquels on ne peut éliminer ceux de la médecine. Il est bien apparent que le préhistorique, tout comme le primitif, eut à s'inquiéter de l'origine des maux qui l'assaillaient et à leur chercher des remèdes. Dans une thèse relative-

ment récente (1930) intitulée *La Paléontologie*, M. Palès (de Bordeaux) nous apprend que la maladie est aussi ancienne que la vie. Sur des ossements aurignaciens, solutréens, magdaléniens, époque de l'apparition de l'*Homo sapiens*, il retrouve des traces de maux et de blessures, il constate que la carie dentaire ne fit son apparition qu'au néolithique, mais que c'est au néolithique également que l'on observe une importante diffusion du rhumatisme.

On peut inférer, par analogie, que les pratiques médicales pré-historiques s'apparentaient à celles des peuples primitifs de nos colonies, voire à certaines traditions de médecine populaire folklorique. Et comme le primitif imagine dans le monde des enchaînements sur lesquels est basée la pratique de la magie, médecine et magie se sont confondues longtemps, comme nous allons le constater chez les Egyptiens et chez les Assyro-Chaldéens. Mais certains auteurs, tels M. Fourier-Bégriez, n'écrivent-ils pas: « Essentiellement acte de foi en la toute puissance de la volonté humaine, la magie a joué un rôle primordial dans les civilisations primitives. Elle a sauvé l'homme ignorant, entouré de forces inconnues et incompréhensibles, du morne désespoir. Mirage fécond, elle donna à l'humanité chancelante le courage de gravir, pas à pas, sous son illusoire protection, le sentier escarpé, hérissé d'embûches et d'angoisses, qui monte vers les cimes ensoleillées de la science. »

C'est à propos des Egyptiens que sont faites ces remarques sur la médecine magique, mais les Egyptiens — et la chose est d'importance — nous ont laissé leurs fameux papyrus médicaux.

Or, certains de ces papyrus sont, très exactement, des compendium de médecine courante qu'il n'est pas ridicule de rapprocher, dans une certaine mesure, des formulaires de médecine moderne. Celui du Musée de Berlin, époque de Ramsès II (environ 1300 ans avant J.-C.), contient 170 prescriptions médicales sur les maladies de poitrine, du cœur, du ventre, sur les hématuries, etc. Le papyrus Ebers, à la Bibliothèque de l'Université de Leipzig, renferme 875 prescriptions médicales. Le papyrus d'Edwin Smith, à la Société d'Histoire, à New-York, 48 cas de pathologie externe. Or, certaines de ces prescriptions remonteraient très haut dans le passé, à 3000 ans au moins avant J.-C.

Chez les Assyro-Babyloniens, médecine et thérapeutique furent d'abord et essentiellement sacerdotales et magiques. Les Israélites,

par exemple, empruntèrent leur « bouc émissaire » au rite babylonien du sacrifice de substitution.

La médecine d'observation appartient à des périodes relativement plus récentes. Mais déjà le code de Hammourabi, roi de Babylone (2000 ans avant notre ère), fixe les tarifs pour les opérations chirurgicales et ophtalmologiques, ainsi que les indemnités et châtiments infligés au médecin en cas d'échec.

Dès le premier millénaire avant notre ère, existaient des médecins royaux assyriens en service régulier, et M. R. Campbell-Thompson publiait en 1923, dans *Assyrian medical texts*, des ordonnances, telles celles d'Arad-Nanâ, médecin d'Assarhadon (681—669).

Rappelons enfin que le plus ancien traité de médecine chinoise, le « Penn-Tsrao », date du XXXVI^{me} siècle avant J.-C., et nous en aurons suffisamment dit sur les origines d'une pratique médicale aussi vieille que la souffrance humaine.

Car il nous faut arriver à la Grèce antique, terre nourricière de notre civilisation méditerranéenne et gréco-latine, pour trouver les véritables précurseurs de notre médecine moderne. Et là encore Hippocrate fut précédé par une longue lignée aux origines mythiques. Ne l'oubliions pas. Le légendaire Orphée eut comme élève Musée qui, au dire d'Aristophane, « nous enseigna la guérison des maladies ». Asclépios, (Esculape) chante Pindare, « soigna par la parole les simples et par le couteau ». Homère nous montre dans l'*Iliade* des médecins dont le métier ne comporte aucune trace de magie. Alcméon de Crotone, disciple de Pythagore, inaugure la véritable méthode expérimentale. Platon résume, très exactement, dans le *Timée*, les connaissances médicales de son temps. Il mentionne, dans le *Politique*, que les médecins étaient responsables envers l'Etat des fautes et négligences qu'ils pouvaient commettre en soignant les malades.

Puis voici Aristote et Hippocrate.

Aristote qui crée l'anatomie et la physiologie comparées.

Hippocrate (de Cos, 460—356 ans avant J.-C.) qui donne à la fois les premiers écrits médicaux proprement dits et les préceptes de déontologie, c'est-à-dire des devoirs du médecin. Un outillage et une technique plus perfectionnés permettent à Erasistrate, à la cour des Ptolémées, de faire progresser l'anatomie et la physiologie, ignorées d'Hippocrate.

Et plusieurs siècles après s'établissait à Rome, sous Marc-Aurèle, (en 163) l'illustre Galien dont on peut dire que l'œuvre est restée la bible de la médecine, non seulement jusqu'à Molière (« saignare, purgare ! »), mais jusqu'au début du XVIII^{me} siècle.

Pendant le moyen âge, à l'école de Salerne, se confrontent et se fondent les divers courants grecs, latins, arabes de la pensée médicale. En France, l'Université de Montpellier fut la première (XI^{me}, XII^{me} siècles) à se spécialiser dans la médecine. Puis vint Paris. 400 ans plus tard Rabelais était triomphalement reçu docteur en médecine, à Montpellier, le 22 mai 1537.

Notons en passant, et sans insister, que la recherche scientifique médicale ne fut pas alors sans danger et n'oublions pas que Michel Servet, pour avoir découvert et compris la circulation pulmonaire, en tira des conclusions qui le conduisirent au bûcher.

Nous avons éliminé volontairement, de cet aperçu trop succinct, l'exposé et la critique de tous les systèmes *a priori* intuitionnistes, pour ne voir, à travers les millénaires, que l'opiniâtre effort de l'humanité en marche vers la pratique médicale.

Mais pour que celle-ci reposât sur des bases positives et pût progresser, il fallut attendre l'élaboration, puis l'essor des sciences et la naissance de la biologie.

II. — La Biologie du XVIII^{me} siècle à nos jours

Si la Biologie est une science moderne, on pourrait, certes, lui trouver des ascendans. Mais il faut attendre Harvey et ses *Excitationes de motu cordis et sanguinis in animalibus*, publiés en 1628, après de sérieuses recherches de vivisection, pour sentir que nous approchons de cette ère de véritable recherche scientifique qu'exprima de si féconde façon l'esprit « encyclopédiste » du XVIII^{me} siècle. Si au XVII^{me} Swammerdam fit merveille dans ce que l'on peut appeler l'anatomie fine, Leeuwenhoeck (mort en 1723) peut être, à bon droit, considéré comme le père de toute la biologie microscopique, animale et végétale. Au physicien Réaumur appartient d'avoir créé l'éthologie biologique. Et Spallanzani (1729—1799) demeure une des grandes figures de la biologie, l'un des créateurs de la méthode expérimentale. De Lavoisier, fondateur de la physiologie générale et de la biochimie, nous ne retiendrons ici

que cette affirmation énoncée l'année même où la guillotine allait faire tomber sa tête. Elle est relative au cycle de la matière vivante. « Les végétaux, écrivait Lavoisier, puisent dans l'air, l'eau et le règne minéral des matériaux nécessaires à leur organisation; les animaux se nourrissent de végétaux ou d'autres animaux qui, eux-mêmes, se sont nourris de végétaux; enfin la fermentation, la putréfaction et la combustion rendent perpétuellement à l'atmosphère et au règne minéral les principes que les végétaux et les animaux leur ont empruntés. Par quels procédés la nature opère-t-elle cette circulation entre les trois règnes ? »

Les savants du XIX^{me} siècle ont abordé de front tous ces vastes problèmes au moyen de méthodes de plus en plus précises dans le cadre et le plan des recherches de la biologie moderne qui étaient, déjà, si nettement tracés.

