

INSTITUT DE LA VIE

FROM

THEORETICAL PHYSICS

TO BIOLOGY

*Proceedings of The Second International Conference on Theoretical Physics
and Biology*

Palais des Congrès, Versailles 30 June-5 July 1969

Edited by

M. MAROIS

ORGANIZING COMMITTEE

P. AUGER (Paris) — S. BENNETT (Chicago) — S. E. BRESLER (Leningrad) —
G. CARERI (Rome) — E.G.D. COHEN (New York) — A. COURNAND (New
York) — M. EIGEN (Göttingen) — A. FESSARD (Paris) — H. FRÖHLICH
(Liverpool) — F. JACOB (Paris) — A. KATCHALSKY (Rehovot) — M. KOTANI
(Osaka) — R. KUBO (Tokyo) — A. LICHNEROWICZ (Paris) — H.C. LONGUET-
HIGGINS (Edinburgh) — P.O. LÖWDIN (Uppsala) — F. LYNEN (Munich) —
O. MAALØE (Copenhagen) — K. MENDELSSOHN (Oxford) — J. MONOD (Paris)
— R.S. MULLIKEN (Chicago) — I. PRIGOGINE (Brussels) — L. ROSENFELD
(Copenhagen) — S.L. SOBOLEV (Novosibirsk) — A. SZENT-GYÖRGYI (Woods-
Hole) — M. MAROIS, Conférence General Secretary

SPONSORS

*M. le Ministre de l'Education Nationale and M. le Ministre du Développement
Industriel et Scientifique*

International Union of Pure and Applied Physics

Editions du Centre National de la Recherche Scientifique
15, Quai Anatole France — PARIS VII^e

1971

INSTITUT DE LA VIE

DE LA

PHYSIQUE THÉORIQUE

A LA BIOLOGIE

*Comptes rendus de la Seconde Conférence Internationale de Physique Théorique
et Biologie*

Palais des Congrès, Versailles 30 juin-5 Juillet 1969

Publiés sous la direction de

M. MAROIS

COMITÉ D'ORGANISATION

P. AUGER (Paris) — S. BENNETT (Chicago) — S. E. BRESLER (Leningrad) —
G. CARERI (Rome) — E.G.D. COHEN (New York) — A. COURNAND (New
York) — M. EIGEN (Göttingen) — A. FESSARD (Paris) — H. FRÖHLICH
(Liverpool) — F. JACOB (Paris) — A. KATCHALSKY (Rehovot) — M. KOTANI
(Osaka) — R. KUBO (Tokyo) — A. LICHNEROWICZ (Paris) — H.C. LONGUET-
HIGGINS (Edinburgh) — P.O. LÖWDIN (Uppsala) — F. LYNEN (Munich) —
O. MAALØE (Copenhagen) — K. MENDELSSOHN (Oxford) — J. MONOD (Paris)
— R.S. MULLIKEN (Chicago) — I. PRIGOGINE (Bruxelles) — L. ROSENFELD
(Copenhagen) — S.L. SOBOLEV (Novosibirsk) — A. SZENT-GYÖRGYI (Woods-
Hole) — M. MAROIS, Secrétaire général de la conférence.

PATRONAGES

*M. le Ministre de l'Éducation Nationale et M. le Ministre du Développement
Industriel et Scientifique*

Union Internationale de Physique Pure et Appliquée

Editions du Centre National de la Recherche Scientifique
15, quai Anatole-France — Paris VII^e

1971

Table des Matières

Préface	XI
Allocutions officielles	1
 <i>Journée du 30 juin 1969, 1^{re} séance</i>	
L'ordre dans les systèmes physiques	
Président : H. FRÖHLICH (Liverpool)	
H. FRÖHLICH (Liverpool) : Introduction Générale	17
G. CARERI (Rome) : Far infrared spectra of hydrogen bonded biopolymers	20
Discussions	26
 <i>Journée du 30 juin 1969, 2^e séance</i>	
Structures et maintien de la vie	
Président : K. MENDELSSOHN (Oxford)	
K. MENDELSSOHN (Oxford) : Structures and function of life. — Introduction : Application of the methods of macroscopic physics to the problem of life	51
D.C. HODGKIN (Oxford) : Some characteristics of protein crystals	58
H. E. HINTON (Bristol) : Reversible Suspension of Metabolism	69
Discussions	90
 <i>Journée du 1^{er} juillet 1969, 1^{re} séance</i>	
Génération des molécules biologiques	
Président : P. AUGER (Paris)	
J.E. SULSTON and L.E. ORGEL (San Diego) : Polynucleotides and the origin of life	109
S. SPIEGELMAN (Urbana) : Extracellular evolution of a replicating RNA molecule (abstract)	114
Discussions	116
 <i>Journée du 1^{er} juillet 1969, 2^e séance</i>	
Auto-organisation et auto-assemblage	
Président : S. EBASHI (Tokyo)	
A. KLUG (Cambridge - G.B.) : Self assembly of biological structures out of equal subunits (abstract)	132

VIII

E.P. KENNEDY (Boston) : Molecular organization of membranes	133
Discussions	147

Journée du 1^{er} juillet 1969, 3^e séance

Structures dissipatives en biologie

Président : L. ROSENFELD (Copenhague)

I. PRIGOGINE (Bruxelles) : Dissipative structures in biological systems . .	162
Discussions	184

Journée du 3 juillet 1969, 1^{re} séance

Mutations et processus de l'évolution

Président : D. GLASER (Berkeley)

Ch. YANOFSKY (Stanford) : Protein structure and evolution	191
Discussions	206
E. MARGOLIASH and W.M. FITCH : The evolutionary information content of protein amino acid sequences	208
Discussions	225
J. MAYNARD-SMITH (Falmer-Brighton) : Population genetics and molecu- lar evolution	230
Discussions	240
S.E. BRESLER (Leningrad) : Physical and chemical processes leading to a mutation	246

Journée du 3 juillet 1969, 2^e séance

Alkali ion carriers : dynamical behavior.

