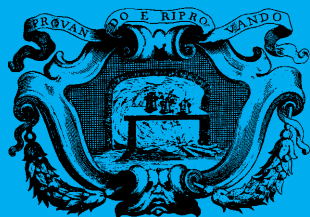


Bollettino della Società Italiana di Fisica
Nuova Serie Anno 19
N. 1 gennaio-febbraio 2003
N. 2 marzo-aprile 2003



Comitato di Redazione:

Giuseppe-Franco Bassani, Enrico Bellotti, Luisa Cifarelli, Vincenzo Grasso, Roberto Habel, Angiolino Stella, Andrea Taroni, Antonio Vitale

Direttore Editoriale:
Andrea Taroni

Responsabile di produzione:
Angela Oleandri

Hanno inoltre collaborato a questo numero: G. Acocella, G. Alzetta, A. Arimondo, S. Bergia, G. Careri, C. Castagnoli, R. Cesareo, L. Cifarelli, N. Dallaporta, E. Fabri, F. Guerra, M. Inguscio, A. Loinger, L. Moi, G. Orriols, R.A. Ricci, N. Robotti e L. Vasanelli

Copertina a cura di Simona Oleandri

Segreteria di Redazione:
Carmen Vasini

Direzione e Redazione:
Società Italiana di Fisica
Via Saragozza 12
40123 Bologna
Tel. 051331554 / 051581569

Questo fascicolo è stato realizzato in Fotocomposizione dalla Monograf, Bologna e Stampato dalla Tipografia Compositori nel mese di Aprile 2003

Autorizzazione del Tribunale di Bologna n. 3265 del 3/5/1967

© Società Italiana di Fisica
Proprietà Letteraria Riservata

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta in qualsiasi forma (per fotocopia, microfilm o qualsiasi altro procedimento), o rielaborata con uso di sistemi elettronici, o riprodotta, o diffusa, senza autorizzazione scritta dell'editore



USPI Associato all'Unione
Stampa Periodica Italiana

SIF, Bologna

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Direttore Responsabile
Giuseppe-Franco Bassani

Vicedirettori
Antonio Bertin e Antonio Vitale

Comitato Editoriale

E. Arimondo, G. Benedek, N. Cabibbo, S. Focardi,
E. Iarocci, P. Picchi, e R.A. Ricci

OPINIONI

- 3 Lettera al direttore - E. Fabri
Lettera di risposta - L. Cifarelli

IL NOSTRO MONDO

- 9 La scoperta della radioattività indotta da neutroni: il ritrovamento ad Avellino del primo quaderno di laboratorio di Enrico Fermi
G. Acocella, F. Guerra e N. Robotti
- 18 Storia della fisica e formazione del fisico
S. Bergia
- 28 Ricordo di Antonino Rubbino
R.A. Ricci
- 29 Ricordo di Angelo Rizzo
L. Vasanelli
- 30 In ricordo di Krzysztof Ernst
M. Inguscio
- 31 "Galileo venghi a Roma per render conto ..." (con sosta a Centeno)
C. Castagnoli

PERCORSI

- 41 Ricordi dell'effetto riga nera
G. Orriols, A. Arimondo, L. Moi e G. Alzetta
- 54 Studi sperimentali di struttura della materia fondati sulla fisica statistica: Italia 1945-1965
G. Careri
- 58 Il cosmo delle strutture
N. Dallaporta

SCIENZA IN PRIMO PIANO

- 70 Sull'equazione radiale di Schrödinger dell'atomo di idrogeno. Nota storico-didattica
A. Loinger
- 74 Le aureole d'oro di Giotto nella Cappella degli Scrovegni
R. Cesareo

78 RECENSIONI

80 ANNUNCI

Il Nuovo Saggiatore - Bollettino della Società Italiana di Fisica viene inviato gratuitamente ai soci.

MODALITÀ DI ISCRIZIONE

Per iscriversi occorre presentare domanda di associazione sul modulo apposito (che pubblichiamo in penultima pagina, e sulla nostra pagina web all'indirizzo www.sif.it/sif/sif/society/register_it.html) con un breve curriculum scientifico e la firma di due soci presentatori. La domanda verrà poi esaminata ed eventualmente approvata dal Consiglio di Presidenza. Il pagamento della quota sociale, nei modi sotto indicati, dovrà avvenire dopo aver ricevuto comunicazione della accettazione a Socio. Le quote di iscrizione sono pubblicate nell'ultima pagina.

RINNOVO QUOTE SOCIALI

Il rinnovo della quota sociale per l'anno corrente può essere effettuato nei modi seguenti:

- a mezzo assegno bancario
- a mezzo versamento su c/c postale n. 19197409
Il Nuovo Cimento - SIF, via Saragozza 12, 40123 Bologna
- a mezzo carta di credito (Cartasì, MasterCard, Eurocard e VISA)
Comunicare per iscritto nome, cognome, indirizzo postale completo, numero e data di scadenza della carta, data e firma utilizzando il tagliando pubblicato in fondo al fascicolo.

PUBBLICITÀ

La pubblicità ne Il Nuovo Saggiatore è limitata al 20% del fascicolo.

La Direzione si riserva la facoltà di pubblicare esclusivamente le inserzioni che ritiene conformi al contenuto della rivista.

Le inserzioni pubblicate devono essere inviate alla redazione del Nuovo Saggiatore come file .ps rispettando esattamente le misure standard indicate in tabella.

In tabella sono riportate i prezzi delle inserzioni.

Spazio dell'inserzione	Superficie stampata altezza × larghezza	Numero di inserzioni		
		1 inserzione	3 inserzioni	6 inserzioni
1 pagina	cm 25.3 × 17.2	€ 760	€ 730	€ 700
1/2 pagina	cm 12.2 × 17.2	€ 565	€ 540	€ 500
1/3 pagina	cm 25.3 × 5.4	€ 450	€ 430	€ 410
1/4 pagina	cm 12.2 × 8.1	€ 410	€ 390	€ 375

Supplemento per stampa in quadricromia: € 700

Gli articoli destinati alla pubblicazione devono essere inviati in duplice copia direttamente ed esclusivamente al seguente indirizzo:

Redazione de *Il Nuovo Saggiatore*

Società Italiana di Fisica

Via Saragozza 12

40123 Bologna

tel. +39-051581569 - fax +39-051581340

e-mail: saggiatore@sif.it - web page: www.sif.it

OPINIONI

Il dibattito sulla figura di Galileo è ampio e vivace non solo tra i fisici. Lo storico dell'inquisizione Adriano Prospéri, per esempio, ritiene Galileo uomo di sincera fede in Dio e la Chiesa. Con i due interventi che seguono chiudiamo la discussione sul Nuovo Saggiatore.

Caro Direttore,

ho letto la recensione di De Sabbata all'ultimo libro di Zichichi, e il dibattito che ne è seguito. Mi ha colpito la lettera firmata Basile con ben 21 altre firme, tra cui la Vice Presidente e i due Vicedirettori della rivista. Come se fosse in discussione qualcosa di molto più importante di un libro...

A mio parere una recensione impegna solo chi la firma, e credo naturale che si possa anche dissentire dalle opinioni espresse, e desiderare di far conoscere tale dissenso ai soci. Si può anche dissentire dal dissenso, e dar vita in tal modo a un dibattito, che se condotto nelle giuste forme, può solo essere utile a tutti. Invece nella lettera di Basile *et al.* colpisce prima di tutto il tono perentorio, come se le loro, anziché opinioni, per quanto rispettabili, fossero verità certe. Non basta però il numero di firme a renderle tali.

Venendo al libro: per cominciare, esso non è (e non pretende di essere) un libro di fisica, né di storia della fisica, nel senso scientifico del termine. Valutarlo e recensirlo come tale mi sembra prima di tutto un errore di prospettiva. È scritto con lo stile che Zichichi usa quando fa divulgazione, e si rivolge chiaramente a un pubblico di scarsa cultura, non solo fisica, ma generale. Non lo critico certo per questo, ma per lo scopo che il libro si propone: non di approfondire conoscenze e cultura del lettore, ma di convincerlo di una tesi. Il libro non ragiona: afferma. Non discute eventuali obiezioni: denigra.

E purtroppo, al fine della sua tesi, non manca di presentare fatti e punti di vista in modo tutt'altro che imparziale, ma volgendo al suo scopo. A questo proposito, le «prove» e gli «esempi» di cui parlano Basile *et al.* sono assai spesso citazioni estrapolate dal contesto in modo da alterarne il significato.

Si veda in primo luogo il modo come vengono trattati gli «scienziati non

galileiani»: Mach, Einstein, Monod (pag. 469). Nella sua ansia di esaltare l'opera di Galileo, Zichichi minimizza il contributo di un Copernico (pag. 445), e anche Keplero non ne esce meglio (pag. 447). Il peggio tocca però ad Einstein, al quale l'autore è disposto a riconoscere una sola cosa: «Pochi conoscono ciò che veramente ha scoperto Einstein: quando mangiamo spaghetti, in effetti stiamo masticando un concentrato di Spazio-Tempo» (pag. 449). Spaghetti a parte, tutto il resto o viene ignorato, o non è merito di Einstein.

In un libro divulgativo che si rivolge a un pubblico di modesta cultura non sarebbe giusto cercare il rigore scientifico; tuttavia alcune scelte che l'Autore fa a me sembrano eccessive in senso opposto, per non dire incomprensibili. Mi limito a un paio di accenni: si veda come viene presentata a pag. 127 la formazione del sistema solare, oppure a pag. 447 la questione dello spazio-tempo (reale? immaginario?).

De Sabbata ha scritto, a proposito dell'EBSU: «è falso dire che Zichichi accusi qualcuno di fanatismo». Infatti l'accusa è ben più forte: a pag. 425 inizia un capitolo intitolato «Il terrorismo culturale e le dieci menzogne della cultura atea». La quinta menzogna suona: «è una grande conquista della Scienza moderna l'aver dimostrato che discendiamo, per evoluzione, dalle scimmie». E non dico nulla sulle altre, e sul modo come sono messe insieme...

Ma forse Basile *et al.* non volevano tanto parlare di Galileo e del libro di Zichichi, quanto del «fondamentalismo di stampo laico» che a loro dire «imperla nell'editoria scientifica». Come esempi citano due riviste di diverse caratteristiche, ma entrambe dirette da fisici. All'inizio della lettera accusano le due riviste di scarsa correttezza verso opinioni dissidenti, e su ciò non spetta a me pronunciarmi.

M'interessa invece il pensiero espresso dagli autori della lettera, quando scrivono dello «squilibrio opinionistico che domina la nostra editoria scientifica». Noto la concordanza con la tesi che pervade il libro di Zichichi, secondo il quale esisterebbe (forse in tutto il mondo?) una «cultura atea dominante». Non starò a discutere la tesi, ma mi limito a una modesta considerazione: se davvero Basile e gli altri con lui sentono questo squilibrio, non hanno che da farsi parte attiva per colmarlo. In Italia

esistono libertà di stampa e d'impresa; dunque non vedo motivo di lamentarsi, né di tirare in ballo la SIF.

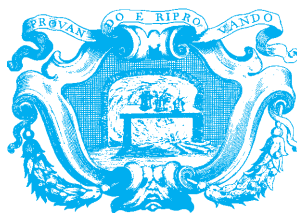
Non voglio pensare seriamente a un'altra possibile spiegazione: un tentativo di mettere a tacere queste voci, che non concordano con le loro idee «prive di pregiudizi». Indubbiamente l'attuale clima politico sarebbe a ciò favorevole; ma anche per questo non potrei accettare che vi venisse coinvolta la Società di cui faccio parte da oltre 40 anni.

Cordiali saluti

Elio Fabri

Fabri ha intuito che vi è «in discussione qualcosa di molto più importante di un libro ...» Infatti la SIF pubblica giustamente sul suo bollettino opinioni e idee diverse, dando così vita a un libero dibattito. Ciò non accade con le altre due riviste «entrambe dirette da fisici», alle quali molti dei soci firmatari della precedente lettera cui si fa riferimento hanno indirizzato giudizi favorevoli sul libro di Zichichi senza che questi venissero pubblicati. In quanto al «tono perentorio» o al «voler mettere a tacere voci che non concordano con le loro idee», è a dir poco sorprendente vedere attribuire ai soci firmatari in questione un atteggiamento di censura. Inoltre a Fabri forse sfugge che l'aver usato affermazioni del tipo «pubblico di scarsa e modesta cultura», nei riguardi dei lettori del libro di Zichichi, è prova di intolleranza e contraddice le tesi che egli stesso sostiene. Peraltro non è l'unica contraddizione. Due esempi. Il primo: Fabri cita una pagina (447) del libro di Zichichi a proposito della scoperta di Lorentz sullo spazio-tempo, mettendo punti interrogativi che avrebbe potuto evitare leggendo altre pagine del libro, senza «estrapolare citazioni dal contesto». Il secondo: Fabri cita un'altra pagina (127) nella quale Zichichi, non fermandosi all'ipotesi teorica di Laplace sulle origini del sistema solare, porta il lettore a ciò che si conosce oggi. Inespugnabilmente il contenuto di queste due pagine viene giudicato da Fabri «eccessivo, per non dire incomprensibile». C'è da chiedersi se egli non stia purtroppo dando segni della tanto deprecata «scarsa e modesta cultura».

Luisa Cifarelli



**SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
1953 – 2003 JUBILEE OF THE
INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS
“ENRICO FERMI”**

with the sponsorship of

**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE – EUROPEAN COMMISSION
ISTITUTO NAZIONALE PER LA FISICA DELLA MATERIA – UNESCO-ROSTE
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE – UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA – UNIVERSITÀ DI ROMA “LA SAPIENZA”
INFN-LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI
INFN-NETWORK APPLICATIVO BENI CULTURALI
PRIN-MIUR 2002 – EUPEN – IUPAP – CENTRO SVILUPPO MATERIALI
ASSOCIAZIONE ITALIANA DI ARCHEOMETRIA**

**SUMMER COURSES 2003
VILLA MONASTERO – VARENNA, LAKE COMO**

GENERAL INFORMATION

A) – In addition to the official lectures, several seminars on related subjects will be held by visiting scientists.

B) – The scientific organization and direction of the Course are entrusted to the Directors.

C) – The number of students at each Course is limited to about 50. Students are requested to attend all lectures and seminars.

D) – Whoever may be interested in attending the Course and is not entitled —for his age or other reasons— to be considered a student, may follow the Course as observer. *Registration fee charged to observers is EUR 500.* Observers should provide for their board and lodging; if required, the School may take care of their hotel accommodation.

E) – Applicants will be informed of the decision on their admittance within 30 days from the beginning of each Course.

F) – Owing to the limited number of places available in the lecture hall, it will not be possible to allow any person not selected by the Committee of the School to follow the Courses.

G) – Students are requested to arrive at Varenna the day preceding the opening of the Course, *i.e. respectively on Monday 16 June (1st Course), Monday 30 June (2nd Course), Monday 14 July (3rd Course) and Monday 28 July (4th Course).* Accommodation for the students will be provided in rooms with 2 beds in hotels at Varenna. Meals will be served at the hotels.

H) – Fees should be paid by students and observers *following the instruction and within the date indicated in the letter of admittance.*

I) – A limited number of scholarships may be granted to deserving students who need financial help. Such requests must be specified in the application and justified in the recommendation letter. Scholarships will be assigned by the President of the Italian Physical Society.

J) – Students should avoid being accompanied by relatives. In view of the holiday season local accommodation is very limited. Quite exceptionally the School could see to the accommodation of members of students' families in local hotels. Hotel expenditure for students' relatives will be payable separately and directly to the hotel management.