« Fait significatif, remarque Maurice Caullery, le mot de *Biologie* n'apparaît qu'à l'aurore du XIX^{me} siècle, en 1802. Il est créé simultanément par Lamarck, en France, et par Treviranus en Allemagne. Il implique l'unité des processus de la Vie dans les deux règnes animal et végétal et aussi que les diverses façons de les étudier convergent vers une doctrine fondamentale unique. »

Certes, ce n'est pas aux membres de la Société Helvétique des Sciences Naturelles, et au cours d'un exposé qui est bien plutôt un hommage rendu en commun à des savants de toutes les disciplines, qu'il me faut rappeler l'œuvre d'un Claude Bernard ou celle d'un Pasteur.

Radieuses statues placées sur le socle impérissable de leur œuvre, au carrefour des routes de la recherche et de la découverte, ces noms nous rappellent, si nous pouvions l'oublier, que si grand qu'ait été le chemin déjà parcouru, il reste encore des horizons incertains à franchir, des contrées âprement contestées à explorer.

Carrefour pathétique, puisque nous n'avons aucune donnée certaine sur les origines et sur l'aboutissement des phénomènes que la Biologie s'efforce de ramener à des lois. Cette science qui étudie la vie, n'a pu élucider jusqu'à présent d'une façon satisfaisante, l'angoissant problème de ses origines. Evoquerai-je l'hypothèse, maintes fois formulée, que la vie aurait trouvé, à une époque

indéterminée, enfouie sous des millions de siècles, des conditions synthétiques de réalisation qui n'ont plus jamais été retrouvées depuis lors ? Si ses origines nous échappent, nous n'en tenons pas moins une réalité substantielle, celle qu'exprimait Claude Bernard dans son *Discours de réception à l'Académie française*, le 27 mai 1869 : « Il y a dans toutes les fonctions du corps vivant, sans exception, un côté idéal et un côté matériel. Le côté idéal de la fonction se rattache par sa forme à l'unité du plan de création ou de construction de l'organisme, tandis que son côté matériel répond, par son mécanisme, aux propriétés de la matière vivante. »

La médecine, appuyée sur les progrès des sciences, étudie la vie de l'homme, ses organes et ses fonctions physiologiques, les moyens de les préserver. Si elle tient, dans son application, de l'art et du métier, elle appartient à la science par ses techniques et ses méthodes. Dans le livre riche en renseignements et en faits que Flexner a consacré à la *Formation du médecin*, un chapitre entier est dédié à l'étude des imbrications de l'art et de la science au sein de la profession médicale. L'auteur a démontré fort pertinemment le caractère artificiel des oppositions que l'on se plaît à dresser entre la clinique et le laboratoire. L'une et l'autre procèdent des mêmes disciplines d'observation et de réflexions. Et Charles Nicolle a proclamé justement que la médecine clinique et la médecine de laboratoire sont faites pour s'unir et constituent les deux parties d'une même science.

Mais cette science médicale, si elle accepte les disciplines qui garantissent et contrôlent son intégrité et son autorité, est-elle à jamais confinée sur le terrain des faits immédiats ? N'a-t-elle pas le droit de pénétrer dans le domaine de ce que j'appellerai volontiers, avec Rémy Colin, la biologie philosophique; d'apprécier les jugements et les conclusions du médecin qui philosophe ?

Ici je me crois autorisé à exposer une attitude d'esprit un peu personnelle et qui m'apparaît comme la conclusion logique et rationnelle des recherches et des méditations auxquelles je me suis livré au long de ma carrière médicale.

Après l'exposé historique et méthodologique qui précède et qui avait pour but de situer le débat, me voici donc amené à aborder le double et inévitable problème de l'*Avenir de la Science en général* et celui de la *Science de l'homme en particulier*.

III. — La Science, l'Homme et le nouvel Humanisme

Le point de vue auquel nous sommes arrivés nous permet de conclure, comme le fait Pierre Winter dans sa récente *Etude de la médecine au moyen âge*, quand il dit :

« L'évolution des sciences et de la médecine contemporaine nous conduit tout naturellement à reviser certaines de nos positions. Nos sciences n'ont rien à abandonner de leurs certitudes et ne doivent pas redouter de reprendre leur place dans une juste hiérarchie des différents modes de la connaissance.

S'aidant de toute l'histoire de son passé, la médecine de demain doit jouer un magnifique rôle de liaison entre le monde des phénomènes matériels et celui qui dépasse notre raison pratique. Cette réconciliation entre ce que l'on appelait autrefois les « sciences sacrées » et les « sciences profanes », la médecine peut l'accomplir parce qu'elle participe à la fois des unes et des autres, et qu'elle ne peut être uniquement un sacerdoce ou une technique, mais bien un harmonieux équilibre des deux. »

Problème nettement résumé, mais qui, puisque nous avons intégré la médecine dans le corpus scientifique, nous amène à poser cette question, tombée dans le domaine public, si je peux dire, mais dont nous sommes capables de pressentir toute la portée :

Quel est l'avenir de la science ? Le thème, bien qu'il ait été traité souvent, n'est nullement épuisé, puisque, récemment encore, en France du moins, s'est rouvert le débat entre la « science » et le « scientisme » en attachant à ce dernier terme le sens d'une certaine mystique de la science.

Et là, quelles que soient les disciplines auxquelles chacun de nous reste assujetti, l'interrogation et les solutions qu'elles peuvent comporter, la question se pose impérieusement devant nous.

On sait bien, à quels débats ont donné lieu certaines théories de physique générale sur la relativité, sur la mécanique ondulatoire, sur les principes de complémentarité.

Du fait que la physique contemporaine — puisque nous avons pris ce chapitre de la science comme paradigme — du fait que la physique moderne emploie simultanément des images contradictoires pour définir les propriétés essentielles de la matière, elle s'interdit du même coup, de déterminer ensemble la position d'un

corpuscule et sa vitesse, sans que l'expérience puisse décider de l'une comme de l'autre. Et nous voici placés devant les incertitudes d'Heisenberg qui, valables à l'échelle microscopique, fournissent tant d'arguments spéciaux aux métaphysiciens du discontinu. Une brèche est-elle ouverte au mur de la Nécessité ? Et tels triomphent avec tant de hâte que Louis de Broglie, mon distingué confrère de l'Académie des Sciences, doit leur rappeler que, si la prévisibilité de certains phénomènes est, en l'espèce, amoindrie, la causalité n'en est pas le moins du monde atteinte. La mécanique ondulatoire — puisque nous avons évoqué cet exemple — n'en a au déterminisme que si l'on identifie ce vocable à celui de prévisibilité, mais non si, avec Claude Bernard, on en fait le synonyme de causalité.

La science contemporaine, sans nul doute, découvrit pour nous d'admirables paysages de pensée. Et nous en disons volontiers merci aux savants qui, comme Plank, Einstein, Niels Bohr, Louis de Broglie, renouvelèrent notre vision du monde. Nous acceptons avec joie ce don qu'ils nous ont fait d'un Univers moins morne, plus souple et plus riche. Leur cosmos discontinu, leur conception d'un monde où tout serait hétérogène, flatte l'esprit et lui permet de puissantes prises de vues sur la matière.