Président : D. GLASER (Berkeley)

M. EIGEN and R. WINKLER (Göttingen) : Alkali ions carriers : specificity, architecture and mechanisms	251
Discussions	261

Journée du 3 juillet 1969, 3^e séance

Information et systèmes biologiques

I. Information au niveau moléculaire

Président : C. LEVINTHAL (New York)

D. SCHNEIDER (Seewiesen) : Insect communication by means of phero- mone molecules	267
Discussions	285
G.M. EDELMAN (New York) : Antibodies : a molecular recognition system	288
Discussions	303

Journée du 4 juillet 1969, 1^{re} séance

Informations et systèmes biologiques

II. Aspects théoriques

Président : S.L. SOBOLEV (Novosibirsk)

H.C. LONGUET-HIGGINS (Edinburgh) : Non Holographic associative memory	307
H. HYDEN et P.W. LANGE (Göteborg) : Do specific biochemical correlates to learning processes exist in brain cells ?	315
Discussions	335

Journée du 4 juillet 1969, 2^e séance

Informations et systèmes biologiques

III. Stockage de l'information dans les systèmes nerveux

Président : J.Z. YOUNG (Londres)

F. MORRELL (New York) : Neuronal Integrations in Vision	365
E. ROY JOHN (New York) : Neural correlates of memory	401
Discussions	414
B.W. AGRANOFF (Ann Arbor) : Effects of antibiotics on long-term memory formation in the goldfish	417
P. AUGER (Paris) : Stockage physique de l'information	432
Discussions	434

Préface

L'objet de l'Institut de la Vie est d'engager le dialogue de la science et des hommes sur les thèmes de la vie et de l'avenir humain. L'Institut de la Vie étudie en permanence les problèmes posés au maintien et au développement de la vie par le développement de la science. Sa visée est double : fondamentale et appliquée.

La présente conférence tenue du 30 juin au 5 juillet 1969 est une manifestation de son activité fondamentale.

Dans la préface de la première réunion « Physique théorique et biologie » (Versailles, 26 au 30 juin 1967) *, nous écrivions : « Une telle conférence n'est pas une manifestation isolée. Elle marque le début d'une série dont nous n'entrevoions pas le terme ». Il est vrai qu'un courant irréversible semble s'être créé : un troisième Congrès international « de la physique théorique à la biologie » est organisé par l'Institut de la Vie à Versailles : il aura lieu du 21 au 26 juin 1971.

Par la science, l'homme se donne les moyens de la destruction physique de l'espèce; il acquiert une maîtrise progressive du protoplasme, un pouvoir d'intervention pour le meilleur ou pour le pire. Aussi, est-il important de sensibiliser l'humanité à la valeur de la vie. C'est à cette prise de conscience qu'est voué l'Institut de la Vie. Puisse cette conférence y contribuer : elle est une réflexion sur la vie par quelques-uns des meilleurs esprits de ce temps.

M. MAROIS

* *Theoretical Physics and Biology*, North Holland Publishing, Amsterdam-Londres, 1969, 443 pages, M. Marois éditeur.

ALLOCUTIONS OFFICIELLES
OFFICIAL ADDRESSES

Maurice MAROIS

Professeur à la Faculté de Médecine de Paris
Président du Conseil d'administration de l'Institut de la Vie

S.L. SOBOLEV

Académie des Sciences de l'U.R.S.S., Novosibirsk

I.I. RABI, Prix Nobel

Columbia University, New York

P. DOURNES

Maire adjoint de Versailles

Bernard LAFAY

Secrétaire d'Etat

auprès du Ministre du développement industriel et scientifique

ALLOCUTION D'OUVERTURE DE LA CONFÉRENCE

A. FESSARD

Membre de l'Académie des Sciences, Paris

Allocution de M. MAROIS

Monsieur le Ministre, Monsieur le Conseiller Général, Monsieur le Maire,
Monsieur le Recteur, Mes Chers Collègues,
Mesdames, Messieurs,

D'abord merci. Merci à Monsieur le Ministre de l'Education Nationale et à Monsieur le Ministre chargé de la Recherche Scientifique et des Questions Atomiques et Spatiales du précédent gouvernement, à Monsieur le Ministre de l'Education Nationale et à Monsieur le Ministre du Développement Industriel et de la Recherche Scientifique de l'actuel gouvernement pour l'honneur qu'ils ont fait à l'Institut de la Vie en accordant leur haut patronage à notre conférence.

Merci Monsieur le Ministre de l'intérêt dont vous voulez bien honorer notre congrès en ayant tenu à venir personnellement présider notre soirée officielle.

Merci à l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée pour son patronage renouvelé. Merci au Comité d'Organisation qui a conçu cette manifestation scientifique, en a fixé le programme, désigné les présidents, les rapporteurs et les participants et qui jour après jour, avec foi, ardeur et vigilance, a suivi la réalisation de notre grand dessein. Merci à tous les savants célèbres ici réunis, venus des points les plus divers de la planète. Ils ont franchi souvent des milliers de kilomètres pour répondre à notre invitation. Ils nous ont donné leur pensée, leur temps, leur énergie. Grâce à eux, notre congrès est une haute manifestation de l'esprit. Par leur rassemblement à Versailles ils illustrent cette ville illustre...

Merci aux organismes publics, aux sociétés privées, à tous les membres de l'Institut de la Vie dont le concours matériel et le soutien moral ont fait de cette conférence le lieu de convergence de la science, de la confiance, de l'amitié et de l'espoir.

*
**

Perdue au milieu de dizaines de milliers de systèmes planétaires, de centaines de milliers de galaxies en mouvement dans l'univers, point minuscule dans le poudroiement des astres, une planète : la terre est née il y a cinq milliards d'années. Sur cette planète, depuis deux milliards et demi d'années, la vie. Parmi les formes de vie, un dernier né il y a près d'un million d'années : l'homme, qui pour survivre, connut une longue histoire semée de vicissitudes; puis c'est la lente découverte par l'esprit humain de l'univers et de soi-même.

Alors des sentiments divers s'emparent du cœur de l'homme. Après l'illusion rassurante d'un monde fermé où l'homme se sacre roi de la création, voici l'effroi devant la petitesse, la fragilité, la solitude et l'abandon. Voici le vertige pascalien des deux infinis, l'écoute du silence éternel des espaces

illimités, l'interrogation sur la pluralité des mondes habités, enfin la tristesse du néant et de l'absurde. A ces sentiments heurtés se mêle l'émerveillement, et l'homme chante un hymne à la vie, hélas rythmé par le contre chant de la mort. Dominant toutes les tentations du désespoir, un sentiment de fierté envahit l'esprit qui s'étonne de comprendre l'univers. Comment ne pas citer l'exclamation d'Einstein « La chose la plus incompréhensible dans le monde est que le monde nous soit compréhensible ». Et pour certains l'émerveillement se sublime en chant de grâce.