CLIV COURSE PHYSICS METHODS IN ARCHAEOMETRY 17 – 27 June	CLV COURSE THE PHYSICS OF COMPLEX SYSTEMS (NEW ADVANCES AND PERSPECTIVES) 1 – 11 July
<u>Topics:</u> ● Elemental analysis and microanalysis. ● Dating techniques. ● Methods for colorimetric characterisation. ● Optical analysis and image processing. ● Microclimate and environment interaction with cultural heritage. ● Methods for multivariate analysis of data and catalogue methods. ● Pottery and glass studies. ● Archaeometallurgy. <u>Lecturers and Seminar Speakers:</u> M. BACCI - Istituto di Fisica Applicata “Nello Carrara” del CNR, Firenze (Italy) M. J. BAXTER - Mathematics Section, Department of Chemistry and Physics, The Nottingham Trent University (UK) D. CAMUFFO - Istituto di Scienze dell’Atmosfera e del Clima del CNR, Padova (Italy) G. DEMORTIER - Laboratoire d’Analyse par Réactions Nucléaires LARN, Facultés Universitaires N-D Paix Namur (Belgium) R. M. HEDGES - Research Laboratory for Archaeology and the History of Art, Oxford University (UK) C. LAHANIER - Laboratoire de Recherche des Musées de France, Paris (France) P. A. MANDÒ - Dipartimento di Fisica, Università di Firenze (Italy) Y. MANIATIS - Demokritos National Research Center for Physical Sciences, Athens (Greece) W. A. ODDY - The British Museum (former Keeper of Conservation) London (UK) E. PANTOS - Synchrotron Radiation Source, Daresbury Laboratory (UK) E. PERNICKA - Institut für Archäometallurgie, TU Bergakademie, Freiberg (Germany) M. TITE - Research Laboratory for Archaeology and the History of Art, Oxford University (UK) R. H. TYKOT - Department of Anthropology, University of South Florida, Tampa FL (USA) G. A. WAGNER - Forschungstelle Archäometrie der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg (Germany) <u>Directors of the Course:</u> M. MARTINI - Dipartimento di Scienza dei Materiali, Università di Milano Bicocca (Italy) M. MILAZZO - Istituto di Fisica Generale Applicata, Università di Milano (Italy) M. PIACENTINI - Dipartimento di Energetica, Università di Roma “La Sapienza” (Italy) <u>Scientific Secretaries:</u> E. SIBILIA - Dipartimento di Scienza dei Materiali, Università di Milano Bicocca (Italy) A. C. FELICI - Dipartimento di Energetica, Università di Roma “La Sapienza” (Italy) <u>Deadline for application:</u> May 1st, 2003 <u>Correspondence and application forms should be sent to:</u> A. C. FELICI Dipartimento di Energetica, Università di Roma “La Sapienza” Via A. Scarpa 14, 00161 ROMA (Italy) Tel.: ++39-06-49766322, Fax: ++39-06-44240183 varenna@uniroma1.it <u>Opening of the Course:</u> Tuesday, June 17, 2003 – 9.00 a.m. <u>Closing of the Course:</u> Friday, June 27, 2003 – 12.30 a.m. <u>Participation fee:</u> EUR 1.300,00 (for attendance, full board, lodging and Proceedings)	<u>Topics:</u> ● Scaling behaviour. ● Polymers and polymeric systems. ● Supra-molecular systems and solutions. ● Liquid water and amorphous ice. ● Biological systems and related phenomena. ● Aggregation kinetics and disorderly growth mechanisms. ● Granular matter. ● Gelification. ● Critical phenomena. ● Phase separation and out-of-equilibrium dynamics. ● Aging and jamming processes. ● Chaos and chaotic dynamics. ● Turbulence. ● Glass transition. ● Interdisciplinary applications of statistical physics to social sciences and economy. <u>Lecturers and Seminar Speakers:</u> K. BINDER - Institut für Physik, Johannes Gutenberg Universität, Mainz (Germany) V. V. BRAZHKIN - Institute for High Pressure Physics, Russian Academy of Sciences, Troitsk, Moscow region (Russia) F. BROCHARD - Institut Curie, SPC, Université Pierre et Marie Curie, Paris (France) A. BUNDE - Institut für Theoretische Physik III, Universität Giessen (Germany) S.-H. CHEN - Dept. of Nuclear Engineering, MIT, Cambridge MA (USA) M. H. COHEN - Department of Physics and Astronomy, Rutgers, The State University of New Jersey, Piscataway NJ (USA) A. CONIGLIO - Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli “Federico II” (Italy) P.-G. DE GENNES - Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielle, Paris (France) S. F. EDWARDS - Cavendish Laboratory, Cambridge University (UK) M. E. FISHER - Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland, College Park MD (USA) S. HAVLIN - Dept. of Physics, Bar Ilan University, Ramat Gan (Israel) H. J. HERRMANN - ICA1, University of Stuttgart (Germany) J. L. LEBOWITZ - Center for Mathematical Sciences, Rutgers, The State University of New Jersey, Piscataway NJ (USA) K. A. MÜLLER - Institute of Physics, University of Zurich (Switzerland) D. R. NELSON - Department of Physics, Harvard University, Cambridge MA (USA) G. PARISI - Dipartimento di Fisica, Università di Roma “La Sapienza” (Italy) E. I. SHAKHNOVICH - Department of Chemistry and Chemical Biology, Harvard University, Cambridge MA (USA) H. L. SWINNEY - Physics Department and Center for Nonlinear Dynamics, University of Texas at Austin, TX (USA) P. TARTAGLIA - Dipartimento di Fisica, Università di Roma “La Sapienza” (Italy) C. TSALLIS - Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas, Rio de Janeiro (Brazil) B. WIDOM - Department of Chemistry, Baker Laboratory, Cornell University, Ithaca NY (USA) <u>Directors of the Course:</u> F. MALLAMACE - Dipartimento di Fisica, Università di Messina (Italy) H. E. STANLEY - Department of Physics, Center for Polymer Studies, Boston University, MA (USA) <u>Scientific Secretaries:</u> G. MAINO - ENEA, Divisione Fisica Applicata, Bologna (Italy) M. F. SHLESINGER - Office of Naval Research, Chemistry and Physics Division, Arlington VA (USA) <u>Deadline for application:</u> May 1st, 2003 <u>Correspondence and application forms should be sent to:</u> F. MALLAMACE Dipartimento di Fisica, Università di Messina Vill. S. Agata, CP 55, 98166 MESSINA (Italy) Tel.: ++39-090-6765016, Fax: ++39-090-395004 Francesco.Mallamace@unime.it <u>Opening of the Course:</u> Tuesday, July 1, 2003 – 9.00 a.m. <u>Closing of the Course:</u> Friday, July 11, 2003 – 12.30 a.m. <u>Participation fee:</u> EUR 1.300,00 (for attendance, full board, lodging and Proceedings)

CLVI COURSE RESEARCH ON PHYSICS EDUCATION 15 – 25 July	CLVII COURSE THE ELECTRON LIQUID PARADIGM IN CONDENSED MATTER PHYSICS 29 July – 8 August
<u>Topics:</u> • Models of students' thinking. • Implications for instruction and evaluation from cognitive science. • Epistemology and pedagogy. • Research on teaching methodologies. • Learning by experiments. • Evaluation and assessment. • Thinking Physics for teaching. • Research methodologies. <u>Lecturers and Seminar Speakers:</u> P. BLACK - Department of Education and Professional Studies, King's College, London (UK) A. DI SESSA - Graduate School of Education, University of California, Berkeley CA (USA) M. EULER - Department of Physics Education, IPN, University of Kiel (Germany) H. FERDINANDE - EUPEN, Universiteit Gent (Belgium) N. GRIMMELINI - Dipartimento di Fisica, Università di Bologna (Italy) P. GUIDONI - Dipartimento di Fisica, Università di Napoli (Italy) D. HAMMER - Department of Physics and Curriculum Instruction, University of Maryland, College Park MD (USA) J. M. LEVY-LEBLOND - Dépt. de Physique and Dépt. de Philosophie, Université de Nice (France) J. MESTRE - Department of Physics, University of Massachusetts, Amherst MA (USA) N. NERSESSIAN - Georgia Institute of Technology, Atlanta GA (USA) V. OTERO - School of Education, University of Colorado, Boulder CO (USA) R. PINTÒ - Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona (Spain) J. SAHM - Fachbereich Physik, Technische Universität Berlin (Germany) G. TIBELL - Department of Radiation Science, Uppsala University (Sweden) L. VIENNOT - Laboratoire de Didactique des Sciences Physiques, Université Denis Diderot, Paris 7 (France) <u>Directors of the Course:</u> E. F. REDISH - Department of Physics and Astronomy, University of Maryland, College Park MD (USA) M. VICENTINI - Dipartimento di Fisica, Università di Roma "La Sapienza" (Italy) <u>Scientific Secretary:</u> C. TARSITANI, Dipartimento di Fisica, Università di Roma "La Sapienza" (Italy) <u>Deadline for application:</u> May 15th, 2003 <u>Correspondence and application forms should be sent to:</u> C. TARSITANI Dipartimento di Fisica, Università di Roma "La Sapienza" P.le Aldo Moro 2, 00185 ROMA (Italy) Tel.: ++39-06-49913483, Fax: ++39-06-4463158 carlo.tarsitani@roma1.infn.it <u>Opening of the Course:</u> Tuesday, July 15, 2003 – 9.00 a.m. <u>Closing of the Course:</u> Friday, July 25, 2003 – 12.30 a.m. <u>Participation fee:</u> EUR 1.300,00 (for attendance, full board, lodging and Proceedings)	<u>Topics:</u> • Landau theory of Fermi liquids. • Monte Carlo methods. • Density functional theory. • Quantum phase transitions and broken symmetries. • Dynamical correlations. • Two-dimensional electron liquid. • Edge dynamics of a two-dimensional electron liquid. • Luttinger liquids. • Multilayer systems. • Strongly correlated systems. • Magnetic correlations and spin-dependent transport. <u>Lecturers and Seminar Speakers:</u> G. ABSTREITER - Walter Schottky Institute, München (Germany) D. CEPERLEY - Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign IL (USA) C. DI CASTRO - Dipartimento di Fisica, Università di Roma "La Sapienza" (Italy) P. FULDE - Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme, Dresden (Germany) M. GRAYSON - Department of Physics, University of Maryland, College Park MD (USA) and Walter Schottky Institute, München (Germany) E. K. U. GROSS - Institut für Theoretische Physik, Freie Universität Berlin (Germany) A. HOLAS - Institute of Physical Chemistry of the Polish Academy of Sciences, Warsaw (Poland) J. JAIN - Department of Physics, Pennsylvania State University, University Park PA (USA) R. LAUGHLIN - Department of Physics, Stanford University, CA (USA) Y. LOZOVIK - Institute of Spectroscopy, Russian Academy of Sciences, Troitsk, Moscow region (Russia) H. R. OTT - Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich (Switzerland) F. M. PEETERS - Department of Physics, University of Antwerpen (Belgium) V. PELLEGRINI - Scuola Normale Superiore, Pisa (Italy) T. M. RICE - Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich (Switzerland) N. SAMARTH - Department of Physics, Pennsylvania State University, University Park PA (USA) G. SENATORE - Dipartimento di Fisica Teorica, Università di Trieste (Italy) M. P. TOSI - Scuola Normale Superiore, Pisa (Italy) R. VAN LEEUWEN - Theoretical Chemistry, Materials Science Center, Rijksuniversiteit Groningen (The Netherlands) <u>Directors of the Course:</u> G. F. GIULIANI - Department of Physics, Purdue University, West Lafayette IN (USA) G. VIGNALE - Department of Physics, University of Missouri-Columbia MO (USA) <u>Scientific Secretary:</u> M. POLINI - Scuola Normale Superiore, Pisa (Italy) <u>Deadline for application:</u> May 15th, 2003 <u>Correspondence and application forms should be sent to:</u> M. POLINI Scuola Normale Superiore Piazza dei Cavalieri 7, 56126 PISA (Italy) Tel.: ++39-050-509038, Fax: ++39-050-563513 m.polini@sns.it <u>Opening of the Course:</u> Tuesday, July 29, 2003 – 9.00 a.m. <u>Closing of the Course:</u> Friday, August 8, 2003 – 12.30 a.m. <u>Participation fee:</u> EUR 1.300,00 (for attendance, full board, lodging and Proceedings)

INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS “ENRICO FERMI”

APPLICATION FORM

COURSE CLIV	“Physics Methods in Archaeometry”	☐
COURSE CLV	“The Physics of Complex Systems (New Advances and Perspectives)”	☐
COURSE CLVI	“Research on Physics Education”	☐
COURSE CLVII	“The Electron Liquid Paradigm in Condensed Matter Physics”	☐

To be sent to:

COURSE CLIV

A. C. FELICI
Dipartimento di Energetica
Università di Roma
“La Sapienza”
Via A. Scarpa 14
00161 ROMA
(Italy)
Tel.: ++39-06-49766322
Fax: ++39-06-44240183
varenna@uniroma1.it

COURSE CLV

F. MALLAMACE
Dipartimento di Fisica
Università di Messina
Vill. S. Agata
CP 55
98166 MESSINA
(Italy)
Tel.: ++39-090-6765016
Fax: ++39-090-395004
Francesco.Mallamace@unime.it

COURSE CLVI

C. TARSITANI
Dipartimento di Fisica
Università di Roma
“La Sapienza”
P.le A. Moro 2
00185 ROMA
(Italy)
Tel.: ++39-06-49913483
Fax: ++39-06-4463158
carlo.tarsitani@roma1.infn.it

COURSE CLVII

M. POLINI
Scuola Normale Superiore
Piazza dei Cavalieri 7
56126 PISA
(Italy)
Tel.: ++39-050-509038
Fax: ++39-050-563513
m.polini@sns.it

Closing date for application: May 1st, 2003

Closing date for application: May 15th, 2003

Name and surname _____

Place and date of birth _____

Nationality _____

Male ☐ Female ☐

Degree _____

Date and place of acquisition _____

Present activity _____

Affiliation with complete postal address _____

Tel. _____ Fax _____

e-mail _____

Recommended by _____

(enclose a letter of reference from your research group leader or Professor testifying to your qualifications and interest in participating in the Course; enclose also list of publications)

I request student status ☐ I request observer status ☐

Date _____ Signature _____

IL NOSTRO MONDO

Nello spirito dell'impegno di raccogliere testimonianze e ricordi relativi alla fisica e ai fisici del novecento, presentiamo l'articolo di Acocella, Guerra e Robotti relativo al ritrovamento di un documento Fermiano. È un corollario alle precedenti pubblicazioni (Il Nuovo Saggiatore, Vol. 17, 5-6, 2001) sulle celebrazioni del centenario della nascita di Fermi.

Chiediamo con l'occasione a tutti i soci di segnalare l'eventuale documentazione di interesse storico, anche relativa a fatti recenti, reperibile presso il loro istituto.

LA SCOPERTA DELLA RADIOATTIVITÀ INDOTTA DA NEUTRONI: IL RITROVAMENTO AD AVELLINO DEL PRIMO QUADERNO DI LABORATORIO DI ENRICO FERMI

G. Acocella (*)

Gruppo di Storia della Fisica

Dipartimento di Scienze Fisiche

Università di Napoli "Federico II"

Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo

Via Cintia ed. G, I-80126, Napoli

F. Guerra ()**

Dipartimento di Fisica, Università di Roma

"La Sapienza", e INFN, Piazzale Aldo Moro, 2,

I-00185, Roma

N. Robotti (*)**

Dipartimento di Fisica, Università di Genova,

via Dodecaneso, 33, I-16146, Genova

1. – Introduzione

Nella Domus Galilaeana di Pisa, sono conservati i documenti originali relativi all'intensa attività scientifica che Enrico Fermi svolse in Italia, a partire dagli anni del Liceo (1918), fino alla partenza per gli Stati Uniti (1938). Il materiale era stato raccolto da Edoardo Amaldi, presso l'Istituto di Fisica dell'Università di Ro-

ma, e donato alla Domus Galilaeana di Pisa nel 1956 *"for future generations, beside other documents of men who have also honored mankind with their thoughts and experiments"* ⁽¹⁾.

Una rassegna completa di tutti i documenti disponibili nella raccolta è stata recentemente preparata da Matteo Leone, Nadia Robotti, e Carlo A. Segnini ⁽²⁾. Questo materiale può essere suddiviso in vari settori, che includono quaderni di appunti, quaderni di laboratorio, schede con registrazioni di dati sperimentali, manoscritti, dattiloscritti, corrispondenza, e documenti vari.

Dall'esame dei quaderni di laboratorio, e relativi alle ricerche sulla radioattività indotta da bombardamento di neutroni, si può facilmente notare che i quaderni danno una copertura completa di tutto il lavoro sperimentale eseguito, a partire dal 20 aprile 1934, fino alla fine del 1935. Poiché i primi lavori pubblicati da Fermi su questo argomento partono dal 25 marzo 1934, sembrerebbe che più di un mese di attività di ricerca, nella fase decisiva della scoperta, non abbia lasciato traccia scritta.