Mais nous n'oublions pas que le dessein de la science c'est de connaître et de faire connaître l'ordre des choses, c'est-à-dire de l'introduire dans la vie intelligible, de le dépouiller de la servitude du concret. « Plus une pensée est élaborée, écrit sévèrement Edmond Goblot, plus elle est loin de la réalité. » Nous ne pouvons que souscrire à cette austère définition. La science s'avance d'analyses plus poussées en synthèses plus hardiment abstraites. Elle embrasse chaque fois dans ses mailles une part plus vaste d'un réel toujours plus lointain.

Admettrons-nous donc que le déterminisme, né d'un mode de pensée où les vieilles notions de temps et d'espace se trouvent impliquées, ne saurait s'accommoder des conceptions de la science moderne ? Prétendrons-nous que notre pensée ne parviendra jamais à résoudre les énigmes que nous présente la microphysique contemporaine ? Ecouteons plutôt l'avis de Paul Langevin sur ces problèmes : « Le tableau de notre situation, constate-t-il, présente des lumières et des ombres. Heureusement, les lumières sont riches et les ombres sont pleines de promesses. Il nous faut savoir gré à

ceux qui s'y aventurent pour essayer de découvrir des possibilités nouvelles, ou de créer, à l'usage des hommes, un meilleur outillage mental. »

De même que nous ne pouvons admettre, pour des raisons de fait et non de sentiment, que l'on parle à nouveau, comme le fit naguère Brunetière, de « faillite de la science », nous ne pouvons accepter davantage qu'au nom usurpé de la science, on légifère dans des domaines où la science et ses valeurs sont faussées. Je pense, à nouveau, au « scientisme » qui est non pas un emploi autorisé, mais une mystique de la science.

Au commencement des « séries » intellectuelles, il y a toujours le savoir: appétit de comprendre et d'apprendre, recherche, découverte, notion conquise, loi établie. Puis interviennent les diverses synthèses par quoi l'homme dépasse le savoir de son temps pour atteindre le permanent: la métaphysique, qui tente de lier et de relier les données du savoir et de leur conférer l'apparence d'un système logique; la religion, qui donne force et forme aux exigences du cœur; l'art, qui illumine de beauté le monde des données immédiates et le monde des inductions; les techniques de l'action enfin, la morale, la politique qui ont dessein d'utiliser le savoir à des fins sociales déterminées. Chacune de ces synthèses, évidemment, fait fond sur les précédentes et les presuppose. Sans science préexistante, les métaphysiques ne sont que psittacisme. Mais, à base de science sûre et prudemment contenue, elles peuvent, elles doivent satisfaire notre goût de la logique, notre désir de comprendre. De même les religions et la science ne peuvent coexister que si elles ne s'affrontent pas dans certaines zones. Parlant avec éloquence de Pascal au sommet du Puy-de-Dôme, le 8 juillet 1923, Paul Painlevé, savant insigne, mais point scientiste, que fera-t-il au seuil du XX^{me} siècle, sinon se montrer docile à son tour à la révélation cartésienne du 10 novembre 1619 et accepter que le cerveau ait ses exigences comme le cœur les siennes. « Entre l'homme, nous disait-il, qui fonda la physique statique et celui qui, après une nuit d'extase, se rendit à l'appel du Christ janséniste, il n'est point de contradiction, parce qu'il n'est point entre eux de commune mesure. »

Ce n'est donc qu'avec la plus totale et la plus loyale prudence que le savant peut s'aventurer dans les domaines qui ne lui sont

point propres. De même, rien n'apparaît comme plus dangereux que le franchissement clandestin des frontières qui séparent les unes des autres les diverses disciplines de l'esprit. C'est ainsi que l'on semble, dans certains milieux, fonder beaucoup d'illusions sur les virtualités philosophiques de la microphysique, tout comme, voici quelques décades, on en conçut, qui furent bientôt déjouées, sur les conséquences métaphysiques de l'énergétique d'Oswald.

De même, il nous paraît abusif de prendre appui sur le principe de complémentarité de Bohr pour réintroduire dans l'explication biologique le vitalisme de Bichat ou le vieil animisme de Stahl. Constater qu'en biologie les faits ne sont pas en totalité exprimables en langue physico-chimique, en raison du risque de mort que l'on ferait courir au sujet étudié, ne prouve pas que les faits eux-mêmes ne soient pas tributaires de la physico-chimie. Tout au plus cela démontre-t-il une impuissance actuelle à formuler les lois de la biologie par le moyen de conventions rigoureusement adéquates.

Tout compte fait, plus nous approfondissons la question, moins nous la découvrons remplie de substance. Le problème des rapports de la science et de la religion, le problème du scientisme, le problème des responsabilités de la science, autant de problèmes mal énoncés.

Revenons donc à la science en toute sincérité, à la science pure débarrassée de toute préoccupation doctrinale, dégagée de son fardeau de conséquences philosophiques et sociales, et ne lui ména geons ni notre émerveillement, ni notre gratitude. Des Chaldéens à Copernic, de Newton à Laplace, d'Hippocrate et de Galien à Claude Bernard et à Pasteur, de Paracelse à Lavoisier et à Mar celin Berthelot, de la physique d'Aristote à celle de Jean Perrin, des Langevin, des Louis de Broglie, des Joliot-Curie, nous pouvons mesurer le chemin parcouru et la prise lente, constamment ren forcée et accrue de l'homme sur la nature.

Mais cette science de la nature — et ce sera le point culminant de notre exposé — nous achemine vers une science de l'homme qui est en voie d'instauration.

Quels seront le point de départ, le contenu et les limites de cette science en pleine voie d'élaboration et de progrès, de ce que j'appellerai volontiers: le *nouvel humanisme*?

C'est ce que je vais tenter de préciser au moyen de quelques données brèves, mais essentielles.

Une science de l'homme

Nous avons vu sans étonnement, l'une après l'autre, les diverses disciplines de la connaissance glisser aux mêmes conclusions, s'ordonner en fonction de l'homme autour de l'homme et pour l'homme même.

La biologie et la médecine, presque dans le même temps que la morale et la sociologie, la physique et la logique formelle ont ainsi, et successivement, témoigné en faveur de ce relativisme philosophique dont on peut dire qu'il représente l'apport principal de la pensée renaissante à notre moderne recherche des interdépendances intellectuelles, physiologiques, sociales et politiques, parmi lesquelles trouve place et s'organise le monde vivant.

Mais je dois, tout d'abord, pour en mesurer le sens juste et le contenu exact, disséquer, si je puis dire, ce vocable d'*humanisme* que j'associe à une nouvelle science de l'homme.

Si nous appliquons à l'étude de l'humanisme la méthode que Rémy de Gourmont a vulgarisée sous le nom de dissociation des idées, nous constatons d'abord ce qu'il y a d'incomplet dans la définition qu'a cru pouvoir donner le dictionnaire de l'Académie française:

« *Humanisme*: culture d'esprit et d'âme qui résulte de la familiarité avec les littératures classiques, notamment la grecque et la latine; et goût qu'on a pour ces études. »

Ainsi s'explique notre lexique français de bon usage. Et c'est trop dire ou pas assez.