*
**

La science apporte à la passion interrogeante de l'homme les riches joies de la connaissance. Mais elle n'est pas seulement le savoir, elle est aussi le pouvoir : la science secrète la puissance

Elle permet désormais d'organiser rationnellement la planète. Elle ouvre à l'esprit de conquête d'immenses possibilités d'action par la pénétration dans une parcelle du cosmos, et par la maîtrise de certaines formes de vie, et bientôt du protoplasme humain.

Et l'histoire de l'homme s'accélère, menacée par des périls qui sont à la mesure des chances.

Valéry, il y a quarante ans déjà, s'interrogeait : « ce monde prodigieusement transformé mais terriblement bouleversé par tant de puissance appliquée avec tant d'imprudence, peut-il enfin recevoir un statut rationnel... arriver rapidement à un équilibre supportable ? En d'autres termes, l'esprit peut-il nous tirer de l'état où il nous a mis ? »

Le temps de l'homme adulte commence. C'est le sentiment que j'éprouve plus intensément que jamais ce soir.

Contempons le spectacle offert par tous ces savants réunis. Leurs langues maternelles sont très diverses : elles sont celles de presque toute l'humanité. Leurs langues scientifiques sont si différentes qu'elles sont presque incommunicables aux savants de disciplines éloignées. Et pourtant, les voici rassemblés dans une manifestation de l'esprit.

Vous êtes les témoins de l'unité de la science. La république des savants est indivisible. Elle est mondiale. Son unité est définitive. L'unité de la science se forge à la poursuite d'une œuvre commune qui répond à une aspiration profonde : le besoin de connaître. Elle est scellée par une charte commune : l'objectivité, l'honnêteté intellectuelle dans la liberté de l'esprit créateur, la soumission au réel. Vous êtes la preuve que l'unité des hommes est possible, en dépit de leurs différences. Et voici qu'aujourd'hui, grâce à vous, la science franchit un nouveau pas dans sa quête d'unité de la connaissance.

En ouvrant notre premier congrès, le 26 juin 1967, le Professeur Grassé déclarait : « Notre rencontre prend, à mes yeux, une valeur particulière, en

quelque sorte symbolique. Elle annonce que physique théorique et biologie contractent une union étroite et définitive. Elle marquera une date dans l'histoire des sciences ».

Oui, il est frappant de voir la diversité des disciplines confrontées pour interroger la vie : de la physique théorique à la biologie, tout l'éventail des activités de l'esprit scientifique est ici rassemblé dans un effort de recherche avancée sur la vie. Et il est frappant de constater l'ampleur du champ que notre conférence a voulu saisir : l'ordre dans les systèmes physiques, structure et maintien de la vie, génération des molécules biologiques, auto-organisation et auto-assemblage, structures dissipatives en biologie, mutation et processus de l'évolution, l'information au niveau moléculaire, le stockage de l'information dans les systèmes nerveux, les aspects théoriques.

Il est frappant, enfin, qu'à l'issue de nos confrontations, cette conférence apparaisse comme une ouverture sur l'avenir : n'a-t-elle pas tracé quelques avenues du futur dans lesquelles la science pourra s'engager ?

De l'atome à l'esprit, du passé au futur, notre congrès est une tentative d'intégrer dans une vision globale quelques processus fondamentaux de la vie. Et l'enjeu n'apparaît pas seulement scientifique. Nos travaux apportent à l'inspiration du poète, à la réflexion du philosophe, à l'interrogation de l'honnête homme, à l'inquiétude de la multitude, un aliment pour méditer sur notre destin biologique.

Mais, nos travaux laissent aussi pressentir aux moralistes, aux responsables, aux gouvernants, que le temps viendra vite où l'homme disposera du pouvoir de transformer l'homme.

Et voici que s'élève l'avertissement du Prix Nobel Nirenberg. Evoquant la possibilité d'intégrer dans le patrimoine génétique des acides nucléiques artificiels, des messages synthétiques qui s'inscriront dans le programme de la cellule, il s'inquiète : « l'humanité sera-t-elle prête ? ». Oui, le temps de l'homme adulte est venu, le temps de la responsabilité envers nous-mêmes, envers notre espèce, envers la vie. Redoutables seront nos proches options biologiques et éthiques. Il faudra bien dominer notre pouvoir nouveau. Cette tâche n'a jamais été aussi actuelle. C'est la mission que s'est donné l'Institut de la Vie.

Oui, l'humanité sera prête si elle se rend compte à temps qu'aujourd'hui la révolution c'est la science. Elle sera prête si, consciente enfin d'être entrée dans l'ère scientifique que certains penseurs appellent déjà l'ère post-industrielle, elle en mesure très vite les conséquences : modification radicale de notre condition, bouleversement des concepts traditionnels sur lesquels reposaient nos sociétés et nos morales.

Elle le sera si, sans rien perdre des richesses et sagesse du passé, elle scrute toutes les potentialités de l'avenir, et les confronte avec les exigences permanentes de l'homme. Au sein de l'Institut de la Vie, la science est elle-même, mais elle n'a pas l'ambition d'être seule maîtresse à penser. L'humanité

sera prête si, avec la science, tous les courants constructifs de civilisations s'unissent pour ne rien négliger des besoins et des aspirations de tous les hommes et de tout l'homme.

Il est arrivé à Jean Rostand de dénoncer notre monde déshumanisant. Ce congrès s'est consacré à l'une des activités les plus humanisantes qui soient : connaître la vie. Stefan Zweig évoquait dans un livre célèbre les heures étoilées de l'humanité. Nous venons de vivre une heure étoilée.

Allocution de S. L. SOBOLEV

Monsieur le Ministre,
Mesdames, Messieurs,
Chers Collègues,

Dans les grandes universités de l'Union Soviétique, par exemple à Moscou ou à Leningrad, les étudiants chantent toujours des chansons très drôles, dans lesquelles ils essaient de prouver leur supériorité sur les autres Facultés. Je ne connais que deux chansons, l'une créée par les étudiants de la Faculté de Mathématiques de l'Université de Moscou, l'autre, par les étudiants de la Faculté de Mathématiques de l'Université de Leningrad, mais il y est absolument démontré que les mathématiques sont la meilleure des sciences.

Il existe les mêmes chansons, les mêmes hymnes, dans d'autres Facultés : les étudiants de ces Facultés y démontrent leur supériorité.