Recentemente, siamo stati in grado di ritrovare, in Avellino, un quaderno di laboratorio di Fermi, che copre proprio il periodo Marzo-Aprile 1934, e che permette quindi di riempire la lacuna precedentemente riscontrata.

In questo lavoro ⁽³⁾, diamo una breve descrizione delle circostanze del ritrovamento, e forniamo i primi elementi di analisi, che mo-

* e-mail: giovanni.acocella@tin.it

** e-mail: francesco.guerra@roma1.infn.it

*** e-mail: robotti@fisica.unige.it

strano come questo quaderno Irpino sia un documento molto importante per una completa ricostruzione della fase di scoperta della radioattività indotta da neutroni.

2. – Il ritrovamento del quaderno Irpino

Nella biblioteca dell'Istituto Tecnico per Geometri "Oscar D'Agostino" in Avellino, è conservata una raccolta di materiale, appartenuta al chimico Oscar D'Agostino, e donata nel 1978 dalla vedova, Signora Sofia Melograni, in occasione della decisione di intitolare la Scuola con il nome del marito, scomparso nel 1975. Questo materiale include la biblioteca personale di D'Agostino, estratti di articoli scientifici, alcune lettere, una collezione di ritagli di giornali sulla scoperta della radioattività indotta da neutroni e sull'energia nucleare, relativamente agli anni 1934-1975, e infine quattro quaderni di laboratorio, e 16 fogli staccati di quaderni di laboratorio. I quaderni di laboratorio coprono il periodo 1934-1935, quando D'Agostino era prima a Parigi, presso l'Institut du Radium, e poi, dalla fine di marzo del 1934, a Roma, come collaboratore di Fermi, relativamente alle procedure chimiche connesse con lo studio della radioattività indotta da neutroni.

Un primo elenco di questo materiale è stato preparato da uno di noi (Giovanni Acocella), e presentato al XXII Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia, tenutosi a Genova-Chiavari il 6-8 Giugno 2002. Nella relazione esposta⁽⁴⁾, GA ha osservato che il "Quaderno di laboratorio n° 4" contiene un lungo calcolo su alcune autofunzioni atomiche, certamente non attribuibile a D'Agostino. A seguito di questa relazione Nadia Robotti, basandosi sulla sua esperienza di lavoro sul materiale di Fermi depositato alla Domus Galilaeana, ha proposto di studiare accuratamente questo fondo archivistico e di confrontare i quaderni di laboratorio di D'Agostino con quelli di Fermi, in modo da ricostruire in maniera completa l'attività sperimentale condotta da Fermi e dai suoi collaboratori, sulla radioattività artificiale indotta da neutroni, e sugli effetti del loro rallentamento.

Francesco Guerra, che era presente al Congresso, ha partecipato all'iniziativa come consulente sulle questioni di fisica teorica e sulle procedure di laboratorio. Pertanto il 5 luglio 2002 è stata organizzata una visita ad Avellino.

Dopo un breve esame del quaderno classificato come "n° 4", è risultato immediatamente chiaro che esso apparteneva a Enrico Fermi, sia per la calligrafia che per il contenuto.

Da un lato del quaderno, infatti, sono chiaramente individuabili una serie di funzioni d'onda atomiche, che vengono poi utilizzate per calcolare la probabilità che un elettrone proveniente da un decadimento β sia assorbito su un orbitale atomico. La relativa formula, del tipo comunemente descritta come "Regola d'oro di Fermi", viene semplificata trattando l'elettrone nell'approssimazione non relativistica, e assumendo che il neutrino emesso abbia energia quasi uguale a quella dell'elettrone.

Dopo le prime quindici pagine con i calcoli teorici, il quaderno è stato girato nell'altro verso, ed è stato utilizzato per registrare appunti di laboratorio. In questo lato vi sono 141 pagine numerate da Fermi, con la prima data, corrispondente al 27 marzo 1934, scritta in cima alla pagina 44 (!), e l'ultima, del 24 aprile, alla pagina 140. Da pagina 1 a pagina 17, ritroviamo gli schemi elettrici di alcuni circuiti per contatori Geiger, con la ricostruzione delle caratteristiche delle valvole impiegate, e le registrazioni del fondo effettuate con contatori in varie condizioni di schermaggio e con varie tensioni applicate, in modo da trovare le condizioni ottimali di lavoro. Queste sembrano essere finalmente raggiunte a pagina 17. A questo punto iniziano le misure sui materiali irradiati con neutroni. La prima misura si riferisce al platino, seguono quindi l'alluminio, il ferro, il fluoruro di calcio, etc. Una tabella riportata nelle pagine 37, 38, 39 (fig. 1) riassume per tutti gli elementi chimici, sia i risultati raggiunti fino a quel momento, sia quelli riportati nelle pagine successive del quaderno (si noti il "si" oppure il "nulla" riportati accanto al simbolo di alcuni elementi).

È chiaro dunque che il quaderno, contenendo sia le operazioni preparatorie per l'esperimento, sia le registrazioni di tutte le misure fatte durante i mesi di marzo e aprile 1934, può essere considerato il primo quaderno di laboratorio di Fermi sulla radioattività indotta da neutroni. I quaderni alla Domus Galilaeana partono dal 20 aprile 1934 e possono essere considerati la sua prosecuzione.

Il quaderno contiene anche alcune registrazioni dell'attività residua del radon nelle sorgenti di neutroni utilizzate (per esempio la sorgente G1 alle ore 10 a.m. del 27 aprile contiene 80 millicurie, pag. 46).

1	H	nessuna			37
2	He				
3	Li	C	LiNO ₃ calcinare	65, 66, 67	SG
4	Be				
5	B				SG
	C	nessuna		47	
	N		Cianamide CN ₂ H ₂	71	
	O	nessuna			
	F	si		90, 28, 29	(di)
10	Ne				
	Na			49, 56	Li'
	Mg		Polvere metallica	70, 72	SG 5'
	Al	Al	57, 60	35, 36, 41, 42, 50, 32, 33	Li'
	Si			45, 50, 61	Li'
	P			74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 91	Li'
	S			55, 58, 67, 68	SG 5'
	Cl	<u>CCl₄</u>	CCl ₄		SG
	A				
20	K				
	Ca		Beside	48	
	Sc				
	Ti		Ti Cagliostro		
	V				
	Cr		metallo		
	Mn		Gross	64	
	Fe			49, 51, 59, 63	
	Co		CoO		
	Ni		20	76	
	Cu	72, 93			
30	Zn				
	Ga		Parmassus		
	Ge				
	As		20		
34	Se		Unità		

Fig. 1. - Quaderno di Fermi, pagina 37. Prima pagina della tabella degli elementi chimici contenente il riassunto dei risultati, con i richiami alle pagine dove sono registrate le varie prove.

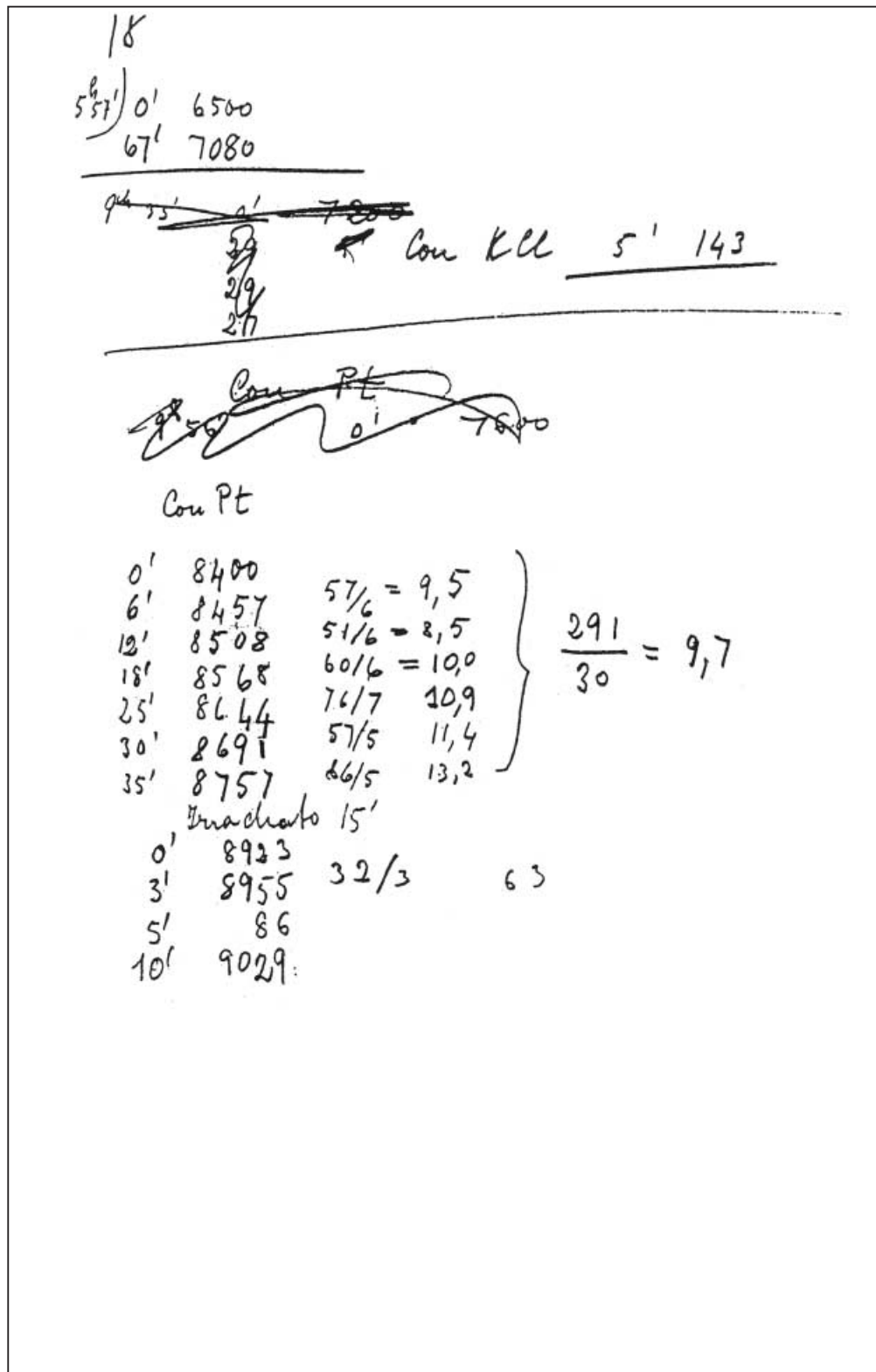


Fig. 2. – Quaderno di Fermi, pagina 18. Il platino è il primo elemento irradiato, con risultati negativi.

3. – La scoperta della radioattività indotta da neutroni ricostruita attraverso il quaderno Irpino

Prima di entrare in questa analisi, è opportuno ricordare, sulla base degli articoli originali, i risultati comunicati da Fermi, con le relative date di pubblicazione.

La scoperta della radioattività indotta da bombardamento di neutroni viene annunciata da Fermi per la prima volta in una “Lettera”, inviata alla Rivista del CNR, “La Ricerca Scientifica”, in data 25 marzo 1934, e pubblicata a pagina 283 del fascicolo del 15 marzo. Si noti che questa rivista veniva pubblicata ogni due settimane e la data di pubblicazione si riferiva all’inizio di questo periodo.

In questa Lettera, significativamente intitolata “Radioattività indotta da bombardamento di neutroni”⁽⁵⁾, Fermi dà subito una brevissima descrizione dell’apparato sperimentale utilizzato. Esso consiste in una sorgente di neutroni, realizzata introducendo all’interno di un piccolo tubo di vetro polvere di berillio e radon, e in un contatore Geiger, in grado di rivelare l’eventuale emissione β proveniente dalle varie sostanze, dopo che sono state sottoposte, per periodi più o meno lunghi, al bombardamento di neutroni. Fermi comunica che fino a quel momento l’esperimento ha dato esito positivo nel caso di due elementi, l’alluminio e il fluoro, con un tempo di dimezzamento dell’attività β rispettivamente di circa 12 minuti e di circa 10 secondi. La Lettera si conclude con un’interpretazione teorica in termini di cattura del neutrone da parte del nucleo irradiato, successiva emissione di una particella α , e conseguente formazione di un nucleo instabile in grado di avere un’attività β ritardata.

Questa Lettera è seguita da un’altra, dal titolo “Radioattività provocata da bombardamento di neutroni”⁽⁶⁾, pubblicata alle pagine 330-331 del fascicolo del 31 marzo della stessa rivista “La Ricerca Scientifica”. Questa seconda lettera non è datata. Comunque, confrontando i suoi contenuti con quelli di un’altra Lettera che Fermi invia a “Nature” in data 10 aprile, è ragionevole supporre che sia stata spedita intorno a questa data. Qui Fermi fa un resoconto sulla continuazione della propria ricerca, riportando i risultati positivi ottenuti nel caso degli elementi ferro, silicio, fosforo, cloro, vanadio, alluminio (in questo caso a conferma dei risultati della Lettera precedente gli elettroni β sono stati fotografati nella camera di

Wilson), rame, arsenico, argento, tellurio, iodio, cromo, bario. Un ulteriore accenno viene fatto agli effetti riscontrati nel caso degli elementi Na, Mg, Ti, Zn, Zr, Se, Sb, Br, La.

I risultati delle prime due Lettere alla “La Ricerca Scientifica”, vengono alla fine riportati in Inglese in una Lettera, dal titolo “*Radioactivity induced by neutron bombardment*”⁽⁷⁾, datata 10 Aprile, e pubblicata su “Nature” (vol. 133, pag. 757, 1934).

È possibile mostrare che il contenuto del quaderno Irpino consente una ricostruzione dettagliata di tutti i passi fatti da Fermi per giungere a questi risultati che, assieme alla scoperta dell’effetto del rallentamento dei neutroni, gli valsero, nel 1938, il premio Nobel per la Fisica. Di particolare interesse sono naturalmente gli esperimenti iniziali che hanno portato alla scoperta della radioattività indotta da neutroni. Qui di seguito cercheremo di ricostruire alcuni dei punti più rilevanti, riproducendo anche una selezione di pagine del quaderno.

Dopo aver messo a punto il contatore, a pagina 18, Fermi, contrariamente a quanto comunemente creduto, sceglie il platino come prima sostanza da irradiare (fig. 2). Innanzi tutto fa una misura del fondo su 35 minuti, ottenendo circa 9.7 conteggi al minuto, nei primi 30 minuti. Quindi irraggia il platino per 15 minuti. La differenza dei conteggi tra la fine della misura sul fondo (8757) e l’inizio delle misure sul campione di platino (8923) corrisponde approssimativamente a 17 minuti, giusto il tempo necessario per spostarsi nella stanza dove si trova la sorgente di neutroni, irradiare il campione per 15 minuti e ritornare nella stanza dove si trova il contatore. Infatti, è ben noto che le sorgenti radon-berillio, oltre che emettere neutroni, hanno anche un’attività γ molto intensa, che avrebbe certamente disturbato il contatore. Di conseguenza sorgente e contatore dovevano essere tenuti ben separati. Da notare che nell’interpretare queste misure, conoscendo il fondo, abbiamo potuto utilizzare il contatore come l’equivalente di un orologio. I conteggi sul platino irradiato vengono effettuati a intervalli di 3 minuti, 5 minuti, 10 minuti e non mostrano alcun effetto. I valori riscontrati, infatti, risultano statisticamente equivalenti al fondo.

Immediatamente dopo, a pagina 19, viene studiato l’alluminio (fig. 3). Come prima operazione viene misurato il fondo, che risulta di 10.5 conteggi al minuto. Il tempo di irraggiamento non è riportato, ma, sulla base dei conteggi registrati, può essere stimato intorno ai 20 minuti.