Trop, si l'on confond l'humanisme avec les lettres grecques et latines, où il puise quelques-unes de ses meilleures inspirations. Trop encore, si l'on ignore qu'une philosophie humaniste pourrait se nourrir d'autres fleurs que de celles qui éclosent au flanc du mont Hymette. Point assez, si l'on omet de descendre aux profondeurs les plus intimes de la philosophie grecque et d'écouter sa leçon dernière. Certes, l'on pourrait concevoir un humanisme qui recevrait de la sagesse hindoue ou de la sérénité chinoise les fruits d'une dogmatique à la mesure exacte de l'homme. Mais il reste que Paul Valéry a mille fois raison lorsqu'il écrit que « ce que nous devons à la Grèce et ce qui nous distingue le plus du reste de l'humanité, c'est la discipline de l'esprit, l'exemple extraordinaire de la perfection dans tous les ordres ».

Ainsi défini, ainsi dégagé d'un excès d'apparentement avec les Humanités, l'humanisme ne demeure pas, comme le croient certains, à mi-pente des coteaux à gravir, quand sa prétention est de donner au relativisme et au déterminisme scientifiques leurs plus strictes conclusions.

L'humanisme ne saurait être une « *philosophie superficielle* » alors qu'il tend à rien de moins qu'à rassembler le monde des phénomènes autour de l'homme sans lequel il ne serait même pas concevable. L'humanisme ne saurait être une « *philosophie limitée* » alors qu'il aspire à tout faire partir de l'homme et à tout y faire entrer: les magies primitives comme les démarches de la science, les dieux hindous comme les dieux chinois, le Panthéon égyptien comme le Dieu des chrétiens, les paradis du sentiment comme les abstractions de la pensée.

Mais l'humanisme — tel que nous le concevons — poursuit d'autres fins que celles, trop simples et trop simplistes, qui consisteraient à promouvoir l'avènement d'un nouveau Paradis terrestre. Précisément parce qu'il entendit, une fois pour toutes, exorciser les démons de l'Absolu, précisément parce qu'il ne se meut qu'au champ du Relatif, l'humanisme se garde, au contraire, de nous proposer des fins extra-humaines.

L'immense champ connaissable ouvert à ses activités lui suffit et nous ne pouvons que soupçonner quelles sont encore les possibilités de cette connaissance.

« *Ανθρωπος παντων μέτρον* » dit Protagoras. « L'homme est la mesure du Monde... » Nulle certitude n'apparaît aujourd'hui plus susceptible de rassembler les volontés et les bonnes volontés. Le relativisme philosophique, le déterminisme scientifique, l'indéterminisme d'Heisenberg, autant de notions qui sont fonction de l'homme. Le nouvel humanisme scientifique les groupe, et d'autres encore. Il les rend actives, conquérantes. Il justifie l'antique définition du *ζων λογικόν* de l'homme parlant et raisonnant. Et aussi animal qui compte, qui énumère, qui dénombre, qui mesure, qui pèse, qui confronte les nombres par lui décelés au cœur du Réel. Qu'ajouter à cette définition de l'homme ? Rien, car si l'homme parle, il dira du même coup son amour des images mortelles et sa crainte des immortels, sa soif de savoir et sa piété pour la misère des autres hommes. Il n'est, au demeurant, point de philosophie

qui soit mieux adaptée au drame des temps bouleversés que nous vivons. Il n'en est pas également qui épouse plus étroitement la physionomie des temps heureux. Philosophie de l'homme, elle est à la taille de toutes les circonstances, elle est de toutes les latitudes et de tous les temps.

Toutes les joies, toutes les peines, toutes les espérances, toutes les déceptions, et la pitié sont humaines. Et, comme telles, nourrissent abondamment l'humanisme. Celui que nous défendons ici.

Qu'ajouter encore à cette conception d'un *humanisme de raison* ?

Un aspect scientifique des *climats de l'homme* qu'étudie la géographie humaine.

L'homme et son milieu, l'homme dans son milieu, l'homme par son milieu et, quelquefois, malgré son milieu: vision nouvelle à laquelle ne restent pas étrangers les humanistes modernes qui, tout au contraire, manifestent le permanent souci de ne jamais perdre de vue le règne humain, de le montrer parmi ses alliés et ses associés, animaux et végétaux, face à ses ennemis intérieurs et extérieurs.

Le mérite des géographes humanistes, ceux notamment de l'école française, des Vidal de la Blache, des Demangeon et des Max Sorre est, très exactement, d'avoir ouvert notre imagination à l'étude de l'homme considéré comme un organisme réagissant aux excitations extérieures. Action de l'homme sur la nature, mais aussi réaction de l'homme aux provocations de la nature. Lamarckiens et darwinistes nous aidèrent, voici quelques décades à concevoir sa profuse, son aveugle et gaspilleuse puissance. Et je songe à ces pages de Georges Clémenceau dans le *Grand Pan* où il évoque l'immense cycle des éléments, leur vaste indifférence comme leur incommensurable énergie. Ouvrons son livre aux périodes cadencées:

« Le Grand Pan est mort ! avaient gémi, de Paxos à Palodès, les échos de la mer d'Ionie. Mensonge ! Qu'est-ce qu'un passager sommeil d'un millier de révolutions solaires pour qui porte en soi l'universelle force des choses, à travers l'espace de partout et le temps de toujours !... Le Grand Pan ! énergie incommensurable des choses, qui se reflète et se formule en l'esprit humain jugeant et vivant des lois du monde... »

Ce milieu de l'homme, ce milieu terrestre qu'un Clémenceau identifie avec le Grand Pan, cet espace habité que les géographes modernes appellent « l'œkoumène », sera conditionné par les tolérances et les intolérances de l'homme, les divers types de colonisation seront fonction des méthodes que l'homme inventera pour vaincre les difficultés de son acclimatation. C'est donc un monde d'idées générales qui s'élève des études de nos géographes sociologues et biologistes. Il faudrait pouvoir les dénombrer; nous n'en avons pas, ici, le loisir.

L'homme étant ainsi situé dans les climats de l'œkoumène, il nous reste pour mettre en place notre construction de l'humanisme, à faire le point sur ce que la science actuelle peut savoir de la *machine humaine*.

Ainsi, après avoir survolé d'immenses horizons de recherche et de pensée, nous voici revenus à la fois aux préoccupations du médecin humaniste et du psycho-physiologiste.

On sait comment les préjugés métaphysiques sur les « rapports de l'âme et du corps » ont longtemps retardé les progrès de la biologie. Il semble, d'ailleurs, que le biologiste qui se hasarde à philosopher se trouve placé en face de deux tendances métaphysiques opposées, entre lesquelles il devrait faire choix.

La première procède de la méthode même de la physiologie, telle que Claude Bernard en a définitivement fixé les règles et assuré le triomphe. Cette méthode consiste à étudier le déterminisme des processus physico-chimiques dont l'organisme est le siège, sans formuler aucune hypothèse préalable sur la nature de la vie, à plus forte raison sur l'existence et la nature de l'âme. Cette règle, d'une admirable fécondité, le physiologiste est naturellement tenté de la transformer subrepticement en une négation dogmatique, en une doctrine métaphysique, doctrine qui porte un nom dans l'histoire des idées: c'est le « matérialisme épiphénoméniste », si répandu au siècle dernier, et suivant lequel les phénomènes psychiques ne seraient qu'une pure apparence surajoutée à la réalité des processus corporels.

Ce qui revient à refuser à la conscience, à l'intelligence, à la volonté, toute valeur fonctionnelle. Position difficilement défendable, mais dont l'abandon risque de précipiter le biologiste qui philosophe dans la tentation opposée, dans celle du « spiritua-

lisme » dont l'autorité despotique de Victor Cousin imposa trop longtemps l'hégémonie à l'Université française.

Pour pénétrer au cœur de ce problème, il nous faut rappeler d'abord comment Descartes l'a posé.