Quand nous nous sommes rassemblés à Versailles, chacun d'entre nous en apportant ses traditions, fut absolument certain que la science qui est sienne est la science supérieure. Or, grâce à l'Institut de la Vie nous sommes réunis ici et chacun de nous cache son sentiment de supériorité et contribue au travail commun, sur des problèmes communs, ce qui est extrêmement difficile, et ce qui est peut-être le plus grand problème de l'humanité d'aujourd'hui.

Je suis très heureux de participer à cette conférence pour la seconde fois.

Nous savons que la vie peut être différente. Il y a la vie douce, la vie amère, il y a peut-être la vie riche, la vie pauvre; il y a la vie ennuyeuse, la vie intéressante. Et je pense que l'Institut de la Vie a donné un très grand intérêt à notre vie, car nous sommes présents à une conférence qui a pour objet le plus important des thèmes.

Merci beaucoup, Monsieur le Ministre, merci beaucoup à l'Institut de la Vie.

Allocution d'I.I. RABI, Prix Nobel

Your Excellencies,
Ladies and Gentlemen,

I am the last to speak to you on behalf of the guests here and I am very honored and pleased when I remember that this is the 4th of July, the anniversary of the beginning of the American Republic, the United States of America.

It was a very great event in human history and as you all know, very closely connected with the history of France, which probably could not have existed without the enormous, generous aid of France. In keeping with the spirit of our meeting we remember the greatest of American scientists and perhaps the greatest of American diplomats, Benjamin Franklin, who made such an enormous success in France in a very French way, also a very American way.

This combination of France and Benjamin Franklin apparently produced a critical mass and a new world took off in new directions, the results of which anyone can read in history.

You see this is a very special occasion, and a great privilege, to be asked to speak to you today. And I will come over to our subject.

The American Republic was founded in the spirit of science. It was a new invention, it was a bold innovation. No such system had ever existed before and the people who devised it were thoroughly imbued with the spirit of science which flourished in the great age of reason, the 18th century, especially in France. In many ways not so readily acknowledged, the American Republic is one of the many great offsprings of French culture.

We are now entering a new period where science has grown immensely strong and yet differently from what it was in the 18th century. Then it was a part of the common culture of the educated classes, when nobody in government, for example, would confess that he was ignorant of science. Now it is often a matter of pride for many people who think of themselves as educated to be ignorant of science.

The establishment of the Institut de la Vie is therefore a very timely effort to bring us back to the time when science was a strong element of culture, perhaps as it once was, a ruling element of culture. A future in which the human race, our civilization, would survive without such an amalgamation of science and the general culture is hardly imaginable.

With this feeling which I am sure is in the spirit of the striving of Professor Marois to mutually fructify both physics and biology, it was for me a great joy to be here this week. Beyond this undertaking it is my dream that the spirit of science and of life will combine to give us a deeper understanding and a more profound feeling for the mystery of man and his universe.

This spirit which is emerging slowly but surely will in time affect all mankind, and lead us to a golden age when we can live in the light of knowledge and discovery.

I am sorry to have taken so long in a few introductory remarks but now I want to thank Professor Marois, and Madame Marois, who did so much to make this a very happy stay, and all those who supported this venture. And, of course, I can't stop without thanking my colleagues at this meeting, mostly on the biological side, who did so much to instruct my ignorance, and if it is slightly less, this is due to their efforts.

Thank you.

Allocution de P. DOURNES

Monsieur le Ministre,

Qu'il me soit permis de vous saluer d'abord, non seulement parce que le représentant de la ville est heureux de recevoir un membre du Gouvernement, mais aussi parce que depuis quelque vingt-cinq ans nous nous connaissons.

Mesdames, Messieurs,

Je voudrais dire au nom de la Ville de Versailles combien nous sommes heureux et fiers d'accueillir tant d'hommes de science et pour un si noble objectif.

Depuis les débuts de l'humanité, et depuis Euclide et Archimède, cinquante pour cent des savants qui ont jamais existé sont encore vivants. Or, de cette moitié, vous êtes parmi les plus éminents.

Je dois avouer que j'ai été extrêmement impressionné par une longue conversation avec le Professeur Marois sur les objectifs de l'Institut de la Vie.

L'Institut de la Vie a réuni les sciences qui pouvaient paraître les plus éloignées, la physique théorique et la biologie, disons le chiffre et la vie. A la pensée de cette confrontation à Versailles entre physiciens et biologistes sur cette question fondamentale que nous nous posons tous, savants ou profanes : « Qu'est-ce que la vie, que sommes-nous, où va la vie ? », je me suis interrogé sur la contribution de la Ville de Versailles. Hélas, pour l'instant, elle n'a pu que vous offrir, ce qui est exceptionnel, le Palais des Congrès. J'espère que nous ferons mieux la prochaine fois avec l'aide du Gouvernement représenté si brillamment par Monsieur le Ministre Lafay.

Comment parvenir à une définition de la vie qui concilie les exigences de la science la plus positive et les aspirations de l'homme le plus généreux ? Ce problème me paraît l'objectif ultime de vos recherches. Je ne fais que le poser au nom de chacun de nos concitoyens qui, confusément, en ressentent l'urgence.

En hommage à tous les savants dont la présence parmi nous honore infiniment la Ville de Versailles et en hommage particulier aux Prix Nobel, je voudrais terminer mon propos par une phrase admirable d'un autre Prix Nobel, Bergson, Il n'était ni physicien ni biologiste, bien qu'il fût d'une grande culture scientifique. Cette phrase a plus d'un tiers de siècle, mais elle n'a pas perdu de son actualité. Elle terminait cet ouvrage majeur : « Les deux sources de la morale et de la religion ». La voici : *Au corps démesurément agrandi de l'humanité, il faut un supplément d'âme.*

Ce que j'ai entendu ce soir ne contredit pas l'exigence de Bergson. Vous avez conscience du développement explosif de la science et du corps matériel de l'humanité. Il faut à ce corps un supplément d'âme : nous comptons sur vous pour le lui donner.

Allocution de BERNARD LAFAY

Monsieur le Président,
Mesdames, Messieurs,

Aux remerciements qui viennent d'être si aimablement adressés aux membres du Gouvernement, aux organismes et aux personnalités qui ont contribué ou participé aux travaux de cette conférence internationale organisée par l'Institut de la Vie, vous me permettez d'ajouter l'expression de ma gratitude personnelle.