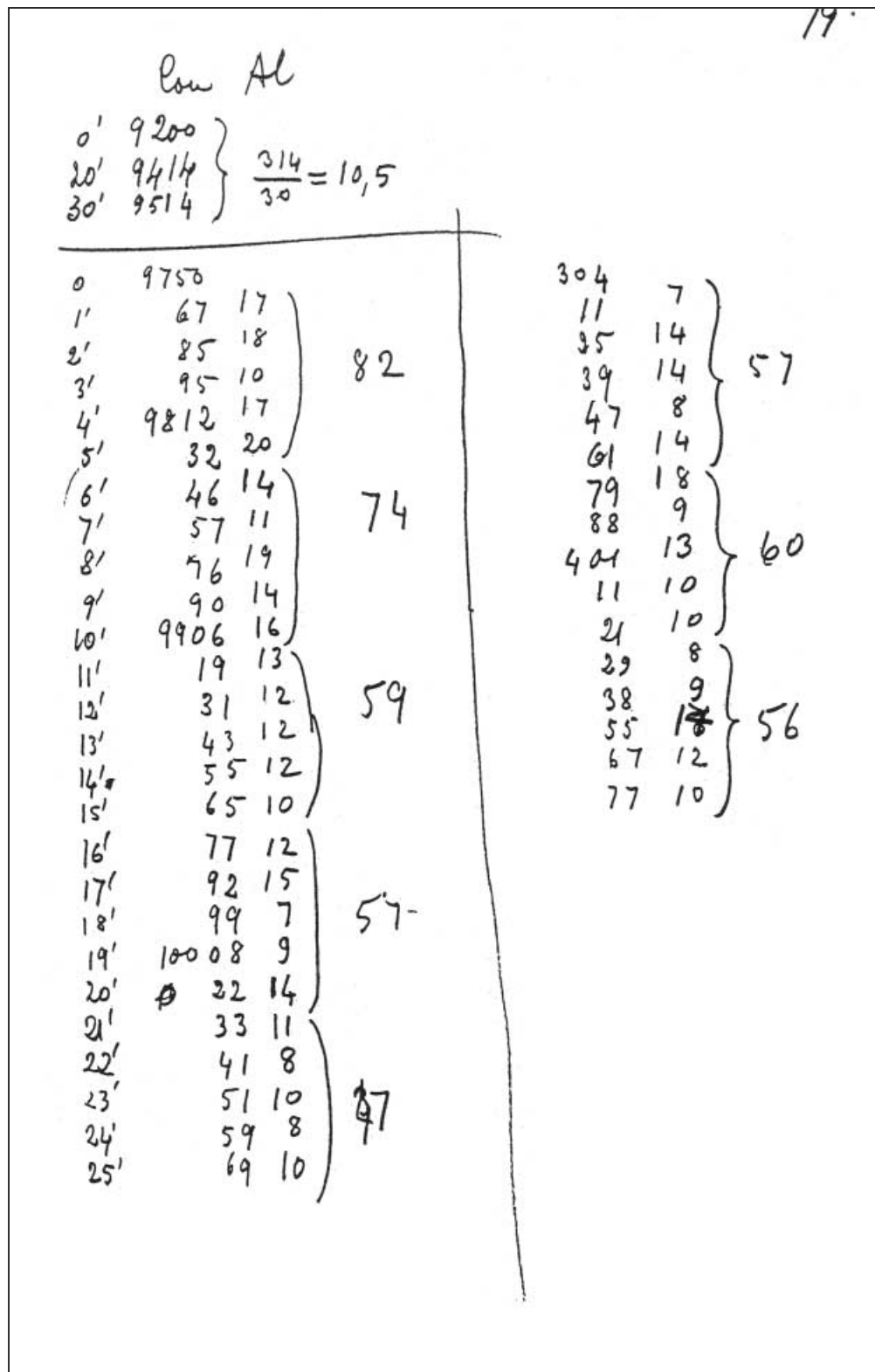


Fig. 3. - Quaderno di Fermi, pagina 19. L'alluminio mostra i primi risultati positivi.

Qui qualche effetto si vede. Infatti nei primi 5 minuti vengono rilevati 82 conteggi e nei successivi intervalli di 5 minuti rispettivamente altri 74, 59, 57 conteggi, mentre il fondo risultava dare, nello stesso intervallo di tempo, circa 50 conteggi. Nei giorni successivi le misure sull'alluminio vengono ripetute quattro volte, irradiando l'alluminio rispettivamente per 12 ore, per 3 ore e 30 minuti, per 90 minuti e infine per 15 ore e filtrando i neutroni attraverso uno spessore di piombo da 1 mm. I risultati sono riassunti a pagina 36 (fig. 4). Qui l'effetto è pienamente evidente, con un tempo di decadimento stimabile intorno ai 10 minuti, così come è stato comunicato da Fermi nella prima Lettera alla "Ricerca Scientifica".

A questo punto, dunque, la radioattività indotta da neutroni, nel caso dell'alluminio, è un fatto ben stabilito.

Il caso del fluoro è particolarmente significativo. Noi sappiamo che in questo caso l'effetto indotto corrisponde a una vita media di attività β dell'ordine di soli 10 secondi e che quindi è molto difficile da scoprire.

Il primo esperimento con il fluoro appare a pagina 21 e viene fatto con il fluoruro di calcio (CaF_2) dopo che è stato irradiato per 37 minuti. I conteggi vengono presi a intervalli di un minuto. I risultati sono dapprima negativi. Il successo viene raggiunto alle pagine 28 e 29. Prendendo sempre i conteggi ogni minuto, ma facendo una lunga serie di esperimenti, Fermi si accorge che nel primo minuto si hanno sistematicamente più conteggi che nei minuti successivi. A questo punto spezza il primo minuto in tre intervalli di 20 secondi ciascuno e inizia a registrare i conteggi ogni venti secondi nel primo minuto. La prima evidenza della radioattività indotta da neutroni nel caso del fluoro sembra essere scritta in fondo alla pagina 29 (fig. 5). Sommando i risultati di quattro esperimenti, riportati nella pagina precedente, ottiene 26, 17, 11 conteggi per ogni successivo intervallo di 20 secondi. La sottrazione del fondo, stimato intorno a 9.6 conteggi ogni 20 secondi, dà un effetto netto di 16.4, 7.4 e 1.4, ben compatibile con un decadimento esponenziale di vita media intorno ai 10 secondi. Questo risultato è confermato a pagina 35 (fig. 6) attraverso dieci serie di misure sistematiche, con conteggi presi ogni venti secondi nel primo minuto e, successivamente, dopo due minuti. A questo punto anche per il fluoro la radioattività indotta da neutroni diventa un fatto ben stabilito.

Pertanto, a una data corrispondente alle pagine 35, 36 del quaderno, tutte le prove necessarie per l'annuncio nella prima Lettera alla Ricerca Scientifica sono state raccolte.

Un'analisi analoga potrebbe essere fatta anche per le pagine successive del quaderno, ed essa mostrerebbe l'accumulo di dati sperimentali che hanno portato Fermi alla seconda Lettera alla "Ricerca Scientifica", e alla Lettera a "Nature".

Proseguendo nella lettura del quaderno, molte altre informazioni potrebbero essere tratte, ad esempio a proposito della formazione del gruppo di collaboratori, che, per più di un anno, affiancarono validamente Fermi nella ricerca di nuovi elementi radioattivi (Edoardo Amaldi, Oscar D'Agostino, Bruno Pontecorvo, Franco Rasetti, Emilio Segrè). Questi temi comunque esulano dagli obiettivi che ci siamo posti in questo lavoro. Qui semplicemente volevamo comunicare il ritrovamento di questo quaderno Irpino, e dare un'idea, attraverso i due esempi dell'alluminio e del fluoro, di come questo quaderno non solo sia fondamentale per capire le procedure sperimentali di Fermi, i suoi ritmi, il suo stile di lavoro, e le sue scelte strategiche, ma consenta anche di inquadrare in una giusta e più profonda prospettiva la fase di scoperta della radioattività indotta da neutroni.

4. – Osservazioni finali e problemi aperti

Il quaderno Irpino è un tipico quaderno di laboratorio, dove sono annotati i dati sperimentali, essenzialmente senza commenti o spiegazioni. Ad esempio non vi è alcun riferimento alle trasformazioni nucleari con le quali Fermi, nella prima Lettera alla "Ricerca Scientifica", cerca di spiegare gli effetti indotti nell'alluminio e nel fluoro. Neppure è spiegata la ragione per la quale, di fronte alla scoperta di una radioattività indotta in un campione di fluoruro di calcio, Fermi individui immediatamente il fluoro come l'elemento radioattivo. Resta anche da capire la ragione per cui la ricerca parta proprio con il platino, continui con l'alluminio, il piombo, il fluoruro di calcio, il rame, fino alla conferma dell'effetto nell'alluminio e nel fluoro (si veda al riguardo la successione delle pagine del quaderno riportate in fig. 1).

Un'altra questione ancora aperta è il legame tra i calcoli teorici relativi alla cattura di un elettrone β da un orbitale K contenuti all'inizio

36

Risultati sull'Al (3^a serie 4^a serie)

	Ogni 3' (3 ^a serie)	I	II	III	IV	4 ^a serie
3'	319	99 + 110 + 110			82	401
6'	257	74 + 91 + 92			78	335
9'	208	65 + 69 + 74			54	262
12'	209	64 + 58 + 87			57	266
15'	178	43 + 80 + 55			53	231
18'	173	51 + 60 + 62			48	221
21'	143	41 + 55 + 47			40	183
24'	136	45 + 47 + 44			45	181
27'	124	41 + 53 + 30			36	160
30'	124	34 + 49 + 41			38	162
33'	124	35 + 46 + 43			36	160
36'	120	35 + 46 + 39			31	151
39'	94	22 + 41 + 31			31	125

Fig. 4. – Quaderno di Fermi, pagina 36. Tabelle riassuntive dei risultati sull'alluminio.

del quaderno Irpino (si ricordi che la teoria di Fermi sul decadimento β è del 1933) e l'avvio dell'attività sperimentale, finalizzata alla ricerca

di un'attività indotta di tipo β , contenuta dall'altra parte del quaderno. Se si tiene poi presente che uno degli aspetti fondamentali della

16

29

Piccolo 8 min	Grande 9
93	146
53	84
70	79
78	70
51	59
$\frac{308}{5} = 62$	$\frac{285,9}{5,8} = 64$

26	17	11
9,6	9,6	9,6
16,4	7,4	1,4

Fig. 5. – Quaderno di Fermi, pagina 29. Prima registrazione dell'evidenza della radioattività indotta sul fluoro.

La F ₂				1'	2'		
(20" 40" 60")						0'	
34)	12	4	5	21	11	0'	5560
25)	8	3	5	16	16	9'	5653
00)	10	5	0	15	7		
95)	9	6	4	19	7		
01)	8	5	7	20	12		
01)	15	4	3	22	8		
1)	12	10	6	28	9		
26)	9	1	4	14	10		
74)	6	7	3	16	15		
22)	13	6	2	21	12		
102 51 39				192	107		

Al neutroni filtrati 1 mm Pb				Irradiato 15 ore	
0'	5862				
1'	5894	32	82		
2'	5923	29			
3'	5944	21			
4'	5972	28	78		
5'	5999	27			
6'	6022	23			
9'	6076		54		
12'	6133		57		
15'	6186		53		
18'	6134		48		
21'	6274		40		
24'	6319		45		
27'	6355		36		
30'	6393		38		
33'	6429		36		
36'	6460		31		
39'	6491		31		
49'	6578	87.3 = 26,1			
59'	6663				

79'	6748
-----	------

Fig. 6. - Quaderno di Fermi, pagina 35. In alto conferma definitiva della radioattività indotta sul fluoro.

teoria di Fermi sul decadimento β è la connessione tra l'energia massima dell'elettrone emesso e la vita media del nuclide, connessione che per altro Fermi era riuscito a verificare soltanto per un numero molto ristretto di nuclidi (quelli naturali), si potrebbe addirittura pensare che Fermi nel cercare di produrre la radioattività artificiale tramite neutroni avesse come obiettivo anche quello di riuscire a produrre nuovi nuclidi sui quali poter verificare la propria teoria. Insomma, il legame tra la teoria sul decadimento β e la scoperta della radioattività indotta da neutroni potrebbe essere non solo temporale, ma anche profondamente concettuale.

Certamente, un confronto tra il contenuto del quaderno Iripino e i contenuti dei due quaderni di appunti, scritti da Fermi nell'arco degli anni 1933-1934 e conservati alla Domus Galilaeana, potrebbe aiutarci a risolvere le questioni sopra segnalate.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Fondazione "Oscar D'Agostino" e il Preside dell'Istituto Tecnico per Geometri "Oscar D'Agostino", in Avellino, per averci dato il permesso di consultare il loro archivio e di riprodurre alcune pagine del quaderno di Enrico Fermi.

Bibliografia

- (1) E. AMALDI, *The Fermi Manuscripts at the Domus Galilaeana*, *Physis*, **I** (1959) 69-72.
- (2) M. LEONE, N. ROBOTTI e C. A. SEGNINI, *Fermi Archives at the Domus Galilaeana in Pisa*, *Physis*, **XXXVII** (2000) 501-533.
- (3) Un primo resoconto su questo argomento si trova in: G. Acocella, F. Guerra, N. Robotti, *Enrico Fermi's discovery of neutron-induced artificial radioactivity: the recovery of his first laboratory notebook*, *Physics in Perspective*, in corso di stampa.
- (4) G. ACOCCELLA, *La donazione Oscar D'Agostino*, *Atti del XXII Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia*, Genova-Chiavari, giugno 2002, in corso di stampa.
- (5) E. FERMI, *Radioattività indotta da bombardamento di neutroni*, *La ricerca Scientifica*, **5** (1934) 283; ristampato su: Edoardo Amaldi, Enrico Persico, Franco Rasetti e Emilio Segrè (Editors), *Enrico Fermi, Collected Papers (Note e Memorie)*, Vol. I. Italy 1921-1938 (University of Chicago Press, Chicago and Accademia Nazionale dei Lincei, Roma) 1962, pp. 645-646.
- (6) E. FERMI, *Radioattività provocata da bombardamento di neutroni*, *La ricerca Scientifica*, **5** (1934) 330-331; ristampato su: E. Amaldi, et al., *Collected Papers*, pp. 702-703.
- (7) E. FERMI, *Radioactivity Induced by neutron Bombardment*, *Nature*, **133** (1934) 757; ristampato su: E. Amaldi, et al., *Collected Papers*, pp. 702-703.

STORIA DELLA FISICA E FORMAZIONE DEL FISICO (*)

S. Bergia

Dipartimento di Fisica Università di Bologna e INFN, Sezione di Bologna

1. – Storia della fisica e ricerca

Nel 1983 si tenne in una località turistica della Costa Brava un convegno dal titolo *Symmetries in Physics*¹. L'idea era di mettere a contatto per l'occasione alcuni dei grandi autori che avevano contribuito agli sviluppi recenti sul tema in questione e storici della fisica, che da un lato fossero in grado di presentare un quadro delle ricerche condotte in passato sul tema, dall'altro, dall'ascolto delle relazioni dei fisici militanti, potessero trarre elementi per le loro ricerche. Fra questi ultimi, ricordo che erano presenti Edoardo Amaldi, Val L. Fitch, Murray Gell-Mann, Feza Gürsey, Louis Michel, Yuval Ne'eman, Valentine Telegdi, Eugene Wigner. Fu un'occasione felice, nel senso che se da un lato gli storici ascoltarono con ovvio interesse i fisici, dall'altro anche questi ultimi si mostrarono molto interessati alle ricostruzioni storiche di periodi pregressi. Ma venne un pomeriggio di discussione libera, nel corso del quale uno dei temi affrontati fu quello della rilevanza della conoscenza della storia della fisica per la ricerca attiva. E qui il coro dei ricercatori fu unanime: la storia della fisica, delle scienze in generale, va perseguita per se stessa, e, se ben condotta, può risultare di grande interesse; ma la sua rilevanza per la ricerca e per la stessa formazione del ricercatore è nulla.

Uno degli aspetti del conformismo è, credo, la tendenza a reagire ad ogni presa di posizione che suoni minimamente provocatoria con la proposizione di un punto di vista largamente conciliativo. In questo caso essa tenderebbe a farci replicare qualcosa come: "È un episodio divertente; c'è probabilmente anche qualcosa di vero in quella conclusione; ma via, sappiamo che in fondo non è vero!" Bene: non ne sono tanto sicuro. Anzi, se quello a cui pensiamo è il lavoro consueto di ricerca, credo che i fisici avessero fondamentalmente ragione.