On voudrait pouvoir citer tout au long les textes où se trouve, pour la première fois, exposée une théorie de la machine nerveuse. On y verrait Descartes comparer le corps humain à certains automates « mus par la seule force dont l'eau se meut en sortant de sa source . . . dans les grottes et les fontaines qui sont aux jardins de nos rois ». Or, ajoute-t-il aussitôt, « quand l'âme raisonnable sera en cette machine, elle y aura son siège principal dans le cerveau et sera là comme le fontenier, qui doit être dans les regards où se vont rendre tous les tuyaux de ces machines, quand il veut exciter, ou empêcher, ou changer en quelques façons leurs mouvements ». Adaptons ces métaphores au progrès de nos modernes mécaniques; remplaçons la machine hydraulique par une installation électrique, le « fontenier » par un « aiguilleur ». Dès lors il sera clair que Descartes concevait le problème de l'âme et du corps dans les termes mêmes, à bien peu de choses près, où les progrès de la physiologie conduisent Lapicque à le poser après trois siècles écoulés. L'originalité décisive de Descartes est d'avoir dépouillé l'âme, substance pensante, de ses soi-disant fonctions vitales aristotéliciennes, rapportées désormais au seul corps, substance étendue. Délivrée par ce coup de génie, des qualités occultes, la physiologie humaine pouvait, dès lors, se livrer à l'étude des lois mécaniques et physico-chimiques qui régissent l'organisme.

Or, la science d'aujourd'hui et la philosophie qui s'en dégage nous paraissent bien indiquer la direction générale par où nous pourrons sortir de la double impasse du spiritualisme dualiste et du matérialisme moniste. « L'une des tendances instinctives de notre esprit, qui est sans doute aussi l'une de ses imperfections, a écrit Louis de Broglie, est de vouloir ramener la réalité à des abstractions nettement définies. En allant d'une de ces abstractions à l'abstraction opposée, il se trouve ainsi ballotté indéfiniment entre des conceptions extrêmes et opposées. » Et l'on sait que Niels Bohr, en formulant son « principe de complémentarité », a montré la nécessité où nous sommes, pour comprendre certains aspects fondamentaux du réel, de maintenir ensemble sous le regard de

l'esprit, des couples de concepts en apparence contradictoires, en réalité complémentaires : tels les concepts d'onde et de corpuscule.

Mais l'âme et le corps, promus par Descartes à la dignité de substances indépendantes, ne seraient-ils pas de ces abstractions complémentaires ? Bien entendu, nous ne nous engageons pas ici sur le terrain des croyances religieuses. Nous cherchons seulement à interpréter les données de l'expérience en faisant la plus grande économie possible de notions *a priori*.

Et nous nous demandons si les progrès de la physique ne nous orientent pas, par analogie, vers une conception de l'homme répondant fort bien à ce qu'exigent les progrès de la physiologie moderne. Et si la psychoogie contemporaine ne nous présente pas, à son tour, des suggestions tout à fait comparables. « Entre l'acte et la pensée, quels sont les rapports ? » telle est la question que pose Henri Wallon, dans un livre récent. Et il poursuit : « Lequel des deux a la priorité sur l'autre ? « Au commencement était le Verbe » (ou la pensée se manifestant), disaient les disciples mystiques de Platon. « Au commencement était l'Action », rétorquait Gœthe. C'est là un débat qui divise encore les philosophes et même les savants, et qui donne un premier exemple des oppositions, des antinomies, des antagonismes qui surgissent entre l'être et la connaissance, entre les thèses sur la connaissance, comme aussi entre les forces de l'être en évolution. »

La solidarité est donc intime et complexe, entre la vie psychique et les structures corporelles sous-jacentes. Non moins profonde est, d'ailleurs, à l'autre pôle de la psychologie, l'interconnexion de la pensée collective et du psychisme individuel. L'esprit de l'homme ne peut renier ni l'héritage de la société, ni l'héritage de l'espèce.

Je n'en veux pour preuve, au terme de cette étude, que ce riche bilan des rapports de la physiologie et de la psychologie, qui fut dressé comme le testament de sa vie de chercheur et de penseur par Henri Roger, ancien Doyen de la Faculté de médecine de Paris, dans un livre paru quelques jours avant sa mort et intitulé « Eléments de Psycho-physiologie ».

On y voit que les travaux des neurologistes et des physiologistes modernes ont, certes, accru considérablement nos connaissances sur la structure, les connexions des différentes parties du cerveau, notamment celles du diencéphale. Mais ils ne nous ont

point encore donné la clé du fonctionnement intime de tout l'acte cérébral. Celui de la conscience, faculté la plus importante du système nerveux, demeure hypothétique. Nous sommes incapables, en effet, de préciser le concomitant matériel des nuances infiniment délicates dont s'irisent nos pensées et nos sentiments, et cependant on ne peut oublier que l'homme — comme l'animal d'ailleurs — est doué de sentiment et de volonté. Aussi et sans détour, ferons-nous l'aveu, avec Roger, que la conscience reste la faculté la plus mystérieuse des centres nerveux et qu'il nous est encore impossible de savoir comment elle a pu naître et se développer, ni quel est son mécanisme intime.

Si l'ancienne conception dualiste de l'Univers, opposant la matière et l'énergie, c'est-à-dire les masses inertes et les êtres vivants, n'est plus de mise aujourd'hui, depuis que les physiciens nous ont montré comment la matière pouvait se transformer en force, il n'en reste pas moins que deux grandes tendances sont toujours en présence, quant à la place à assigner dans l'Univers aux êtres vivants en général, à l'Homme en particulier.

Faut-il les incorporer purement et simplement au monde qui les entoure, dont ils forment une partie infime et aux lois duquel ils sont soumis ?

Ou bien doit-on leur réservrer une place à part, privilégiée, et faire relever leur origine et leur activité d'un principe spécial qui reste à préciser ?

Pour répondre à ces troublantes questions, donnons la parole aux deux grands savants qui, au milieu du XIX^{me} siècle, se sont faits les défenseurs de ces deux doctrines philosophiques: à Claude Bernard et à Pasteur. Leurs réponses sont encore d'actualité.

Claude Bernard, dans son rapport sur la Physiologie générale, pose ainsi la question : « Ce qui à première vue paraît impossible, c'est de comprendre comment la sensibilité d'abord inconsciente peut devenir ensuite consciente. Je pense, ajoute-t-il, que c'est là une question que la physiologie parviendra à résoudre; mais il faut pour cela considérer le problème en physiologiste et débarrasser son esprit de certains préjugés philosophiques qui nous font illusion. » Deux ans plus tard, il déclare que « la physiologie établit d'abord clairement que la conscience a son siège exclusivement dans les lobes cérébraux » et il ajoute que « les phénomènes de

l'intelligence et de la conscience, quelque inconnus qu'ils soient dans leur essence, quelque extraordinaire qu'ils nous apparaissent, exigent pour se manifester des conditions organiques ou anatomiques, des conditions physiques et chimiques qui sont accessibles aux investigations » du physiologiste, « et c'est dans ces limites qu'il circonscrit son domaine ».

Claude Bernard fait donc rentrer tous les phénomènes vitaux dans le cadre des manifestations physico-chimiques.

Pasteur, au contraire, considère la vie comme une force s'opposant à la matière. C'est ce qu'il a nettement exprimé dans la note que voici :

« Vous placez, dit-il, la matière avant la vie et vous faites la matière existante de toute éternité. Qui vous dit que le progrès incessant de la science n'obligerait pas les savants qui vivront dans un siècle, dans mille ans, dans dix mille ans... à affirmer que la vie a été de toute éternité et non la matière. Vous passez de la matière à la vie parce que votre intelligence actuelle, si bornée par rapport à ce que sera l'intelligence des naturalistes futurs, vous dit qu'elle ne peut pas comprendre autrement les choses. Qui m'assure que dans deux mille ans on ne considérera pas que c'est de la vie qu'on croira impossible de ne pas passer à la matière. Si vous voulez être au nombre des esprits scientifiques, qui seuls comptent, il faut vous débarrasser des idées et des raisonnements *a priori* et vous en tenir aux déductions nécessaires des faits établis et ne pas accorder plus de confiance qu'il ne faut aux déductions de pure hypothèse. »

Messieurs. — Si depuis des siècles les savants s'efforcent de briser le joug de l'erreur pour instaurer le règne de la vérité, tous sont d'accord pour admettre que celle-ci reste encore partielle et incomplète.