C'est, en effet, une grande joie pour moi que de me trouver parmi tant d'hommes de science illustres, appartenant aux disciplines les plus diverses mais communiant dans le même idéal qui est celui du respect de la vie, de son mystère et de sa lumière.

Vous me pardonnerez, Messieurs, de ne pouvoir dire nommément à chacun de vous combien le Gouvernement français apprécie votre présence et travaux, et, en particulier, Monsieur François-Xavier Ortoli, Ministre du Développement Industriel et Scientifique qui m'a demandé de présider votre soirée officielle de clôture.

Importance de la conférence

Je soulignerai seulement, en vous en félicitant et en y trouvant de hautes raisons d'espoir, le caractère largement international de votre rencontre et la qualité exceptionnelle des assistants.

Je crois qu'entre votre comité d'organisation et les participants, on dénombre 16 nations réparties sur 3 continents. Vous comptez, au sein de votre comité, 7 titulaires de Prix Nobel et dix autres ont pris part effectivement à vos travaux parmi 100 savants éminents venus de tous les points du globe.

Je crois pouvoir, Mesdames et Messieurs, être votre interprète, en remerciant chaleureusement votre Comité d'Organisation et, spécialement, M. le Professeur Marois, Président de l'Institut de la Vie, à qui nous devons le beau succès d'une organisation parfaite en tous points. Si parfaite, et si attentive, qu'aux austères travaux des spécialistes est venu s'adjoindre un programme réservé aux dames, prévu avec autant de goût que d'éclectisme par le Comité féminin d'accueil. J'espère, Mesdames, que vous y avez trouvé plaisir et intérêt, autant que nous sommes sensibles ce soir à votre présence.

Un thème de confrontation interdisciplinaire

Vous avez choisi, Messieurs, comme thème majeur de votre rencontre, l'étude de la chaîne ininterrompue qui lie l'énergie fondamentale aux phénomènes organiques les plus complexes.

« De la physique générale à la biologie », ce simple énoncé eut fait sursauter de surprise et d'incrédulité les physiologistes les plus hardis du début de notre siècle. Pourtant l'histoire des sciences a montré combien sont fécondes les incursions des chercheurs dans les domaines étrangers à leur spécialité.

N'est-ce pas un médecin, Mayer, qui, partant d'études sur le métabolisme du corps humain, établit le premier principe de thermodynamique, au milieu du XIX^e siècle et n'est-ce pas un cristallographe, Pasteur, qui révolutionna la médecine quelques années plus tard ?

Mais à ces recherches tâtonnantes dont l'aboutissement était dû au hasard presque autant qu'au génie, la science actuelle substitue systématiquement l'approche multidisciplinaire du problème de la vie. Renonçant dans certains domaines à l'analyse, elle procède par synthèse, comme le remarquait M. Szent-Gyorgyi lors de votre conférence internationale de 1967. Ainsi est apparue la biologie moléculaire, née de l'intérêt que les physiciens portent aux phénomènes biologiques.

C'est le grand mérite de l'Institut de la Vie d'avoir appelé des hommes de formation et de philosophie très différentes à confronter les apports contemporains de toutes les sciences et de toutes les techniques pour répondre à l'éternelle question : *Qu'est-ce que la vie ?*

Conception actuelle de la vie

Nous savons au moins qu'elle est une énergie au service d'une organisation privilégiée, ce qui est définir plutôt qu'élucider. Mais la biologie nouvelle a franchi plusieurs étapes de la route du mystère et se fonde non plus seulement sur l'étude de la cellule, mais sur celle de l'atome régi par des lois quantiques.

Déjà, la science exprime les phénomènes vivants en langage moléculaire et efface progressivement les frontières qui séparaient les acquisitions distinctes de la biologie, de la chimie, de la physique atomique et des mathématiques.

La première moitié du XX^e siècle a connu la révolution atomique. Peut-être sommes-nous à la veille de la révolution biologique, plus bouleversante encore puisque la recherche fondamentale est sur la voie de mettre la vie en équation. Perspective exaltante, certes, mais aussi perspective déroutante où les meilleurs esprits trouvent bien des motifs d'inquiétude et même d'angoisse.

L'homme se rencontre lui-même

La question se pose, dès maintenant, de savoir ce qu'il adviendra de l'homme lorsque les phénomènes vitaux, y compris ceux du domaine psychique, pourront être ramenés à des déplacements d'électrons.

Au terme du cheminement séculaire de l'esprit, après avoir franchi les barrières opposées à la connaissance par l'univers hostile, affirmant sa maîtrise sur la matière inanimée et sur le règne vivant, l'homme en vient à se rencontrer lui-même, à se confronter à sa propre nature.

La sagesse antique, par une de ses intuitions si troublantes dans l'histoire de l'intelligence humaine, avait pressenti, il y a des millénaires, le drame où nous nous engageons. Pour avoir dérobé la lumière du ciel, Prométhée fut condamné à la souffrance éternelle et à la destruction de soi-même. Ce mythe prémonitoire, qui rejoint celui de l'Arbre de la science au Paradis terrestre nous oblige à prendre conscience des écrasantes responsabilités que l'homme assume désormais.

Les sciences de la vie : redoutable danger

Demain, les biologistes auront le pouvoir d'agir sur les données fondamentales de l'existence humaine, sur les processus de l'hérédité organique et psychique. A quelles redoutables tentations la société ne sera-t-elle pas alors conduite ? Comment le savant se défendra-t-il contre l'usage monstrueux qui pourrait être fait de sa puissance ? Comment sauvera-t-il l'héritage de sagesse et de bonté, de liberté et de spiritualité accumulé par l'homme au cours de sa longue route ? Dernier né de la vie, cet homme triomphant restera-t-il capable de comprendre la simple leçon des plus humbles organismes vivants, saura-t-il maintenir et transmettre la vie ?

Ce sont les graves questions que vous posez, Monsieur le Président, dans le cadre de l'Institut de la Vie, et, c'est à vous, Messieurs, d'y apporter des réponses décisives. Ceux qui ont en charge le destin des sociétés les attendent de vous. La politique du XXI^e siècle sera ce que les hommes de sciences voudront qu'elle devienne : tyrannique ou fraternelle, inhumaine ou exaltante, libératrice ou inexorablement contraignante.