Cerco di spiegare in che senso. Tutti noi ab-

* Relazione al Congresso SIF di Alghero

¹ Gli atti sarebbero stati pubblicati qualche anno dopo (¹).

biamo vissuto, e in molti casi stiamo ancora vivendo, una vita di ricerca in fisica; non importa, per il punto che voglio fare, a che livello. Ebbene, se ci riflettiamo un momento, che cosa abbiamo avuto, o abbiamo, di norma in mente quando ci coglie l'idea di un possibile esperimento o di un possibile sviluppo teorico, o fisico-matematico che dir si voglia? Che cosa se non il contesto attuale della ricerca nel più o meno ampio settore nel cui ambito si è colto il problema? O almeno: mi sembra che questo sia ciò che accade nella grande maggioranza dei casi. Si potrà dire, in un accesso di modestia: va bene, questo è vero per noi, ma non è così per i grandi, quelli che la storia della fisica l'hanno fatta in prima persona. Ebbene, non sono sicuro neanche di questo. Michelson, per fare un nome, non ebbe bisogno, per concepire il suo esperimento, di andarsi a studiare la storia dell'etere dagli antichi a Cartesio e da questi a Maxwell. Gli bastava l'idea, che era sul tappeto, di confrontare la velocità della luce su percorsi perpendicolari e la consapevolezza che si poteva fare col suo interferometro. Né, per farne un altro, a Bohr, nel 1913, fu necessario, per concepire il suo modello dell'atomo d'idrogeno, rinfrescarsi la memoria sulla storia dell'atomo in chimica o sulla estenuante discussione intrattenuta fra Oswald e gli energetisti da un lato e Boltzmann dall'altro sulla stessa esistenza dell'atomo: lo sfondo a cui guardava erano i risultati della spettroscopia e quelli dell'esperimento di Geiger e Marsden voluto da Rutherford.

Ci sono tuttavia casi che si sottraggono alla conclusione di quei fisici militanti. Giuseppe Giuliani me ne ha ricordati due² che val la pena di menzionare. Il primo ha a che fare con lo spin dei fotoni. Esso fu di fatto posto sperimentalmente in evidenza da Richard Beth nel 1936⁽²⁾. Come ricorda Giuliani, esso ha fornito un riferimento per una ripresa recente in termini teorici e sperimentali (Cfr. per esempio⁽³⁾). Il secondo affonda le sue radici in un episodio del lontano 1907, quando Kurd von Mosengheil⁽⁴⁾, su suggerimento di Planck, affrontò il seguente problema: un osservatore è in moto rettilineo uniforme in una cavità isoterma: come gli appare la radiazione di corpo nero contenuta nella

cavità? La risposta di Mosengheil sarebbe stata tenuta presente per l'analisi dell'anisotropia di dipolo presentata dalla radiazione del fondo cosmico a microonde³.

Un altro episodio è quello che coinvolge John Bell. Nel 1964 egli stabilì il suo famoso teorema, quello che asserisce che nessuna teoria locale di variabili nascoste può riprodurre l'intera statistica delle misure prevista dalla meccanica quantistica. Si giovò, per giungere al risultato, della versione, dovuta a Bohm (1952), dell'esperimento mentale di Einstein, Podolski e Rosen (1935). Anche qui gli anni intercorsi sono molti. E i documenti esaminati non facevano parte del presente di Bell, che, detto per inciso, era costituito dagli esperimenti in corso al CERN.

Questi casi ci insegnano che quando il lavoro contemporaneo verte su questioni che toccano i fondamenti della disciplina esso richiede la conoscenza di come esse sono state affrontate in un passato anche abbastanza lontano. Ciò che ci viene a dire è che vi sono terreni di ricerca relativamente ai quali una buona dose di cultura storica non fa male.

Il caso di Bell ci propone un'altra riflessione: proprio quanto sommariamente ricordato su quello che ho chiamato il suo "presente" ci dice che, in buona sostanza, quando lavorava alle questioni fondazionali ricordate, egli stava sostanzialmente coltivando un suo *hobby*. Ci è — credo — abbastanza chiaro che questo non è concesso a tutti, specie all'inizio di una carriera di ricerca. Non sembra quindi un atteggiamento responsabile quello di consigliare ai nostri giovani laureandi o dottorandi di impiegare parte consistente del loro tempo a compulsare la storia alla ricerca di grandi temi di ricerca. Le conoscenze acquisite possono fornire materia ancora viva da cui trarre *anche* spunti per nuove ricerche — per citare le parole impiegate da Giuliani nella sua lettera al presidente in cui formulava la sua proposta di una relazione su questi temi — ma questa sembra essere più l'eccezione che la regola e il più delle volte lo studio della storia della fisica appare piuttosto come un lusso da tempo libero che può permettersi qualche ricercatore che si sia nel frattempo assicurato il pane quotidiano.

² G. Giuliani, comunicazione via mail del 10.8.2002. Tutte le informazioni che riporto qui le ho tratte dal suo messaggio.

³ V., per esempio, la breve discussione in Ohanian e Ruffini⁽⁵⁾ p. 461.

2. – Storia della fisica e formazione in fisica⁴

La ricerca è una cosa, l'altro nostro compito istituzionale fondamentale, la didattica, un'altra. Sui rapporti fra storia della fisica e “*physics education*” si è detto e scritto molto. Una tappa importante fu segnata dallo *Harvard Physics Project*, ideato e sviluppato nei primi anni '60 da Gerald Holton, James Rutherford e Fletcher Watson.

La linea proposta con lo Harvard incontrò, come ricorda Michael R. Matthews⁽⁶⁾, due tipi di opposizione, curiosamente entrambi provenienti dall'ambiente degli storici. La prima, formulata da Martin J. Klein, basata sull'osservazione che la storia che si sarebbe dovuta necessariamente utilizzare sarebbe stata comunque una storia *ad usum delphini*, una pseudo-storia; e, pensava lo storico, meglio nessuna storia che una cattiva storia. Thomas S. Kuhn (nella suo famoso libro *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*) precisava poi che — in contrasto con le norme di una storiografia che voglia dirsi scientifica — si sarebbero dovuti presentare gli antichi autori come impegnati nello stesso tipo di problemi in cui lavorano gli autori odierni. E Steven Brush, in un saggio del 1974, affermava che la storia della fisica avrebbe potuto avere una cattiva influenza sugli studenti in quanto poteva minare le certezze del dogma scientifico così utili per tener vivo l'entusiasmo dei neofiti.

In ogni caso, posto che ciò che è in gioco è il ruolo possibile della storia delle scienze nell'apprendimento, è di interesse centrale una questione dibattuta da tempo: se vi sia un legame tra lo sviluppo cognitivo individuale e il processo di sviluppo storico della disciplina. La questione ha illustri premesse, ma la sua precisa codificazione si trova probabilmente nell'*Epistemologia genetica* (1970), di Piaget, in cui si afferma:

“L'ipotesi fondamentale dell'epistemologia genetica è che c'è un parallelismo fra il progresso fatto nell'organizzazione logica e razionale della conoscenza (storia della scienza) e i corrispondenti processi psicologici formativi”.

Fu lo stesso Kuhn a popolarizzare fra storici e

⁴ Provo a rendere così l'efficace *Physics Education*. L'espressione non è un sinonimo di quella usata nel titolo.

filosofi della scienza la tesi “l'ontogenesi cognitiva ricapitola la filogenesi scientifica”⁵. Essa ha trovato la sua conferma in studi di vari autori, attivi nel campo della didattica della fisica, che hanno sistematicamente riscontrato come le descrizioni “intuitive” (di senso comune) degli allievi, quando esse non siano state cancellate dall'insegnamento (a meno che non permangano ostinatamente anche dopo) appaiano largamente sovrapponibili a stadi di accostamento ai problemi tipici delle prime fasi di studio compiute da autori del passato (McCloskey⁽⁷⁾, Casadio *et al.*⁽⁸⁾, La Rosa, Mayer⁽⁹⁾, Galili, Hazan⁽¹⁰⁾).

Potrebbe seguirne una troppo facile indicazione: visto che le difficoltà che incontra il singolo allievo ad afferrare i concetti sono analoghe a quelle incontrate nello sviluppo storico, perché non prenderlo per mano e condurlo, nell'insegnamento, attraverso le tappe di quello sviluppo? Perché, in altre parole, non proporsi di presentare l'intero corpo della fisica secondo le linee del suo sviluppo storico?

Prima di interrogarci sul senso e la correttezza di una tale operazione, mi sembra il caso di prendere atto che questa *non* è stata la risposta generale dei ricercatori in didattica della fisica. I didattici della fisica continuano giustamente a preoccuparsi dei blocchi mentali che si oppongono a una corretta comprensione dei concetti, ma ne traggono incentivo per studi specifici sulle origini di tali blocchi e sui modi per superarli, senza concludere affatto che l'insegnamento secondo linee storiche sia lo strumento adatto per il secondo di questi fini. Caso mai si pongono la domanda se la comprensione di quei meccanismi non possa aiutare lo storico a comprendere processi che possono aver influenzato lo sviluppo storico. Si veda, al proposito, la frase conclusiva del citato articolo di McCloskey: “...lo studio delle teorie intuitive [di senso comune] e dei processi con cui esse vengono acquisite e modificate si dimostra promettente per lo sviluppo dei migliori metodi educativi e può aiutarci anche a mettere in luce i

⁵ Matthews, *op. cit.*⁽⁶⁾, p. 33. La terminologia è evidentemente presa a prestito dalle scienze biologiche, con qualche spostamento di significato. Lo Zingarelli reca le definizioni: *Filogenesi* — storia dello sviluppo evolutivo degli organismi viventi dall'epoca della loro comparsa sulla Terra ad oggi; *Ontogenesi* — il complesso dei processi di sviluppo dell'individuo dall'uovo fecondato allo stadio di stato adulto.

fattori che hanno influenzato lo sviluppo storico di teorie scientifiche formali.”

Nel frattempo anche le posizioni di rifiuto totale di alcuni storici si sono stemperate. In un saggio recente, ha scritto un altro eminente storico della fisica, John Heilbron: “... i materiali storici possono essere utili, persino indispensabili, nella formazione (*education*) scientifica ammesso — e questa è una precisazione della massima importanza — ammesso che siano usati per inculcare la scienza, non la storia”⁽¹¹⁾.

Si fa dunque una distinzione fondamentale fra due questioni distinte: se una conoscenza più o meno approfondita dei vari capitoli della fisica può risultare profittevole nella didattica; e se tutto l'insegnamento debba per ciò stesso seguire il filo degli eventi storici.

La conclusione sembra essere che, mentre la storia della fisica può, e forse deve, essere d'ausilio nella didattica della fisica, da nessuno viene l'indicazione netta che tutto l'insegnamento debba seguire il filo degli eventi storici. Vi sono anzi voci in netta controtendenza, come quella assunta dal gruppo che ha elaborato il Karlsruhe Physics Project⁶, basato su tre idee chiave, la prima delle quali è così espressa nell'Introduzione: “Lo sviluppo della fisica ha seguito un cammino intricato. Nell'insegnamento, noi imponiamo ai nostri studenti di seguire questo cammino sebbene vi siano vie più brevi e più facili per raggiungere gli stessi obiettivi. Abbiamo tentato di eliminare questi fardelli storici dal programma del corso di fisica.”

E forse non a caso, mentre è sotto gli occhi di tutti che testi sia liceali sia universitari tengono ben presente aspetti dello sviluppo storico, di norma l'esposizione della materia non avviene secondo il filo conduttore della storia.

3. – Il recupero della dimensione storica: i corsi curricolari di storia della fisica e i corsi della SSIS. L'importanza della storia della fisica per la formazione degli insegnanti.

Se questa è la tendenza generale, vi sono però casi e situazioni per i quali un ampio recupero della dimensione storica della nostra disciplina diventa molto importante. Come tale, credo, è sentito da quei nostri studenti che, abbiano

scelto o meno quello che, nella laurea quadriennale, si chiamava indirizzo didattico, inseriscono l'esame di storia della fisica nei loro piani di studio. Avendo fatto parte per svariati anni a Bologna della commissione d'esami⁷, ho avuto modo di verificare in una consistente maggioranza di casi che c'è negli studenti una viva curiosità per i personaggi e le vicende della storia, un vivo desiderio di sapere come, di fatto, si è giunti a quel risultato o a quella formulazione. L'insegnamento di storia della fisica è scelto da diversi studenti che sentono il bisogno di collocare le conoscenze via via acquisite dalla fisica nel contesto storico in cui germinarono. E sarebbe, credo, un vero peccato se con l'avvento dei percorsi formativi della laurea specialistica calasse sensibilmente la percentuale degli studenti che scelgono quel corso. Detto per inciso, credo che i corsi di storia della fisica inseriti nel *curriculum* per la laurea in fisica siano una nota di merito del bistrattato sistema italiano (che di meriti ne ha, a mio avviso, molti altri che non sono strettamente in tema).

Non dobbiamo tuttavia dimenticare che la storia della fisica ha da tempo in Italia una piccola schiera di cultori, in prevalenza fisici di formazione — evidentemente non senza relazione con il contesto appena accennato —, che ha saputo affermarsi a livello internazionale per la qualità dei suoi contributi. E un eventuale ridimensionamento del numero dei corsi di storia della fisica attivati presso i corsi di studio delle diverse sedi andrebbe anche a detrimento di un altro compito istituzionale riconosciuto della nostra laurea: quello di poter portare anche alla formazione di ricercatori nel campo della storia della fisica⁸.

Il recupero della dimensione storica può svolgere un ruolo molto importante, anche da un punto di vista istituzionale, nel campo della formazione degli insegnanti.

Per le SSIS, le Scuole di specializzazione all'insegnamento secondario, l'esigenza è stata prima di tutto sentita dal corpo docente. In chi, per anni, si è adoperato perché si desse vita a questo canale di reclutamento dei docenti della scuola secondaria era chiaro in partenza che il problema non era quello di ritornare a impartire

⁷ Per il corso tenuto da Giorgio Dragoni.

⁸ Ringrazio Pasquale Tucci, Presidente della Società Italiana per la Storia della Fisica e dell'Astronomia (SISFA), per un intervento in questo senso al termine della mia relazione.

⁶ Ringrazio Luigi Brasini per la segnalazione.

insegnamenti già seguiti, dunque di riproporre una didattica curricolare⁹. Ma che, caso mai, si trattava da un lato di fornire ai corsisti strumenti atti alla formazione di un docente, dall'altro di fornir loro una via per far loro riesaminare i contenuti di quegli insegnamenti in una chiave storico-critica più ampia. Il discorso, peraltro — almeno per quanto riguarda i laureati in matematica che intendono conseguire l'abilitazione all'insegnamento della matematica e della fisica — non finisce qui: mi spiace doverlo dire, che ci sia o meno qualche matematico fra il pubblico, ma il fatto è che spesso, o forse di norma, parecchi laureati in matematica possono ben sapere qualcosa di fisica, ma non sanno *che cos'è* la fisica. La sensazione vaga che sembra pervaderli, e che a volte trasmettono con le parole, è che si tratti di un campo di applicazione della matematica. Che sarà anche vero; ma che tende a far passare in secondo piano che, nel caso della fisica, dobbiamo fare i conti con un mondo fuori di noi e con una sua realtà. Dipende anche da questo che, mentre in matematica, prima di fare un passo, le cose si devono — e si possono — definire bene, la fisica non è fatta, né può esserlo, di definizioni esatte. Perché ogni definizione che tentativamente si dà dipende comunque da un pregresso di indagini e sistemazioni sovente provvisorie — perché da qualche parte bisogna pur cominciare — ed è quindi dipendente dal contesto; nonché a sua volta provvisoria. E io mi sono sentito a volte gratificato quando qualcuno di loro mi ha detto di aver capito che la fisica è una cosa difficile, e non perché gliela avevo resa tale io (o almeno non solo per questo).

La fisica deve dunque, per questo tipo di discenti, essere rivisitata, con l'intento di far loro cogliere che cos'è che la rende la disciplina che è: un'impresa umana, in perenne via di ristrutturazione e approfondimento, anche in un fecondo scambio con il mondo della tecnica, e non un ricettario confinato in un manuale, una specie di Artusi in cui le formule prendono il posto delle ricette. Affinché, permeati di queste idee, possano trasmettere un'idea più adeguata della disciplina ai loro futuri studenti.

⁹ Si deve peraltro ricordare che nelle SSIS è relativamente alto il numero dei laureati in matematica che cercano l'abilitazione all'insegnamento di matematica e fisica nei licei. Questi discenti non hanno seguito i corsi di Istituzioni di Fisica Teorica, Struttura della Materia e Fisica Nucleare e Subnucleare. A questo si cerca di ovviare col sistema dei debiti.