Aux chercheurs de l'avenir, il appartient donc de poursuivre la marche vers le progrès, de pénétrer toujours plus avant dans la connaissance de ce qui fait encore partie du monde de l'inconnu et de se souvenir de cette parole de Renan « *la Vérité est faite de nuances* ».

Affine Feldtheorie und Meson

Von

ERWIN SCHROEDINGER

Dublin Institute for Advanced Studies

HERMANN WEYL hat im Jahre 1918, als er hier in Zürich an der E. T. H. Professor war, ein Buch veröffentlicht, « Raum - Zeit - Materie », das sehr viel von sich reden machte. Er führt darin die drei Jahre vorher bekanntgewordene EINSTEINSche Gravitations-theorie in höchst origineller Weise weiter, in der Absicht, auch das elektromagnetische Feld organisch der Theorie einzugliedern. Seit-her haben Versuche der verschiedensten Art nicht aufgehört, ein einheitliches geometrisches Bild zu ersinnen, aus dem sich zugleich mit der Schwerkraft und auf ebenso natürliche und ungezwungene Weise auch die anderen fundamentalen Wechselwirkungen der Materie würden verstehen lassen, vor allem eben der Elektro-magnetismus und neuerdings auch jene verhängnisvoll starken Kräfte, welche die schweren Teilchen im Atomkern zusammen-halten und Mesonkräfte heissen. Der wohl aussichtsreichste von diesen Versuchen ist die durch das WEYLSche Buch ins Rollen gebrachte *affine* Theorie, die uns heute beschäftigen soll.

Ich werde aber hier nicht versuchen, einen Überblick über die Entwicklung seit 1918 zu geben, an der EDDINGTON, EINSTEIN u. a. beteiligt waren. (Ein solcher ist in meinem kurzen Nature-Artikel vom Mai 1944 enthalten). Das würde uns in zu viel mathematische Details verstricken. Ich möchte die Stellung aufzeigen, welche diese Ideen und Bestrebungen in unserem gesamten naturwissenschaftlichen Weltbild einnehmen. Dazu muss ich weiter zurückgreifen. Unser physikalisches Weltbild war lange Zeit hindurch auf die

komplementären, einander gegensätzlich ergänzenden Begriffe *Kraft und Stoff* gegründet. *Stoff* oder Materie, das greifbare, wägbare Etwas, an das wir in jedem Augenblick stossen — *Kraft*, die Wechselwirkung zwischen den Teilen der Materie, unmittelbar wahrgenommen als Stoss, Druck, Widerstand, wenn Stücke unseres eigenen Körpers an der Wechselwirkung beteiligt sind.

Die Periode, in der dieser Doppelbegriff besonders stark in den Vordergrund trat (ich erinnere an BÜCHNERS Buch, das diesen Titel führt) war zwar naturwissenschaftlich äusserst fruchtbar, philosophisch aber noch von den Nachwirkungen eines krassen Materialismus überschattet, der sich vielleicht mit der Hoffnung trug, die *Seele* oder den *Geist* schliesslich wenigstens unter den Begriff der *Kraft* zu subsummieren, nachdem ihre *stoffliche* Erklärung sich als doch zu naiv und australnegermässig erwiesen hatte.

Verfeinertes Denken hat immer wieder den Versuch gemacht, das Weltgeschehen ohne diesen antithetischen Doppelbegriff zu verstehen und die immerhin etwas geheimnisvolle gegenseitige Beeinflussung durch Kräfte in rein geometrische Vorstellungen aufzulösen. Ich habe den Eindruck, dass schon in der Atomtheorie des DEMOKRITOS, EPIKUROS und LUCRETIUS der Grundgedanke der war, dass die Atome starre, unveränderliche Körperchen von festbestimmter Form seien, die einander ihre Bewegung bloss dadurch mitteilen, dass sie dort, wo sie einander berühren, kein gegenseitiges Eindringen gestatten, also auf eine rein geometrisch völlig durchschaubare Weise. Dass, viel später, dem DESCARTES diese Idee vor schwabte, steht wohl ausser Zweifel.

Viel später, erst vor einigen 50 Jahren, hat HEINRICH HERTZ den Versuch unternommen, den Begriff der Kraft aus seiner urenigensten Domäne, der Mechanik — und damit wohl aus dem ganzen Weltbild zu vertreiben. Seine « neue Mechanik » sollte überhaupt keine Kräfte kennen, sie sollten ersetzt werden durch algebraische Bedingungsgleichungen zwischen den Koordinaten der bewegten Teile — d. h. also durch geometrische Bedingungen, freilich von sehr allgemeiner Art. Man muss darin einerseits eine konsequente Weiterführung der Ideen eines DEMOKRIT und CARTESIUS mit sehr vervollkommeneten mathematischen Hilfsmitteln sehen, anderseits bestehen schon intime Beziehungen zum Geometrisierungsbestreben des Kraftbegriffs in der Relativitätsmechanik, das

uns hier beschäftigt. Hier wie dort spielt die « geradeste » (oder geodätische) Bahn eine zentrale Rolle.

Aber der Kraftbegriff war ein zu unentbehrlicher Bestandteil unseres Weltbildes geworden, als dass Versuche dieser Art, die sich wohl auch doch noch nicht ganz auf der richtigen Linie bewegten, eine dauernde Nachwirkung kätten haben können. Die HERTZSche « kräftelose Mechanik » wurde ganz und gar überschattet von der grossartigen Entdeckung der *Kraftfelder* durch FARADAY und MAXWELL. Sie wissen, dass HERTZ selber in seinen unsterblichen Bonner-Versuchen die von MAXWELL vorausgesagten elektromagnetischen Wellen zum erstenmal im Laboratorium verwirklicht und so die festste experimentelle Grundlage der FARADAY-MAXWELLSchen Theorie geschaffen hat. Das ist ein eindrucksvolles Beispiel für den ruhigen, unbeirrten Geist eines wirklich grossen Experimentators, dem das Grunddogma feststeht, dass es eigentliche Widersprüche in der Natur nicht geben kann. Sein klares Denken in *einer* Richtung beeinträchtigt nicht sein ebenso klares Denken in einer anderen, selbst wenn es zunächst auf widerstreitende Ergebnisse zu führen scheint.

Der von einzelnen tiefen Denkern immer wieder aufgenommene Kampf gegen die ärgerliche Zweiheit Kraft und Stoff ist heute entschieden, und zwar auf eine nicht ganz erwartete Art : Es hat sich herausgestellt, dass die beiden ganz eigentlich dasselbe Ding sind.

Ich meine die berühmte Entdeckung EINSTEINS, dass *Masse* und *Energie* dasselbe Ding sind, die einfache Gleichung

$$E = m c^2 \text{ oder } = m$$

(wenn man die Einheiten so wählt, dass die Lichtgeschwindigkeit c gleich eins wird). Die Gleichung verbindet den eminent *dynamischen* Begriff der *Energie* E mit der Grundeigenschaft der Materie, ihrer *Masse*, und zwar Masse in allen drei Bedeutungen, als *träge*, als dem Schwerefeld *unterworfen* und als *felderzeugende* Masse.