Je n'ai pas dissimulé nos motifs de craindre, mais les raisons d'espérer ne nous manquent pas, car l'optimisme de l'homme est invincible. Ainsi, jamais la société ne s'est penchée avec autant de sollicitude sur les déshérités de la vie, sur ces enfants victimes des fatalités tragiques de l'hérédité, fatalités que nous n'acceptons pas puisqu'elles témoignent d'un dérèglement des lois harmonieuses de la vie.

Retrouver l'âme par la science

Non seulement la science de notre temps en pénètre les fondements, mais elle entreprend d'en corriger les déviations, au nom d'un idéal d'ordre et de beauté, de bonheur et de générosité qui reste le but suprême des efforts de l'esprit.

Messieurs, on a beaucoup commenté la formule brutale de Claude Bernard, à l'aube balbutiante et géniale de la physiologie moderne. « Je n'ai jamais, disait l'illustre chercheur, trouvé l'âme sous mon scalpel ». Sans doute le scalpel était-il trop rudimentaire. Vous disposez de moyens infiniment plus subtils. Je souhaite que lorsque la vie sera mise en équation rigoureuse, l'âme y apparaisse comme une donnée essentielle de la structure de l'homme éternel.

Allocution d'ouverture de A. FESSARD

Voici donc que, dans quelques instants, va s'ouvrir la seconde conférence internationale désignée par l'expression ambitieuse que nous savons, c'est-à-dire : « De la Physique théorique à la Biologie ».

Au nom du Comité d'Organisation qui m'a fait l'honneur de me demander de prononcer les premiers mots de cette Conférence, je viens tout d'abord, et solennellement, vous souhaiter la bienvenue, solennellement comme il convient à la grandeur du thème que nous allons traiter; mais je m'empresse aussitôt de remplacer la solennité par la cordialité qui sera, je l'espère, l'atmosphère de nos entretiens.

Je remercie tout particulièrement ceux qui ont accepté les dérangements et la fatigue d'un voyage qui entraîna souvent ce décalage horaire que nous connaissons bien et qui est un premier affrontement des lois de la Physique avec celles de la Biologie.

Malheureusement nous avons à enregistrer quelques défections. Ce sont celles de MM. Bresler (Leningrad), Casimir (Eindhoven), Dalcq (Bruxelles), Dulbecco (San Diego), Katchalsky (Rehovot), Klug (Cambridge), Lifshitz (Moscou), Yang (New York), Yukawa (Kyoto).

Inutile de dire que nous regrettons vivement l'absence de ces collègues, dont plusieurs participaient à la première Conférence.

Ainsi, selon le vœu pressant formulé lors de la première Conférence, et deux ans après elle, nous pouvons nous réunir à nouveau; cela grâce à l'Institut de la Vie, à sa généreuse initiative, grâce aussi aux appuis que nous avons reçus, et tout particulièrement à celui que nous a donné l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée.

Ce désir que nous avons exprimé à l'issue de notre première Conférence, de nous retrouver sans trop tarder, n'était pas seulement né du succès indéniabie de notre première réunion. Il n'était pas non plus né du seul désir de renouveler à Versailles, dans une certaine douceur de vivre dans cet hôtel accueillant, un séjour agréable comportant la chance de pouvoir rencontrer à nouveau des collègues venus souvent de pays fort éloignés du nôtre.

La raison principale en était, vous le savez bien, que nous avons tous eu le sentiment que nous n'avions fait qu'une attaque d'avant-garde lors de notre précédent effort pour atteindre les vérités fondamentales des phénomènes de la Vie, et qu'il fallait nous réunir à nouveau pour essayer d'aller plus loin. Sans nous bercer de l'illusion que nous pourrions cette fois épuiser le sujet, un sujet qui est vraiment inépuisable, nous espérons que vous trouverez ici, au cours de ces cinq journées de travail, ce que vous êtes venus chercher, c'est-à-dire un substantiel enrichissement de la connaissance. Sur les autres plans, nous espérons aussi que vous apprécierez notre accueil, l'accueil que vous réserve non seulement l'Institut de la Vie, mais Versailles, mais Paris.

Et maintenant, mettons nous au travail : « Je déclare ouverte la seconde Conférence internationale *De la Physique théorique à la Biologie* ».

J'ai le plaisir d'appeler à la présidence le Professeur Fröhlich, et je lui donne immédiatement la parole.

Journée du 30 juin 1969

Première séance

L'ORDRE DANS LES SYSTÈMES
PHYSIQUES

PRÉSIDENT H. FRÖHLICH

H. FRÖHLICH

Introduction générale

G. CARERI

Far infrared spectra of hydrogen bonded biopolymers

Discussions

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Chadwick Laboratory, University of Liverpool, Liverpool, England

H. FRÖHLICH

Before we actually begin I should like to say a few words on account of the International Union of Pure and Applied Physics.

The Union has sponsored this conference again as it did two years ago on the suggestion of its commission for statistical mechanics and thermodynamics. We do this because we hope that in a conference of this kind which is a very unusual one, and which is intended to be very unusual, the possibility will arise of a true interchange of ideas between physicists and biologists.

We faced two years ago considerable difficulties because the two sections in a way, speak different languages and we hope that both the physicists and the biologists will try not to speak principally to their own colleagues, but to the other side so that we might possibly hope to start an interchange on new general ideas which may lead to specific results.

Thank you.

The great success of microbiology consists in the successful correlation of biological properties with the structure of certain giant molecules. These molecules are extremely complicated compared with those one normally deals with in physics, and the opinion has been expressed that the peculiarities of biology are essentially connected with this complication, and that all important biological properties will ultimately be expressed in terms of molecular properties.

This idea is reminiscent of opinions in physics round the turn of the century: If the properties of the elementary particles that constitute matter were known then all properties of matter would follow in principle.

This is, manifestly, untrue for some of the most important properties of materials imply concepts which have no meaning in terms of single particles or of their pair interactions. Order in physical systems is one of these concepts. As a very simple example consider the order that refers to the arrangement of atoms in a monoatomic crystal lattice. This order can be expressed in terms of certain correlations between distances of the lattice points on which the atoms are based.

Now while the distance of two atoms is, of course, a concept referring to a pair of atoms, the particular correlation of distances is a new concept that

can be expressed in terms of very many atoms only. While the particular concept has been known for very many years, another concept referring to a much less trivial order has been found rather recently only in connection with the properties of superconductors and superfluids. Subsequently the common feature of this type of order has been formulated in terms of the concept of long range phase correlations. The same type of order, it has been found later, is present in lasers; at the last conference, 2 years ago, I suggested that in a different form it is also present in biological systems.