Gli insegnamenti di “Didattica Disciplinare” previsti dalle SSIS — insegnamenti nei quali contenuti disciplinari emblematici sono riletti e affrontati in prospettiva di insegnamento (loro rilevanza e significato culturale, difficoltà di apprendimento degli studenti, ambienti e strategie di insegnamento/apprendimento, ecc.)¹⁰ — oltre a provvedere basicamente alla prima istanza ricordata sopra (quella di fornire ai corsisti strumenti atti alla formazione di un docente), concorrono anche a questo fine.

Ma quale miglior via, per far cogliere questo punto centrale, che quella di una rivisitazione di episodi chiave della storia della fisica, scelti fra quelli che meglio possono far cogliere che cosa sia la fisica come processo, in contrapposizione alla fisica come elenco? O, nelle parole di un saggio del 1993 di Hodson, riprese da Seroglou e Koumaras⁽¹²⁾, che determinino “lo spostamento dall'insegnamento della scienza come un corpo di conoscenza stabilito verso l'esperienza della scienza come metodo per generare e convalidare (omologare) tale conoscenza”.

In ogni caso, gli ordinamenti degli studi hanno tagliato la testa al toro, prevedendo corsi che di norma hanno l'espressione storia della fisica nella denominazione.

E però, se pure è una rivisitazione della storia che può far capire che cosa sia la fisica a chi non si sia posta la domanda, ci si deve anche domandare che tipo di storia sia quella più indicata per lo scopo.

Ebbene, non pare che sia la storia degli aneddoti, né quella delle dispute sulle priorità, e nemmeno la storia delle istituzioni scientifiche. Dovrà piuttosto trattarsi di una storia che, sulla base di esempi, faccia intendere quali siano le caratteristiche, per dirla in linguaggio popperiano, ma intendendone la più ampia interpretazione possibile, della logica della scoperta scientifica. Può allora essere la storia degli storici? La mia impressione è che, almeno per un aspetto, che peraltro è forse quello maggiormente connotativo, debba finire per essere quel tipo di storia che Klein e Kuhn pensavano fosse meglio lasciar da parte: quella storia, per dirla con Kuhn, in cui si devono “presentare gli antichi autori come impegnati nello stesso tipo di problemi in cui lavorano gli autori odierni”.

¹⁰ Ringrazio Nella Grimellini Tomasini e Olivia Levrini per un importante chiarimento a questo proposito.

4. – Diacronico e sincronico nella storiografia della fisica. La storia della scienza e le sue ricostruzioni razionali.

Nella sua *Introduzione alla storiografia della scienza* ⁽¹³⁾, Helge Kragh chiama sincronica la concezione di una storiografia secondo la quale la scienza del passato dovrebbe essere studiata alla luce delle conoscenze che possediamo oggi. E dice che raramente, al giorno d'oggi, questa concezione si configura come una strategia storiografica cosciente. In maniera più esplicita, avrebbe potuto dire che essa è vista come un gravissimo errore metodologico, come anatema, dagli storici professionisti. La storiografia delle scienze deve essere diacronica: la scienza del passato deve essere studiata alla luce delle situazioni e delle concezioni reali dell'epoca. Lo storico che segue questa impostazione non è dunque interessato ad appurare se gli autori che studia produssero una vera, reale conoscenza in senso moderno. La storiografia che Kragh chiama sincronica è altrimenti nota come storiografia *Whig*: secondo Herbert Butterfield, che coniò il termine, "lo studio del passato [...] con un occhio al presente". La ragione della denominazione va cercata nella presenza, nell'Inghilterra dell'epoca, di una tradizione storiografica che descriveva la storia dell'Inghilterra come un progresso continuo verso gli ideali democratici che si ritenevano rappresentati dal partito *Whig*.

Ebbene, dubito molto che una storiografia pienamente diacronica possa essere d'ausilio per gli scopi che ci si prefiggono in questi corsi. Prendiamo, per esempio, un'opera importante, dovuta a un autore che ha il merito fondamentale di avere analizzato — diacronicamente — manoscritti originali di Galileo, apportando elementi decisivi alla soluzione della questione, sollevata da Koyré, se egli avesse o no eseguito i suoi esperimenti come esperimenti reali: *Galileo pioniere della scienza*, di Stillman Drake ⁽¹⁴⁾. Ebbene, che cosa ci è dato trarre dalla lettura del libro? Io ne ho tratto la conclusione che Galileo fece davvero i suoi esperimenti, cosa che mi conforta. Ma nessuna, dico nessuna, possibile indicazione didattica. Troverei totalmente privo di senso che un docente dovesse impiegare ore su ore per far capire a uno studente che cosa si celi dietro una frase come la seguente:

"Con l'espressione 'momento della velocità' Galileo intendeva quel fattore del 'momento' che deriva dalla velocità e non dalla 'gravità' (o pe-

so). Quando distingueva l'altro fattore del 'momento', Galileo usava l'espressione 'momento della gravità'. L'espressione 'grado di velocità', di origine medievale, denotava una misura di velocità attraverso una distanza, cioè durante un intervallo di tempo"¹¹.

Alla fine sarebbe stato inculcato allo studente qualcosa sulla storia della fisica, ma difficilmente qualcosa di utile sulla fisica: esattamente l'opposto di quello che Heilbron indicava come fine dell'uso di materiali storici nell'insegnamento. Ma non mi sembra neppure che la faccenda si esaurisca qui. Perché anche noi, prima di chiunque altro, dovremmo capire che cosa dice Galileo, e, che lo vogliamo o no, che lo ammettiamo o no, lo capiamo solo se evochiamo, dal retro della nostra mente, una $v = at$ e/o una $s = \frac{1}{2}at^2$, che Galileo non scriveva ma neppure pensava.

Per i fini didattici che sono qui in discussione sembra raccomandabile una prassi di questo tipo:

- 1) analisi previa dei testi;
- 2) traduzione nel nostro linguaggio
- 3) riproposizione in questo linguaggio del testo storico;
- 4) sottolineatura dei principali elementi di anacronismo introdotti.

(quest'ultima operazione non è soltanto un alibi: se ben condotta può valere a far comprendere, ma anche a giustificare, l'errore metodologico che si commette).

Un importante saggio di Imre Lakatos *La storia della scienza e le sue ricostruzioni razionali* ⁽¹⁵⁾ si apre con una parafrasi kantiana: "La storia della scienza senza la filosofia della scienza è cieca; la filosofia della scienza senza la storia della scienza è vuota". Prendendo l'avvio da essa, nel suo articolo Lakatos intende spiegare "come la storiografia della scienza dovrebbe imparare dalla filosofia della scienza e viceversa."

Mi soffermo qui sulla prima parte della parafrasi. Per Lakatos la storiografia delle scienze deve essere guidata dai lumi dell'una o dell'altra epistemologia, così da permettere quella che egli chiama una ricostruzione razionale della storia; che, in altri termini, è una storia "inter-

¹¹ Drake⁽¹⁴⁾, *op. cit.*, p. 110.

na”, interna alla logica della scoperta propria di quella epistemologia.

Deve essere chiaro che non è quello che si sta qui proponendo: quando si invoca la necessità di una rilettura sincronica non si sta per questo sposando un’epistemologia specifica. La prima parte della parafrasi può dunque essere intesa genericamente: è la consapevolezza — supposto che ce l’abbiamo — di che cosa sia importante per capire che cos’è la scienza, o una specifica disciplina scientifica, che ci può guidare nella scelta di temi storici da affrontare. Ma anche a questo livello generico si capisce come la filosofia della fisica possa essere importante per questo tipo di storiografia.

Mi pare che chi si è occupato dell’ordinamento degli studi per questi corsi abilitanti delle SSIS di ciò sia stato ben consapevole. A Bologna e a Bressanone mi sono trovato a dover tenere corsi, o moduli per corsi, intitolati rispettivamente Epistemologia e storia della fisica e, semplicemente, Epistemologia. Epistemologia è stato da me ed altri interpretato nella seconda, e più corrente, delle accezioni, cioè come filosofia della scienza (e anzi è da notare come la terminologia finisca per risultare ridondante).

Ma, secondo gli slogan di Lakatos, è vero anche il viceversa: che cioè una conoscenza della storia della fisica possa essere importante, o fondamentale, per la filosofia della fisica. Questo tema è marginale rispetto a quello generale di questa relazione. Lo affronto in una digressione che mi sembra possa essere interessante.

5. – Storia della fisica e filosofia della fisica

Anche la seconda parte della parafrasi kantiana di Lakatos, “la filosofia della scienza senza la storia della scienza è vuota”, ammette una lettura immediata: la filosofia della scienza compie quelli che in inglese di norma si chiamano *case studies*, ha dunque bisogno di casi specifici con i quali porre a confronto le categorie elaborate.

Ma, a ben guardare, credo che questa sia un’interpretazione riduttiva del motto lakatosiano. Per capirne l’implicita portata, proviamo a domandarci che cos’è la fisica. Dire: “È quella che facciamo noi” è già una risposta, meno ingenua di quanto potrebbe sembrare a prima vista; meno ingenua ancora è la risposta: “È la disciplina che segue il metodo galileiano”. Ma, nell’uno come nell’altro caso, non si sta forse di-

cendo che la fisica non è definita in modo astratto, aprioristico, ma in riferimento ad una prassi storica? Non appare allora più opportuno ripercorrere la storia della fisica, nelle sue varie tappe, per cogliervi per così dire dal vivo quali elementi siano andati definendola di fatto? Pragmaticamente, possiamo allora, concordemente con la seconda risposta riportata sopra, cominciare l’analisi proprio da Galileo e dai suoi esperimenti. Analizzando la prassi seguita da lui e dai suoi successori riusciremo forse a individuare gli elementi di metodo che la contraddistinguono. In questo si corre più di un rischio. Il primo: Lucio Russo, nel suo recente saggio *La rivoluzione dimenticata* ⁽¹⁶⁾ sostiene la tesi che la scienza, la fisica in particolare, è nata due volte, la prima in epoca ellenistica. Vari eventi storici avrebbero fatto dimenticare quell’eredità. Niente di male: se, estratti ed astratti gli elementi di metodo che sembrano caratterizzare la fisica dal suo sviluppo accreditato, si dovesse riscontrare che gli stessi appaiono caratterizzare anche aspetti della scienza ellenistica, la promuoveremmo di buon grado al rango di fisica *tout court*. Il secondo rischio — più serio — è di prendere come elementi di metodo aspetti che col metodo non hanno niente a che fare: non hanno a che fare col metodo episodi di frode scientifica, sui quali pure è interesse dello storico fare il punto; non hanno a che fare con il metodo scelte fra ipotesi contrastanti determinate da forme varie di principio d’autorità, e così via.

Ma il resto è metodo: e se magari potrebbe sembrare che l’unica cosa che lo definisce è il ruolo essenziale dell’esperimento, potremmo ricordare, come temi specifici interessanti la logica della scoperta, l’alternarsi, nel rapporto teoria-esperimento, di schemi induttivi e ipotetico-deduttivi, il ruolo, se pure c’è, di esperimenti detti cruciali per la confutazione di una teoria, le ragioni che a volte determinano l’oscuramento di una visione di fronte ad un’altra (es.: Lorentz e Einstein) in assenza di discriminazioni sperimentali, e così via.

Nel loro insieme le due proposizioni lakatosiane ci fanno cogliere il punto che la filosofia della fisica sta alla storia della fisica come la fisica teorica sta alla fisica sperimentale. La storia della fisica fornisce alla filosofia della fisica materia per le sue costruzioni, mentre, d’altra parte, la filosofia della fisica ci fornisce strumenti per addentrarci nella documentazione storica forniti di criteri di scelta. Una storia della fisica senza una filosofia sarebbe come

una fisica sperimentale alla quale mancasse il pungolo e il suggello della teorizzazione; e una filosofia della fisica senza una storia della fisica sarebbe come una fisica teorica che volesse procedere in assenza di esperimenti.

Ai fini didattici cui accennavo nei paragrafi precedenti sembra dunque rendersi necessario un processo di autoacculturazione dei fisici, particolarmente pesante se deve riguardare l'epistemologia, ma non banale neppure se riguarda la sola storia. Circolano fra i fisici miti inestirpabili, come quello secondo il quale Planck, nel suo articolo di giustificazione teorica della sua formula per la radiazione termica, avrebbe introdotto i fotoni, o quello secondo il quale l'articolo di Einstein del 1905 sui quanti di luce fu scritto per spiegare le leggi dell'effetto fotoelettrico. L'opera di largo respiro di autori come Klein e Kuhn non li ha apparentemente scalfiti, ed è alquanto dubbio che faranno breccia saggi recenti circostanziati come quelli di Nadia Robotti e Massimiliano Badino⁽¹⁷⁾. Questo tenderebbe a far pensare che il lavoro degli storici della fisica possa servire a molte cose ma non a insegnare la storia della fisica ai fisici. Non bisogna tuttavia mai disperare¹².

Il processo di autoacculturazione in questi campi sembra tanto più necessario in quanto, come cercherò di argomentare, noi siamo sovente chiamati a confrontarci in contesti più ampi di quelli della ricerca ordinaria o della didattica nelle sue varie forme: in questi contesti diventa importante essere in grado di esprimere una valutazione complessiva di un settore delle conoscenze acquisite, come pure può diventare importante, ai fini di interventi sulla politica della ricerca, una conoscenza del ruolo delle istituzioni scientifiche¹³; basilare è, infine, una conoscenza storica — che dovrà diventare tanto più puntuale quanto più ci si avvicina al momento presente — dei rapporti tra sviluppo scientifico e sviluppo tecnologico¹⁴. Di nuovo, per l'uno come per l'altro fine, è basilare una conoscenza storica, questa volta però non più limitata a quella "storia interna" alla quale, per quanto detto, può essere sufficiente limitarsi quando l'ambito è l'insegnamento e i fini puramente didattici.

6. – L'immagine pubblica della fisica dal dopoguerra a oggi. Una politica culturale ?

Alla fine della guerra il prestigio dei fisici era alle stelle: è vero che qualcuno di loro portava sulle spalle pesanti responsabilità per l'uso che si era fatto delle armi nucleari, ma era anche vero che Fermi e gli altri apparvero all'improvviso come dei maghi capaci di carpire alla natura i suoi segreti più intimi¹⁵. Quando quelli della mia generazione sono entrati all'Università, e per diversi anni a seguire, si respirava ancora quell'atmosfera. Dal dopoguerra a oggi l'immagine pubblica della fisica ha subito in Italia, e probabilmente nel mondo, una progressiva erosione. Un tentativo di analizzarne le cause ci porterebbe troppo lontano¹⁶. Ma alcune conseguenze sono sotto gli occhi di tutti: per non citarne che due, il calo degli iscritti e la falciatura dei corsi di studio, come quelli delle facoltà di ingegneria, hanno perpetrato negli ordinamenti delle lauree triennali ai danni dei corsi di fisica del biennio. Essi non si possono certo addebitare *in toto* a quell'erosione, ma ci sono pochi dubbi circa il fatto che essa c'entri per qualcosa.

Quel prestigio può essere rinverdito, in particolare quello della scuola italiana, e sono certo da valutare positivamente, accanto all'impegno profuso dalla SIF in occasione del centenario fermiano, gli studi condotti da alcuni esponenti di quella scuola italiana di storia della fisica che ho ricordato sul gruppo di Fermi e sulle linee della ricerca italiana nel dopoguerra. Fra i molti libri che potrei citare (e in ogni caso mi renderei colpevole di gravi omissioni) ricorderò *Da via Panisperna all'America*, la cui parte centrale è un manoscritto inedito di Edoardo Amaldi, curato da Giovanni Battimelli e Michelangelo De Maria⁽²⁰⁾, e *Per una storia della fisica italiana — 1945-1965*, curato da Giuseppe Giuliani⁽²¹⁾.

Ma il calo dell'attenzione, soprattutto del pubblico giovanile, verso la fisica, e verso le scienze in generale, ha altre concause. Ha scritto espressivamente in un suo studio recente Luigi Cerruti⁽²²⁾:

“Pesante, irresistibile è la pressione sociale che si esercita sui giovani attraverso il *dominio* del-

¹² Un esempio in controtendenza è l'eccellente *Storia del laser* di M. Bertolotti⁽¹⁸⁾.

¹³ Tengo qui conto di preziosi suggerimenti di Giuseppe Giuliani (comunicazione personale).

¹⁴ Mi sembra esemplare, come studio su questi rapporti, quello condotto da Arturo Russo sui *Bell Laboratories*⁽¹⁹⁾.