Die Masse war von allem Anfang an etwas im Raum streng Lokalisiertes, als Massendichte und Massenströmung. Die Energie ist das von vornherein keineswegs, sie tritt zunächst als etwas sehr Abstraktes, als eine Integrationskonstante auf, die sich auf die

Dynamik eines materiellen Gebildes als Ganzes bezieht. Erst aus der Idee der Kraftfelder entwickelte sich die Vorstellung, dass ebenso wie die Kraft, so auch die Energie in wechselndem Betrage kontinuierlich im Raum verbreitet ist. Und da die Verteilung zeitlich wechselt, führt dies zum Begriff nicht nur einer Energie-*Dichte*, sondern auch eines Energie-*Stromes*. Erst diese konnten mit der *Massendichte* und der Massenströmung identifiziert werden. Ich brauche nicht zu sagen, dass sich diese Gleichsetzung nicht etwa nur auf einen guten Einfall stützt, sondern einmal ins Auge gefasst, völlig zwangsläufig wird. Im übrigen wissen Sie ja um die «Experimente» grossen Stils, welche den Sachverhalt erst jüngst vor unseren entsetzten Augen bestätigt haben. Eine kleine Abnahme der Atomgewichte, richtiger ausgedrückt der Kernmassen, bei dieser im ganz eigentlichen Sinn *alchimistischen* Reaktion ist die theoretische Basis und die effektive Quelle dieser unerhört grossen Energieproduktion.

Hier kann ich mir eine kurze Abschweifung nicht versagen, wenn sie vielleicht auch nicht ganz unmittelbar zu unserem heutigen Thema gehört. Es ist die Bemerkung, dass die EINSTEINSche Gleichsetzung von Energie und Masse ganz direkt und unmittelbar auf die Grundtatsache der Quantentheorie führt, wenn man sie mit der von alters her geglaubten *Atomistik der Materie* verbindet. Die uns wohl vertrauten *Massenquanten* sind ja dann zugleich auch *Energiequanten*. Auch die Energie tritt also nur portionenweise in die Erscheinung, vielmehr, das «auch» ist gar nicht am Platz, die Behauptung ist von der früheren jetzt nicht verschieden. Und sie ist bekanntlich die Grundbehauptung der Quantentheorie, ihre Quintessenz, von der sie ausgegangen, die ihr den Namen gegeben hat und von der sie bisher nicht abgegangen ist.

Zu diesem erfreulich einfachen Gedankengang gibt es nun freilich ein Gegenstück, das uns noch einiges Kopfzerbrechen macht. Wie sich auf Grund der famosen Gleichsetzung der Atomismus von der Materie auf die Energie überträgt, ebenso zwangsläufig muss die Vorstellung eines kontinuierlich im Raum verbreiteten und stetig mit der Zeit veränderlichen *Feldes* umgekehrt auf die Materie übertragen werden. Das ist der Grundgedanke der sogenannten Wellenmechanik, von unserem heutigen Standpunkt aus gesehen. So zählen wir für die Beseitigung des anstössigen

Dualismus Kraft und Stoff einen hohen Preis. Es wird uns zugesagt, dass wir uns dieselbe Erscheinung gleichzeitig unter dem Bild isolierter, diskreter Partikel oder Portionen, aber auch als stetiges, kontinuierliches Feld vorstellen sollen. Das ist eine harte Aufgabe. Man spricht auch hier oft von einem *Dualismus*, dem Dualismus Wellenfeld—Korpuskel. Er ist ganz offenbar ein Überbleibsel der Dualität Kraft und Stoff, die wir überwunden haben. Das kann uns vielleicht darüber trösten. In der Hauptsache sehen wir klar : Kraft und Stoff sind eins. Dass es uns nicht ganz leicht fällt, die Bilder zu verschmelzen, unter denen wir sie bisher, als wir sie für verschieden hielten, einzeln angesehen haben, darüber dürfen wir uns nicht so sehr verwundern.

2.

Die affine Feldtheorie befasst sich nicht oder noch nicht mit diesen Schwierigkeiten. Sie stellt den Quantenaspekt zunächst zurück und will bloss den Feldaspekt entwickeln, aber erstens einheitlich womöglich für «alles, was es überhaupt gibt», und zweitens so, dass die kontinuierlich im Raum verbreiteten und stetig mit der Zeit veränderlichen *Feldgrössen* nicht als *Kräfte* aufzufassen sind, die auf etwas anderes, das ausserdem noch vorhanden wäre, wirkte. Sie sollen vielmehr alles in allem sein. Die Gesetze ihrer Verteilung im Raum und ihrer Veränderung mit der Zeit sollen sich als rein geometrische Sachverhalte und *im Prinzip* so einfach beschreiben lassen, wie wenn wir etwa eine Kugel beschreiben als Inbegriff der Punkte, die von einem gegebenen Punkt gleichen Abstand haben, oder ein gestrecktes Rotationsellipsoid als die Fläche, auf welcher die Summe der Abstände von zwei gegebenen Punkten konstant ist und dergleichen.

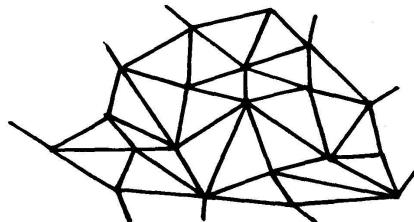
Was damit gemeint sei, lässt sich einigermassen erläutern an dem Beispiel der relativistischen Theorie der Gravitation, die in diesen Bestrebungen unser Vorbild ist. In ihr wird das Verhalten von Materie-Teilchen unter ihrem wechselseitig gravitierenden Einfluss gegründet — nicht gerade auf die Gestalt und Grösse dieser Teilchen selbst, wie DEMOKRIT und DESCARTES es wollten — aber auf die innere Gestalt und Form des Raumzeitkontinuums selber. Dabei liegt aber nicht die Idee zugrunde, dass die Materie als ein fremder Eindringling in den Raum versetzt ist und ihm ihren

Stempel aufprägt, vielmehr dass sie selbst recht eigentlich nichts anderes *ist* als eine innere geometrische Gestalteigenschaft des Raumes, genauer gesagt des Raumzeitkontinuums, nämlich seine *Krümmung*.

Lassen Sie mich darauf etwas genauer eingehen. Die innere geometrische Gestalt des Raumzeitkontinuums wird durch gewisse 10 primitive Feldgrössen beschrieben

$$g_{ik} (= g_{ki}) \quad i, k = 1, 2, 3, 4.$$

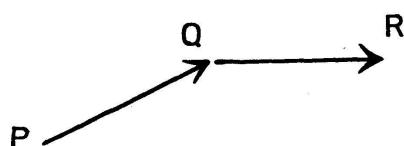
die von Ort zu Ort und von einem Augenblick zum nächsten variieren und die eigentlich an jeder Stelle ein einziges geometrisches Gebilde, einen *Tensor* bilden, dessen Komponenten sie heissen. Aus ihnen kann man direkt den (raumzeitlichen) *Abstand* nahe benachbarter Punkte des Kontinuums ablesen. Denken Sie sich etwa ein sehr engmaschiges, sonst aber ganz beliebiges Dreiecknetz ausgelegt,