This conjecture implies that biological systems, in spite of the complication of their molecular structures, may exhibit certain general simple features. Let me remind you in this connection of the three observations I made two years ago.

1. Biological systems have extraordinary dielectric properties. They are expected to be capable of electric vibrations in a frequency region of about 10^{11} - 10^{12} sec^{-1} . These vibrations are composed of locally vibrating electric dipoles based either on certain regions of the cell membrane, or on certain groups in giant molecules. Such oscillating electric dipoles interact over large distances. In the discussion, Careri did specify relevant molecular groups.

2. With respect to some degrees of motion biological systems are expected to be far from thermal equilibrium provided that the systems are active, i.e. that energy flows through them. This same idea was presented by Prigogine who had elaborated it in more detail.

3. Biological systems should exhibit a certain order. This order should not be of a trivial spacial type but should be connected with the more subtle long range phase correlations. I then conjectured that this order should arise from strong excitations of a single mode (or a few modes) of the electric vibrations mentioned above. It was possible to show that such excitations would be stabilized by non linear effects leading to deformations and tensions in the system.

Meanwhile this conjecture has — from a theoretical point of view — received strong support from the properties of a simple model. Suppose the system of oscillating dipoles to be placed into a heat bath with which it can interact. Such a system is described in terms of its normal modes which form a relatively narrow band of frequencies. The usual interaction with the heat bath would be described in terms of emission and absorption of single vibrational quanta. The present model, however, also permits double processes which essentially implies that with the help of the heat bath a single quantum at a frequency ω' may jump to another frequency ω'' . We now assume that energy is supplied to the system of oscillators at a constant rate; when a steady state has been reached then the oscillators will transmit energy at the same rate to the heat bath. This requires that their distribution differs from their thermal equilibrium distribution. When the supply of energy is small then the deviations are small. Above a critical supply, however, a qualitative change arises which

is very similar to the so called Einstein condensation of a Bose gas : The mode with the lowest frequency becomes very strongly excited, so that it soon contains more energy than the rest of the system. As a consequence the system shows the long range phase correlation that had been postulated.

It will be noticed that a phenomenon comparable to a thermal phase transition has been enforced by the supply of energy in conjunction with the attempts of the system to come to terms with the heat bath into which it is placed.

This simple consideration should be used in connection with the influence of the non linear effects arising from the strong excitation of a single mode. The stabilization mentioned above implies that the frequency of the strongly excited mode is reduced. In principle such non linear effects may lead to a great complexity of behaviour.

The main consequences of the described conjecture essentially arise from the fact that the supplied energy is not entirely thermalized but placed into the storage mode from where it may be used in more efficient ways.

1. The arising tensions will lead to forces which increase as the storage is built up. This may give rise to a variety of dynamic effects e.g. connected with cell division.

2. With slight modifications a similar storage may be expected in the frequency region of visible light, and hence may occur in connection with photo synthesis. The storage mode would here (and in other cases) be able to transfer energy in units of more than one quantum.

The overall picture which thus arises makes use of possible activities that follow the molecular structure of the materials involved. This quasi static element is now, however, supplemented by dynamic features. The possible activities are supposed to supply energy into the storage mode which gradually would build up leading to various types of deformations owing to non linear effects. They will lead to new forces which ultimately may initiate processes like cell division. The long range correlations make it possible, in principle, to visualize correlations between processes which are separated in space and time, as is required e.g. in cell division.

The actual processes may, of course, be extremely complicated; their possibilities must depend on the detailed structure. The succession of actual events may, however, be regulated by the change of excitation of the storage mode. I think it should be possible to construct a dielectric model which would exhibit such features.

Application of the ideas expressed here to actual biological systems would, of course, require detailed knowledge of the dielectric properties of the constituents in a frequency region which only recently has become accessible.

FAR INFRARED SPECTRA OF HYDROGEN BONDED BIOPOLYMERS

G. CARERI

Istituto di Fisica, Università di Roma

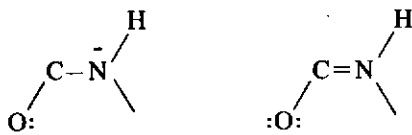
At the first Versailles conference, in 1967, during the discussion following the Fröhlich paper [1], I suggested [2] that the hydrogen bond of some biopolymers could provide the soft modes active in the far infrared, offering a preliminary molecular background for the Fröhlich theory. This has been the motivation to carry out, in our laboratory, an experimental investigation on the absorption spectra of several biopolymers in the far infrared, in the region around 100 cm^{-1} . In this lecture I plan to introduce first the nature of the coupling due to the hydrogen bonding between amide groups, then I will report our experimental results on proteins and model systems in the far infrared, and finally I will discuss their significance both for the Fröhlich theory and other speculative possibilities that can be mentioned in conference like this one.

Coupling by H-bonding between amide groups

The hydrogen bond (in the following H-bond) is present all almost in biological materials (water, proteins, nucleic acids), where it is well known to be responsible for a number of different chemical effects. Perhaps the most interesting physical manifestation of the H-bond is found in the near infrared spectra of these substances, where the absorption bands assigned to the motion of the H atom are very intense, broad and somewhat shifted in frequency. These features are reasonably well accounted for [3] in terms of a charge transfer process which occurs between the two partners when they move. Because of the partial covalent nature of the H-bond, the charge distribution on both partners is strongly dependent on their relative positions, and intense absorptions are therefore expected when their position changes.

The effect of the H-bond on the electronic structure of the bonded molecules is most important when these molecules are resonating between close electronic structures. This is precisely the case of the amide groups, where the planarity of the group and the shortening of the C-N bond to 1.32 \AA are attributed to resonance between structures which are realized about 60 % and 40 % respectively. As a matter of fact, the change in the frequencies of the charac-

teristic bands of the amide group of monosubstituted amides with the change of state [4] (e.g. as in melting), confirms that the electronic structure of an amide group is affected by the relative positions of the neighbouring groups which are H-bonded to it.