¹⁵ Si legga, a questo proposito, Bertolotti⁽¹⁸⁾, *op. cit.*, p. 230 segg.

¹⁶ Indubbiamente ha avuto un peso rilevante il blocco del nucleare pacifico in Italia, come ha osservato in chiusura della mia relazione Tullio Bressani.

l'immaginario (pubblicità, film, videogiochi) e il controllo della socialità (telefonini, *fast food & malboro*, discoteche). Le nostre proposte didattiche suscitano spesso meno interesse di un necrologio (ma quale immaginario!); nelle aule è dura impresa andare oltre la 'semplice presenza' degli allievi (ma quale socialità!). Se la cultura scientifica è posta nei due contesti della società e della scuola senza *amore* per la conoscenza, senza *consapevolezza* epistemologica, senza *tensione* esistenziale, essa non può che agonizzare, o entrare in coma irreversibile. Anche di qui nasce l'attenzione rivolta all'introduzione della storia e dell'epistemologia nell'insegnamento delle scienze."

Un'indicazione analoga viene da altre sedi, non solo italiane. Svein Sjøberg, dell'Università di Oslo, in un recente rapporto⁽²³⁾ di carattere generalissimo su questi temi, ha scritto, in riferimento a tendenze in atto:

"Si sta dando più attenzione agli aspetti culturale, storico e filosofico di scienza e tecnologia nel tentativo di dipingerle come attività umane. Questa maggiore attenzione può far crescere il richiamo di questi argomenti per quegli allievi che stanno cercando di dare ai loro studi un qualche 'significato' che vada oltre l'acquisizione di informazioni di fatto e spiegazioni stabilite e ortodosse di fenomeni naturali".

Si sta levando dunque più di una voce che, per un recupero dell'attenzione delle nuove generazioni verso la fisica e le altre scienze, conta — si direbbe — su quella quota non trascurabile di giovani alla quale il "cybermondo" non abbia fatto perdere in partenza ogni aspirazione alla conoscenza e ogni sensibilità a una scala di valori reali, e, per quel recupero, punta su quanto, nelle scienze, appaia suscettibile di esercitare un appello su quei giovani: il mondo di conoscenza e di valori che si può scoprire nella storia delle scienze stesse. Ritornando per un momento alla SSIS e agli obiettivi che ci dobbiamo prefiggere per le nostre attività in quell'ambito, quello di imbastire con i futuri insegnanti un dialogo costruttivo circa le vie per trasmettere nell'insegnamento un messaggio sui valori della scienza — un tema su cui Cerruti insiste particolarmente — è certamente un dei più importanti.

Se è importante una politica culturale tesa a un recupero alla scienza, e in particolare alla fisica, delle nuove generazioni, il valore formativo e culturale della fisica va riproposto e di-

feso su diversi fronti. Si deve innanzi tutto riproporre instancabilmente un confronto con l'altra cultura; e questo non può avvenire che sull'unico terreno che può diventare comune: quello della storia, e della storia del pensiero in particolare. Quest'idea ha una lunga tradizione: per non citare che due voci autorevoli, già George Sarton voleva richiamare l'attenzione degli specialisti della scienza verso le connessioni e le origini che la scienza condivide con le discipline umanistiche, e voleva anche ricordare agli umanisti che la scienza e le discipline umanistiche sono semplicemente due aspetti dello stesso comportamento umano¹⁷; e Herbert Butterfield ebbe a scrivere: "Se si tiene presente la parte che hanno avuto le scienze nella storia della nostra civiltà occidentale, si può difficilmente dubitare dell'importanza che la storia della scienza verrà presto o tardi ad assumere sia di per se stessa sia come quell'elemento di unione tra Arti e Scienze di cui da tanto tempo si sente la necessità"¹⁸.

Ma il terreno su cui confrontarsi è forse più vasto. Accennavo al discorso sulle due culture. Molta acqua è passata sotto i ponti da quell'ormai remoto 1964 in cui apparve in Italia il libro di Charles Snow⁽²⁴⁾. Un saggio di qualche anno dopo ne ricorda alcuni aspetti caratterizzanti⁽²⁵⁾. In primo luogo, Snow contrapponeva non già *humanae litterae* (scienze umane, come si usa dire oggi) e scienza ma "letterati" e "scienziati". In secondo luogo accusava i primi di indifferenza se non addirittura di ostilità, nei confronti, in termini neutri, del "progresso materiale"; sono gli scienziati invece, diceva Snow, che inventano e affinano gli strumenti per la lotta contro i mali rimediabili dell'umanità, la fame, la miseria, le malattie. "La rivoluzione scientifica è il solo metodo — scriveva Snow — in virtù del quale la maggior parte degli uomini può raggiungere le cose di primaria importanza (anni di vita, libertà dalla fame, sopravvivenza dei fanciulli) ...". Cose indubbiamente vere. Ma il progresso delle scienze lungo queste direzioni appare necessariamente legato allo sviluppo industriale e al livello dei consumi, cose anche esse positive di per sé, ma che stanno proponendo domande assillanti sulla loro compatibilità con la finitezza delle risorse e la qualità dell'ambiente di vita. Giustamente la scienza si sta preoccupando di

¹⁷ Citato in Kragh⁽¹³⁾, p. 40.

¹⁸ Citato in Kragh⁽¹³⁾, p. 41.

monitorare gli indici significativi al riguardo. Ma ci si deve domandare se non sia ormai anche tempo che dedichi uno sforzo mirato a individuare vie alternative che possano limitare quei danni. Siamo giustamente preoccupati delle tendenze irrazionalistiche che pervadono la nostra società. Ma se ciò che dentro qualcuno di noi lo porta a credere agli oroscopi e a consultare i maghi non appartiene al lato positivo del nostro essere uomini (e donne), la preoccupazione che nutriamo dentro di noi per il mondo che lasceremo, o abbiamo già di fatto lasciato, ai nostri figli appartiene invece ad esso. È importante, credo, che il cittadino senta che siamo, per questi aspetti, dalla sua parte.

Ringraziamenti

Desidero innanzitutto ringraziare il presidente della Sezione di Fisica generale, didattica e storia della fisica Giuseppe Giuliani per aver patrocinato la causa di una mia relazione su questi temi e il Consiglio Scientifico della SIF e il suo presidente, Franco Bassani, per avermi invitato a tenerla; desidero inoltre ringraziare tutti coloro che mi hanno fornito informazioni e materiale utile: Luigi Brasini, Luigi Cerruti, Giorgio Dragoni, Nella Grimellini Tomasini, Olivia Levrini. E infine ancora Giuliani, Tullio Bressani e Pasquale Tucci per utili discussioni susseguenti alla mia esposizione.

Non so come esprimere il mio rammarico per avere totalmente dimenticato in questa esposizione¹⁹ il prezioso lavoro compiuto sui temi in essa affrontati dal Gruppo di Lavoro “Storia della Fisica” dell’AIF. Non riesco a spiegare nemmeno a me stesso come sia potuto accadere, visto che, fra l’altro, ho partecipato alle sue attività nell’occasione di due recenti scuole invernali. Le mie scuse, in particolare, a Carla Romagnino, che le ha dirette. A parziale ammenda rimando i lettori all’interessante e utilissimo Quaderno 5 de La Fisica nella Scuola⁽²⁶⁾ interamente dedicato al tema “La storia della fisica nella didattica della fisica”.

Bibliografia

- (1) M. G. DONCEL, A. HERMANN, L. MICHEL e A. PAIS, *Symmetries in Physics (1600-1980)* (Servei de Publicacions UAB, Barcellona) 1987.
- (2) R. E. BETH, *Mechanical Detection and Measurement of the Angular Momentum of Light*, *Phys. Rev.*, **50** (1936) 115.
- (3) L. ALLEN, M. J. PADGETT e M. BABIKER, *The orbital angular momentum of light*, *Progr. Opt.*, **39** (1999) 294.
- (4) K. VON MOSENGHEIL, *Ann. Phys. (Leipzig)*, **22** (1907) 867.
- (5) H. C. OHANIAN e R. RUFFINI, *Gravitazione e spazio-tempo*, prima edizione italiana (condotta sulla seconda edizione americana, *Gravitation and Spacetime* (W.W. Norton & Company, New York) 1994) (Zanichelli, Bologna) 1997.
- (6) M. R. MATTHEWS, *History, Philosophy and Science Teaching: A Rapprochement*, *Studies in Science Education*, **18** (1990) 25.
- (7) M. McCLOSKEY, *Fisica intuitiva*, *Le Scienze*, **178** (1983) 108.
- (8) C. CASADIO, M. GRIMELLINI TOMASINI e B. PECORI BALANDI, *Il concetto di forza*, in *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, a cura di N. Grimellini Tomasini e G. Segré (La Nuova Italia, Scandicci, Firenze) 1991, p. 139.
- (9) C. LA ROSA e M. MAYER, *Luce e colore*, *ibidem*, pp. 185-229.
- (10) L. GALILI e A. HAZAN, *The Effect of a History-Based Course in Optics on Students' Views about Science*, in: *Science Education and Culture, The Contribution of History and Philosophy of Science*, a cura di Fabio Bevilacqua, Enrico Giannetto e Michael R. Matthews (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands) 2001, pp. 229-254.
- (11) J. HEILBRON, *History in Science Education, with Cautionary Tales about the Agreement of Measurement and Theory*, in: *Science Education and Culture, The Contribution of History and Philosophy of Science*, op. cit. p. 5.
- (12) F. SEROGLU e P. KOUMARAS, *The Contribution of the History of Physics in Physics Education: a Review*, in: *Science Education and Culture, The Contribution of History and Philosophy of Science*, op. cit., pp. 327-346.
- (13) H. KRAGH, *Introduzione alla storiografia della scienza* (Zanichelli, Bologna) 1990, versione italiana di *An Introduction to the Historiography of Science* (Cambridge University Press, Cambridge) 1987.
- (14) S. DRAKE, *Galileo Galilei pioniere della scienza* (Franco Muzzio Editore) 1992, versione italiana di *Galileo: Pioneer Scientist* (University of Toronto Press) 1990.
- (15) I. LAKATOS, *La storia della scienza e le sue ricostruzioni razionali*, in *Critica e crescita della conoscenza*, a cura di I. Lakatos e A. Musgrave, edizione italiana a cura di G. Giorrello (Feltrinelli, Milano) 1976, versione italiana di *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge University Press) 1970, 1972, 1974.
- (16) L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata - Il pensiero scientifico dei greci e la scienza moderna* (Feltrinelli, Milano) 1996/1998.
- (17) N. ROBOTTI e M. BADINO, *Max Planck and the 'Constants of Nature'*, *Ann. Sci.*, **58** (2001) 137.
- (18) M. BERTOLOTTI, *Storia del laser* (Bollati Boringhieri, Torino) 1999.
- (19) A. RUSSO, *Scienza e industria: la scoperta della diffrazione degli elettroni*, in A. RUSSO, *Le reti dei fisici, Percorsi della Fisica* (La Goliardica Pavese) 2000, p. 9-53.
- (20) E. AMALDI, *Da via Panisperna all'America - I fisici italiani e la seconda guerra mondiale*, a cura di G. Battimelli e M. De Maria (Editori Riuniti) 1997.
- (21) G. GIULIANI (a cura di), *Per una storia della fisica italiana - 1945-1965* (Università degli Studi di Pavia/La Goliardica Pavese) 2002.
- (22) L. CERRUTI, *L'educazione ai valori della scienza come pratica ermeneutica*, preprint Dipartimento di Chimica Generale e Organica Applicata, Università di Torino (1999).
- (23) S. SJÖBERG, *Science and Technology Education - Current Challenges and Possible Solutions*, to be published in E. Jenkins (Curatore) *Innovations in Science and Technology Education*, Vol. VIII (Paris, UNESCO) 2002.
- (24) C. P. SNOW, *Le due culture* (Milano) 1964.
- (25) G. PRETI, *Retorica e logica* (Einaudi, Torino) I ed., 1968, ristampa presso il medesimo editore nel 1968; il primo capitolo, intitolato *La polemica delle "due culture"*, affronta il tema di interesse qui.
- (26) La Fisica nella Scuola, Quaderno 5, *La storia della fisica nella didattica della fisica*, Anno XXVIII - Suppl. al N. 2, Aprile-Giugno (1995).

¹⁹ Annotazione aggiunta in occasione della correzione delle bozze.

Ricordo di Antonino Rubbino

Era “tornato”, quasi fosse uscito da un’assenza forzata ed anche dolorosa, che lo aveva tenuto lontano dalla “nostra” comunità di amici e colleghi.

Perché Nino era uno dei “nostri”, fisico tra i fisici, amico tra amici e nella SIF ci era stato, ci stava bene, con serenità, con piacere e con intelligente sapienza e bonomia.

Nino è stato Consigliere della SIF per tre mandati triennali, dal 1983 al 1991, ed il suo contributo è stato quanto mai prezioso (erano i primi anni della mia presidenza) perché l’impronta “sicula”, che del resto lo ha sempre caratterizzato, riscontrabile nella sua saggezza divertita e divertente e nelle sue intuizioni, condite da uno spiccato senso dell’humour, rasserenava l’atmosfera anche nei momenti impegnativi o difficili.

Ci lasciò, per sua volontà, nel 1991 e ne sentimmo la mancanza, anche se ci restò vicino. Così come lo fu, per me, nel 1987, quando condividemmo con Paul Kienle la direzione del CIII Corso della Scuola di Varenna “Trends in nuclear physics”, al quale parteciparono, tra gli altri Carlo Rubbia, Haru Morinaga, Igal Talmi, Walter Greiner, Peter Armbruster, Yuri Oganessian, Nikola Cindro, Massimo Di Toro, Renato Potenza, Sara Pirrone.

Il Corso iniziava il 23 giugno, giorno del mio 60^{mo} compleanno, e Nino fu tra i promotori della simpatica cerimonia allora a me dedicata.

Oltre all’appartenenza alla “società” comune, Nino portava in sé innato il senso dell’amicizia vera e, è il caso di dirlo, rassicurante.

Furono anche queste doti, insieme con le sue capacità e la sua competenza, a farne un uomo di profonda cultura e umanità, che egli riuscì ad utilizzare nella sua carriera scientifica all’estero (in particolare in Germania) come in Italia, contribuendo in maniera determinante (insieme con Carmelo Milone e Attilio Agodi) allo sviluppo dell’Istituto di Fisica di Catania e alla istituzione del Centro Siciliano di Fisica Nucleare e di Struttura della Materia (CSFNSM) di cui fu il primo direttore e dal quale doveva scaturire la spinta necessaria alla costituzione del Laboratorio del Sud come Laboratorio Nazionale dell’INFN.

Nell’ambito della Fisica nucleare egli è stato ricercatore di prim’ordine ed ha diretto e pro-

mosso ricerche importanti nel campo delle reazioni fotonucleari e nella dinamica delle reazioni indotte da ioni pesanti. La sua disponibilità e le sue doti promozionali gli permisero di fare scuola e avviare alla ricerca numerosi giovani, che lo ricordano con grande affezione e riconoscenza.



Fig. 7. – Consegna del diploma di Socio Benemerito al prof. A. Rubbino durante la Cerimonia inaugurale del Congresso di Alghero.

Era tornato, quindi, ad Alghero, al Congresso della SIF l’ottobre scorso. Grande fu la gioia e il piacere di rivederlo, quasi ringiovanito e perfino “straripante”; presente, attivo e sempre divertente come una volta.

Ci aveva sorpreso e gli dicevamo che ci aveva preso in giro con la sua lontananza, che ora si dileguava e ce lo restituiva più amico di prima.

Il riconoscimento di “socio benemerito” della SIF gli aveva fatto piacere ed era infatti qualcosa che, nel suo caso, rappresentava non solo un premio ma un’ appartenenza.

Eppure ci ha ancora lasciato, e questa volta il commiato è dolorosamente definitivo, dopo essere tornato a Catania, un mese dopo, il 1° novembre 2002. Non ti rivedremo più, ti ricorderemo sempre. Ciao Nino.

Renato A. Ricci

Ricordo di Angelo Rizzo



Il 3 novembre si è spento prematuramente, a soli 57 anni, Angelo Rizzo, professore di Fisica Generale presso l'Università di Lecce, già Rettore della stessa Università dal 1/11/1992 al 31/10/2001.