so vermitteln die g_{ik} genau die Kenntnis der Längen all dieser kleinen Strecken — und nichts weiter. Der springende Punkt ist nun aber der. Denken Sie sich Holzstäbchen oder Drahtstückchen von den betreffenden Längen geschnitten und durch Plastilin-klümpchen richtig zusammengefügt, dann könnte es zwar wohl sein, dass das so erhaltene Gerüst oder Netz *eben* ausfällt und sich der Tafel anschmiegen lässt. Aber im allgemeinen, wenn die einzelnen Längen beliebig vorgegeben sind, wird es das nicht, sondern Sie erhalten ein Gebilde von gekrümmter oder höckeriger Form, das Sie durch Verbiegen nicht in die Ebene ausbreiten können, ohne es an irgendeiner Stelle zu zerreißen oder zu zerbrechen. Das ist ein vereinfachtes Bild der inneren geometrischen Formstruktur, von der ich gesprochen habe. Vereinfacht ist es, weil wir doch stillschweigend ein bloss zweidimensionales Gerüst oder Dreiecknetz im Auge hatten, während es sich de facto um eines in vier Dimensionen handelt. (Wohl noch aus einem anderen Grund, aber der

bleibe ausser Betracht.) Dieses innerlich gekrümmte vierdimensionale Gebilde soll nun nicht etwa nur den *Schauplatz* der Ereignisse darstellen, sondern diese selbst, die Materie *und* die Art, wie sie sich bewegt; wobei Sie *bitte* nicht vergessen wollen, dass die Stäbchen und Plastilinklümmpchen bloss eine weitgehend willkürliche Hilfskonstruktion waren und *nicht* etwa die Materie-Teilchen darstellen !

Dieser Teilerfolg auf dem Weg zur Geometrisierung der Kraft ist gross genug, um uns hoffen zu lassen, dass sich auch für den Elektromagnetismus und die Nahkräfte der Kernteilchen eine einfache geometrische Beschreibung finden lässt, ohne noch auf das Quantenproblem einzutreten. Die Hoffnung kann trügen. Es ist möglich, dass es in den letztgenannten Fällen überhaupt keinen « quasiklassischen » (d. h. den Quantenaspekt beiseite setzenden) Zugang gibt. Aber versuchen muss man es wohl.



So viel ist sicher, die durch den g_{ik} -Tensor vermittelte metrische Struktur des Raumzeitkontinuums ist ausgeschöpft. Sie liefert die Gravitation und nichts weiter. Eine Verallgemeinerung ist nötig. Da hat nun eben HERMANN WEYL 1918 hier in Zürich entdeckt, dass die *metrische* Struktur eine sogenannte *affine* in sich schliesst, aber eine sehr spezielle, welche verallgemeinerungsfähig ist. Was ist das nun ?

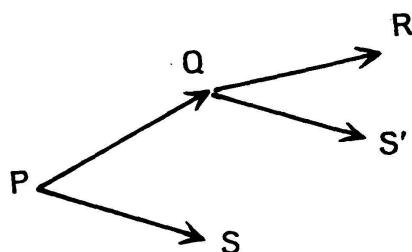
Affinstruktur ist einer Art Faserstruktur. Es wird uns zunächst nichts über die *Entfernung* zwischen Nachbarpunkten gesagt, wie vorhin, vielmehr nur dies. Denken Sie sich, wir schreiten von einem Punkt P aus in bestimmter Richtung um eine kleine Strecke fort, zum Punkt Q; nun möchten wir vom Punkt Q noch einmal in derselben Richtung und um dieselbe Strecke weiter-schreiten; dann wird uns ganz genau gesagt, welchen Punkt R wir so erreichen. Diese Angabe, für jeden Punkt und jede Richtung, heisst (ein spezieller Fall von) Affinstruktur.

Damit können Sie nun erstens beliebig fortfahren und erhalten so eine Kurve, die « immer um gleiche Stücke ganz geradeaus » führt; ferner können Sie dasselbe von jedem Punkt aus und in jeder

beliebigen Richtung machen. So führt die Affinstruktur sehr direkt und unmittelbar zur Konstruktion der « geradesten » (oder geodätischen) Linien und sogar zu einem Streckenvergleich entlang jeder solchen Linie. Das ist ein Begriff, der auch in der metrischen Mannigfaltigkeit auftritt, aber er ist dort ein ziemlich komplizierter, abgeleiteter Begriff.

Eine Affinstruktur der eben beschriebenen Art erfüllt die zwei Forderungen, die man an eine Verallgemeinerung der allgemeinen Relativitätstheorie stellen muss; nämlich sie enthält erstens die letztere als speziellen Fall; sie ist zweitens wirklich reichhaltiger, sie ist imstande, mehr zu erfassen.

Sie ist aber noch nicht allgemein genug. Ich will Sie nicht mit Details langweilen. Man muss von dieser sogenannten *symmetrischen* Affinität zur beliebigen, nichtsymmetrischen übergehen. Mit dieser mathematisch wirklich sehr naheliegenden Erweiterung ist dann



eine Grenze erreicht, über die es in *einfacher* Weise nicht weiterführt.

In der allgemeinen (nichtsymmetrischen) Affinität wird einem nicht bloss gesagt, welche Strecke $Q \rightarrow R$ in Q als « gleich und parallel » mit der Strecke $P \rightarrow Q$ in P zu gelten hat (das ist die Strecke, die von P nach Q führt), sondern auch zu jeder anderen Strecke $P \rightarrow S$ in P wird einem die « parallele und gleiche » Strecke $Q \rightarrow S'$ in Q angegeben. Und das ist alsdann der allgemeinste Affinzusammenhang, der sich denken lässt.

Wozu führt das nun ? Welches sind die konkreten Ergebnisse, zu denen diese allgemeinste Affinstruktur führt ?

Diese letzte Verallgemeinerung, und erst sie, liefert in einfacher, ungezwungener Weise *drei* Felder, nicht mehr und nicht weniger, die sich mit den drei physikalischen Feldern, Gravitation, Elektromagnetik und Mesonfeld, vielleicht identifizieren lassen.

Wie steht es im einzelnen ? Gravitation und elektromagnetisches Feld werden vollkommen erfasst, auch in ihrer Wechsel-

wirkung. Für das Mesonfeld stellt sich heraus, dass es wahrscheinlich etwas viel Komplizierteres ist, als bisher angenommen. Wohl würden seine Feldgleichungen für *schwache* Felder mit den sog. PROCASCHEN Gleichungen übereinstimmen, die de facto wohl das Beste sind, was wir bisher hatten. Aber — wenn Sie mir erlauben, mich so optimistisch auszudrücken — die Übereinstimmung geht weiter. Nämlich einerseits weiss man, dass die PROCASCHEN Gleichungen das Mesonfeld für sich allein sicher nicht ganz erfassen können, anderseits sagt die Affintheorie aus, dass die lineare Annäherung bestimmt nicht ausreicht. Dann aber wird der Zusammenhang so verwickelt, dass er sich im Augenblick noch nicht übersehen lässt.

Die Situation ist also so, dass sie heute ziemlich hoffnungsvoll ist für den Grundgedanken, den WEYL vor fast 30 Jahren lanciert hat, aber nicht so sehr dafür, dass wir ihn auch mathematisch bemeistern werden.

Die kurze Situationsschilderung der letzten beiden Absätze ist zu modifizieren. Es hat sich seither herausgestellt, dass das Wechselspiel zwischen Gravitation und Elektromagnetismus verwickelter und enger ist, als es zunächst den Anschein hatte. Die Aussicht auf eine rechnerische Bewältigung des gesamten Zusammenhangs ist jedoch erheblich gestiegen. Er wird wahrscheinlich erfasst von einem verhältnismässig einfachen System affiner Feldgleichungen, das seither aufgefunden wurde, und über welches der Königl. Irischen Akademie am 27. Januar berichtet werden soll.

E. S.

On Penicillin

Par le

Prof. Sir ROBERT ROBINSON,
Président de la Société Royale de Londres

Le Prof. Robinson fait un exposé de ses recherches sur la Penicilline en illustrant ses explications de nombreux clichés.