The effect of H-bonding in inducing changes in the electronic structure of the bonded will be most intense whenever these H-bonded groups are arranged in a chain (as in α or β polypeptides). No doubt, this effect would follow from a correct theoretical treatment of the H-bonded chain, including the partly covalent nature of the H-bond, but this task has never been attempted. Therefore we will follow an intuitive approach and will content ourselves with the simple consideration that the cooperative effect between the alternating H-donor and acceptor terminals will cause the amide groups to be more « polar » in the field of the two neighbor H-bonded partners, and what is most important, the converse effect whereby the more polar electronic structure once stabilized will form stronger H-bonds. Therefore in these chains one can speak of a « collective » electronic state of the chain, in the sense that there is a more than pairwise cooperative charge resonance, or charge transfer, between bonded groups. A similar cooperative effect is already known in molecular crystals [5] (e.g. benzene) when the intermolecular charge transfer in the Mulliken sense is significant, and in Rome we do find evidence for it in some model H-bonded crystals like acetanilide. By virtue of the strong coupling between neighbours, the intermolecular « weak » stretching mode of the H-bonded "dimer" must give rise to a band of "soft" vibronic modes in the linear "polymer", in much the same way as the infrared active vibrational mode of an isolated NaCl molecule gives rise to an optical phonon band in a crystal of NaCl, as well known in solid state physics.

To conclude, we must expect some bands of soft modes, active in the far infrared, to be intense in H-bonded matter particularly when the electronic structure of the bonded group is easily influenced by the H-bond, and when the geometry allows cooperative effects among the groups. We find these conditions to be likely to be met in proteins, due to the electronic resonating structure of the amide group, to the peculiar polypeptide chain geometry, and to the presence of tightly bound water; however the proteins are far from being ordered repetitive polymers and therefore a wide distribution of soft modes involving charge displacement must occur as well, as in a "liquid" structure. We will make use of these conclusions later on, to discuss the far infrared absorption spectrum of some proteins.

The far infrared spectra of some polypeptides and proteins

Let us now consider the far infrared absorption spectra of the biological materials. Water absorbs very strongly and almost everywhere, particularly below 1 cm^{-1} (namely in the microwave region) due to Debye dissipative absorption, and above 200 cm^{-1} due to the "lattice" modes. At still higher frequencies both water and all other biomaterials are known to absorb because of their intramolecular modes. Therefore the only region of interest for us, namely the only frequency range where some electric oscillations could be relatively undamped, must lie around $10\text{-}100\text{ cm}^{-1}$.

There are very few measurements as yet on the far infrared (in the following F.I.R.) of H-bonded matter, because only in recent times some new techniques became available to investigate this part of the electromagnetic spectrum. In the past two years this author, in collaboration with U. Buontempo and P. Fasella, has made an extensive study on some synthetic polypeptides, native and denaturated proteins, in different physical conditions and over a wide range of frequencies. The instrument used for F.I.R. measurement is a Michelson interferometer (manufactured by R.I.I.C.) which can give the transmission spectrum by Fourier transform of the interferogram with the help of an electronic computer. Experimental details of this work will be given elsewhere [6]. In the following I will quote some significant results only :

a) To begin with, we have investigated the F.I.R. spectrum of a synthetic polypeptide, Poly-D-Glutamic Acid (PGA), which is known to be in the α -helix configuration in the solid state, in order to compare it with the analogous spectrum of its sodium salt (Na PGA), which is known to be in a random coil configuration in the solid state. We have selected this particular polypeptide because a similar investigation by slow neutron scattering has already been made [7] to detect a possible change in the frequency distribution of the collective modes in the order-disorder transition. While the neutron work hardly shows any difference between the frequency spectra of the two conformations, our F.I.R. spectra shows striking differences both in the band shape and in the band intensity (normalized to one amide group) : more exactly we detect the presence of strong and well defined peaks only in PGA, while in NaPGA there is a continuous band of low and decreasing intensity at the higher frequency. We believe that the above reported F.I.R. results can be explained in terms of the H-bond distribution, which is well different in the two configurations : an array of bonds of the same length and with the same angle $\text{NH} \dots \text{OC}$ (close to 180°) in the α -helix, while in the random coil configuration the bonds are distributed in a wide range of lengths and angles, and the average H-bonding is much weaker than in the α -helix.

To summarize, we have clear evidence that H-bonding is the main factor responsible for the dielectric properties of the polypeptide chains in the F.I.R.

b) Next we consider Bovine Serum Albumin (BSA), the only protein where neutron work has been carried out [8]. Here again we find the F.I.R. spectrum completely different from the frequency distribution indicated by neutrons. In the region around 100 cm^{-1} we find a very broad and intense absorption band, which was not found in the neutron diffraction spectrum.

c) An extensive F.I.R. study has been carried out on Lysozyme, a low molecular weight protein well investigated by X-rays, in different conditions of sample preparation, temperature, etc. The F.I.R. spectrum of Lysozyme has been found to be always very similar to that of BSA.

The broad band around 100 cm^{-1} merits some comment. This band is mainly due to the H-bonded groups, but any other soft mode of the macromolecule, which involve a charge displacement, can contribute as well. In spite of the high resolution obtained in same runs, no fine structure has been revealed. Even the spectra recorded at liquid nitrogen temperature did not show any appreciable difference in the smoothness of this band, while in other part of the spectrum they showed a better resolution. Moreover, a glance to F.I.R. spectra of BSA and Lysozyme shows that these spectra cannot be due to a properly weighted superposition of the spectra of the α , β and random coil configurations.

One may wonder if this broadening can merely arise from the fact that the oscillators are essentially independent, but that they have somewhat different force constants and effective masses by some trivial geometrical reasons. Then even a very modest coupling could be responsible for a small broadening of each single peak, and the observed smoothness of the absorption band could result from the superposition of very many peaks. Although the above trivial explanation must be kept in mind, we believe that the main reason for the lack of fine structure in F.I.R. must be due to the strong coupling among the oscillators, so that the absorption band must be considered as one "band" in the sense of the solid state physics, namely as the one resulting from several interacting levels. We believe this to be the case because we find that in the region of very low frequencies, where the wide distribution of effective masses and force constants should be most felt, the absorption of both native and denaturated Lysozyme are identical inside experimental errors. From accurate measurements of circular dichroism and other structure sensitive infrared amide bands, we know that in our two samples the percentage of the α and β structures differ by a factor about two. We cannot get convinced that such a large change in the geometry could not affect the F.I.R. frequency distribution, if this distribution would be due merely to the trivial superposition of the different peaks.

To summarize, we have good reasons to believe that in a protein the lack of periodicity must be responsible for the absence of well definite absorption peaks in the F.I.R., and that the observed broadening of the intense absorption band must be due to the collective coupling of the oscillators, most of them