Dopo essersi diplomato al Liceo Classico "Francesca Capece" di Maglie, Angelo Rizzo si iscrisse al Corso di Laurea in Fisica presso l'Università di Pavia, dove fu studente del Collegio Cairoli. Il periodo trascorso presso l'Università di Pavia e l'organizzazione dei Collegi, tipica di quella realtà universitaria, segnarono profondamente la sua visione dell'Università, al punto da ispirare in seguito alcuni aspetti della sua politica da rettore. Alla fine del 1966, conseguì la laurea in Fisica, discutendo una tesi in Fisica dello Stato Solido. Subito dopo la laurea, il prof. Michelangelo Merlin, allora Direttore dell'Istituto di Fisica dell'Università di Bari, gli offrì l'opportunità di ritornare nella propria regione, proponendogli di unirsi al gruppo, che si andava formando in quegli anni, attorno al prof. Levaldi, che vedeva già presenti Aldo Cingolani, Carlo Paorici ed altri giovani ricercatori locali. Cominciò così nel 1967 la prima fase della sua

carriera accademica, che sarebbe stata coronata dal superamento del concorso a cattedra in Fisica Generale nel 1980.

L'attività scientifica nel periodo trascorso a Bari, si sviluppò principalmente attraverso lo studio delle proprietà elettriche ed ottiche di diversi composti semiconduttori, e soprattutto attraverso quella che sarebbe stata la sua attività scientifica predominante, la preparazione dei semiconduttori lamellari della famiglia III-VI. Fu in quegli anni infatti che avviò quell'attività di studio dei processi di crescita di cristalli semiconduttori e di deposizione di film sottili che è stata uno degli elementi caratterizzanti dell'attività di Fisica dello Stato Solido del gruppo operante presso l'Università di Bari, trasferitosi poi in gran parte presso l'Università di Lecce.

Gli anni dal 1967 al 1981 a Bari si caratterizzarono anche per un'altra esperienza importante nella formazione culturale e accademica di Angelo Rizzo. In quegli anni, infatti, partecipò alla costituzione del CSATA (Centro Studio ed Applicazioni di Tecnologie Avanzate), ed in particolare della sezione di Fisica Applicata. Anche se l'esperienza di questa sezione del CSATA, si concluse nel giro di pochi anni, l'idea di costituire strutture miste formate da Università ed altri Enti pubblici o privati, per trasferire all'esterno le competenze ed i risultati delle ricerche universitarie, avrebbe rappresentato un altro punto fermo nella sua azione negli anni seguenti.

Dopo aver vinto il concorso a cattedra, Angelo Rizzo scelse di essere chiamato dall'Università di Lecce. L'opportunità di poter tornare a lavorare nel suo Salento, a cui era profondamente legato, rappresentò un richiamo irresistibile rispetto al proseguimento della sua attività consolidata e ben avviata presso l'Università di Bari.

Cominciò quindi il periodo turbinoso delle iniziative dell'Università di Lecce nel settore dei materiali, che videro in Angelo Rizzo l'instancabile e tenace promotore. In queste iniziative ebbe il sostegno convinto ed efficace dell'allora Rettore, Donato Valli, che, da umanista, superando le logiche disciplinari, comprese l'importanza che quelle iniziative avrebbero potuto avere per lo sviluppo dell'Università di Lecce. Nacque in quegli anni il Seminario Tecnico Scientifico dell'Università di Lecce, le cui scuole estive di Castro Marina, incentrate sulle diverse problematiche relative ai materiali, rappresentarono un momento formativo effica-

ce ed originale per moltissimi giovani ricercatori. Gli incontri dei maggiori esperti italiani di materiali, nella cornice accattivante del mare di Castro, costituirono un momento di riflessione fondamentale per progettare quelle che sarebbero state le iniziative più importanti dell'Università di Lecce. Nacque così il Centro Nazionale di Ricerca e Sviluppo sui Materiali (CNRSM) di Brindisi, che ha dato successivamente luogo al Parco Scientifico e Tecnologico Ionico Salentino (PASTIS) e più recentemente ha permesso la costituzione di un Centro di Ricerca sui Materiali dell'ENEA. Negli stessi anni, all'interno dell'iniziativa per il rafforzamento della rete di ricerca del CNR nel Sud, nacque l'Istituto per lo studio di nuovi materiali per l'elettronica (CNR – IME), diventato, nella recente riorganizzazione del CNR, la sezione di Lecce dell'Istituto per la Microelettronica ed i Microsistemi. Sempre negli stessi anni nacque anche la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Lecce, con i corsi di laurea in Ingegneria dei Materiali ed Ingegneria Informatica, del cui comitato ordinatore Angelo Rizzo fu coordinatore.

Nel 1992 fu eletto Rettore, ed ebbe modo così di avviare un ulteriore periodo di sviluppo per l'intera Università di Lecce. Durante il suo Rettorato fu promotore di un aumento complessivo del numero di Facoltà e dei corsi di laurea, con un consistente aumento del numero di studenti. Si moltiplicarono le iniziative collaterali, in quell'ottica di forte interazione dell'istituzione universitaria con il territorio, maturata attraverso l'esperienza giovanile a Pavia e successivamente a Bari. L'Università di Lecce, sotto la sua spinta rafforzò la propria presenza in ambito nazionale ed internazionale attraverso una rete di progetti e di collaborazioni in diversi settori, arricchendosi di strutture ed opportunità. La sua visione di Università, sintetizzata in quel progetto che lui aveva battezzato "Lecce città universitaria", culminò nel prestigioso inserimento dell'Università di Lecce nel progetto del Ministero per l'Università e la Ricerca Scientifica e Tecnologica per la sperimentazione di nuove strutture di Scuole Superiori Universitarie. Nacque così la sua ultima creatura, l'Istituto Superiore Universitario di Formazione Interdisciplinare (ISUFI), a cui ha dedicato tutte le sue energie negli ultimi anni di attività.

Purtroppo la prematura scomparsa gli ha tolto la possibilità di veder realizzato anche questo suo ultimo sogno, in cui aveva portato a fondersi tutti i suoi punti di riferimento, dai Collegi di

Pavia, alle Università di prestigio, alle iniziative sul territorio.

Al Salento, a cui ha dedicato, senza risparmiarsi mai, tutto il suo impegno, rimane un'Università che ha conquistato un posto importante nel panorama nazionale ed internazionale ed un ricco tessuto di strutture di ricerca pubbliche e private. A noi, che lo abbiamo accompagnato nei vari tratti del suo cammino collaborando alle diverse iniziative, rimane l'impegno di mantenere vitali ed efficaci le strutture nate dalla sua azione e di portare avanti i numerosi progetti avviati. Ma a noi rimane soprattutto il ricordo e l'esempio di una vita spesa generosamente al servizio dell'Università e del territorio salentino, affrontata con umiltà e tenacia, sempre all'insegna di quella sorridente semplicità ed umanità che gli hanno aperto tutte le porte in vita e che accompagneranno sempre il suo ricordo.

Lorenzo Vasanelli

*Direttore del Dipartimento di Ingegneria
dell'Innovazione - Università di Lecce*

In ricordo Krzysztof Ernst



Il 2 gennaio 2003, all'età di 62 anni, è morto il prof. Krzysztof Ernst figura di grande rilievo della fisica polacca degli ultimi decenni, ottico e fisico atomico dell'Istituto di Fisica Sperimentale dell'Università di Varsavia. Lo ricordiamo in queste pagine "italiane" poiché Egli lascia profonda eredità di affetti anche nella nostra comunità di fisici.

Krzysztof Ernst ha amato l'Italia come una sua seconda patria, vivendone appassionatamente la cultura trasmessagli dalla madre scrittrice e traduttrice di molta della nostra letteratura. Numerosi e prolungati sono stati i soggiorni scientifici con inizio nel 1966 a Pisa nel gruppo del prof. Adriano Gozzini, ai tempi del pompaggio ottico con lampade a radiofrequenza. Ritornò a Pisa a metà anni 70 quando ormai il laser era la nuova sorgente per spettroscopia ed utilizzò le conoscenze sviluppate al Massachusetts Institute of Technology, dove nel frattempo era stato ospite nel gruppo di Ali Javan, per costruire un laser ad azoto ed applicarlo allo spettro della molecola di solfuro di carbonio. L'esperimento programmato non riuscì, nonostante ogni possibile tentativo: lo si poteva vedere passare giornate intere al buio tra lampi di luce ultravioletta che facevano fluorescere la sua solita impeccabile camicia bianca e l'immagine era quella di un uomo grande, instancabile e sorridente. La voglia di capire, la curiosità e la fantasia lo portarono a scoprire poi che la ragione dell'insuccesso era in qualcosa di inaspettato: sotto l'effetto della luce la molecola si dissociava per produrre bianchi aggregati di atomi che si potevano vedere precipitare come fiocchi di neve. Krzysztof illustrò con la solita chiarezza il nuovo fenomeno del "Laser Snow" in seminari appassionati, memorabile quello alla Advanced School sulle frontiere della spettroscopia laser a San Miniato nel 1982.

Dopo Pisa, luoghi importanti per le collaborazioni di Krzysztof Ernst con la fisica italiana furono Firenze e Napoli. A Firenze, sulla collina di Arcetri, lavorò all'Istituto Nazionale di Ottica, al dipartimento di Fisica e poi ripetutamente presso il LENS. A Napoli fu professore nel 1983 e nel 1988, sperimentando e contribuendo non poco allo splendido clima umano che ha consentito lo sviluppo dell'attività spe-

rimentale di fisica atomica e spettroscopia laser in quella Università. Scorrendo la sua lista di pubblicazioni scientifiche si contano più di una ventina di coautori italiani a testimonianza di quanto intensa e varia sia stata la collaborazione scientifica con la fisica italiana. Tutti lo ricordiamo come uomo nobile e forte, dotato di una sottile ironia che lo ha accompagnato anche quando, già ammalato, ha voluto rivisitare i luoghi dei quasi quarant'anni di frequentazione italiana.

Ma Krzysztof Ernst non si è limitato ad indagare, è pure stato un grande divulgatore e continuerà a vivere anche grazie ai libri che ci ha lasciato. Uno di questi, da lui stesso tradotto in italiano e tramite la dedica ai figli Marcin ed Andrzej affidato alle giovani generazioni, si intitola "Fisica dello Sport". Rigoroso e chiaro trasmette intero l'entusiasmo di un uomo completo; nel sottotitolo dell'introduzione Krzysztof, che è stato anche giocatore di pallacanestro professionista, scrive: "Nessun atleta ha mai rimpianto di aver studiato fisica e nessun fisico di aver praticato dello sport". L'ultimo libro, appena stampato, ha come titolo "Einstein sull'altalena, ovvero la fisica dei giochi e dei giocattoli".

Krzysztof Ernst ha sempre lavorato per creare progresso scientifico nella sua Polonia stimolando ogni sorta di collaborazioni e di trasferimento di sapere. Negli ultimi anni andava giustamente fiero dello sviluppo a Varsavia di un efficacissimo apparato per misure LIDAR, frutto di una collaborazione con Berlino.

Krzysztof aveva un senso dolce della vita, ho scoperto alla sua morte che scriveva poesie. La moglie Maria mi ha tradotto l'ultima, "Koniec", "fine" in polacco, in cui le varie fasi di un corteo riassumono come in un sogno la sua vita ..., chiude così: "... era già inverno ed il crepuscolo scendeva velocemente. Il portone si è chiuso dietro l'ultimo veicolo: una Mercedes da cui veniva mandato nello spazio un fascio di colori. Non è una fine romantica con un fascio LIDAR che sparisce nel cielo, è proprio questo il passaggio della mia vita da una dimensione reale a quella ignota". Do widzenia, Krzysztof!

Massimo Inguscio

“GALILEO VENGHÌ A ROMA PER RENDER CONTO...” (CON SOSTA A CENTÈNO)

C. Castagnoli

IFSI/CNR - Corso Fiume, 4 - 10133 Torino

In una piovosa mattina dello scorso ottobre un gruppo di amici della fisica e della SIF (in parte provenienti dalla vicina Università di Perugia) si sono ritrovati aderendo ad un invito del nostro Presidente SIF, Bassani, che diceva:

«La Società Italiana di Fisica, per onorare Galileo Galilei nel 370° anno dalla pubbli-

*cazione del “Dialogo sopra i due massimi sistemi”, giovedì 10 ottobre 2002, alle ore 12, presenterà a Centèno (già Ponte di Centina frazione di Proceno, Viterbo), presso l’Azienda Agrituristicamente La Dogana, una lapide commemorativa apposta nel luogo dove lo scienziato soggiornò i 20 giorni della sua **Contumacia et quarantena** prima dello storico processo di Roma» (fig. 1).*

Il tempo si era fatto via via più inclemente, tanto che il Sindaco del Comune di Proceno non poté pronunciare il discorso che si era ri-



Fig. 1. – Lapide commemorativa apposta nel luogo (Centèno) dove lo scienziato soggiornò i venti giorni della sua “Contumacia et quarantena”.



Fig. 2. – Fase della Cerimonia sotto la pioggia battente.

promesso per la pioggia che scendeva a dirotto. E mentre si scopriva la lapide il vento si trasportò via il drappo che la copriva (fig. 2).

Sembrava proprio che a Giove Pluvio la piccola cerimonia risultasse sgradita (qualcuno di noi, irriverente, cercò di attribuire la meteora sfavorevole ad antichi rancori celesti, che perduravano attraverso i quattro secoli trascorsi, ma nessuno ci ha creduto).

Riparati sotto un ospitale portico sul retro dell'edificio de la Dogana (oggi molto ben restaurato) i superstiti, dopo un breve ringraziamento ai convenuti, a nome del nostro Presidente SIF, (impossibilitato a venire) poterono ascoltare le parole della Prof. Levi-Donati alla quale va il merito di aver recuperato (con l'accurata indagine svolta da lei e da suo marito) questo luogo dimenticato ma così significativo per la nostra memoria storica (fig. 3).

Spesso si sente dire che su Galileo, negli ultimi due secoli, sia stato scritto tutto lo scrivibile. Naturalmente ciò non è vero, ma dimostrarlo non è facile. Tra gli altri, ad esempio ci

sono riusciti negli ultimi anni i Proff. F. A. Levi e G. R. Levi-Donati, pubblicando due loro ricerche «Sui responsabili degli imprimatur del Dialogo»⁽¹⁾ e su «Galileo e la peste»⁽²⁾ che hanno vari risvolti di novità per gli studi storici. Questo secondo scritto poi ha motivato l'invito della SIF a Centèno e certamente interesserà i nostri sodali (e le loro famiglie) sia per gli aspetti storico-culturali che per quelli agroturistici (l'ordine può essere invertito) essendo il luogo molto piacevole a vedersi (fig. 4).

I nostri due amici Levi-Donati ci sono noti per la loro costante esigenza di completezza e di controllo delle fonti e dei fatti storici e ciò li ha portati a voler controllare *de visu* anche i dettagli del viaggio di Galileo di cui scrivevano nel secondo articolo.

Ad esempio, sono andati al Quirinale (che allora era Palazzo Apostolico) per vedere il carcere in cui fu rinchiuso Galileo (che oggi non fa parte delle visite guidate), lo hanno visitato e misurato: sulla base dei m² e della disposizione dei locali, ne hanno dato un giudizio certamente meno ottimistico di quello riportato nella lette-



Fig. 3. – La Professoressa Gemmarosa Levi-Donati assieme al professor Carlo Castagnoli.

34

ratura corrente. E poi hanno voluto vedere, fotografare e descrivere Centèno, luogo finora dimenticato.

Galileo deve essere passato per Centèno almeno cinque volte negli anni precedenti. Infatti da Firenze si era recato a Roma nel 1611 per ricevere la nomina ad Accademico Linceo e poi per fare ammirare il cielo stellato con il suo telescopio alla Roma bene. Successivamente nel 1616 per il primo interrogatorio con Bellarmino, nel dicembre 1624 per dedicare il *Saggiatore* al neoeletto Papa Urbano VIII e infine nel 1630 per ottenere l'autorizzazione a stampare il *Dialogo*.

Questa volta il viaggio iniziava in pieno inverno e sotto pessimi auspici. Era partito il 20 gennaio 1633 mentre a Firenze (come in tutto il Nord Italia) infuriava la peste del 1630-34 importata dalla Germania dai Lanzichenecchi (e descritta dal Manzoni). Qualcuno cerca di rivalutare storicamente questa peste sia definendola la "Grande peste" sia (più recentemente) citandola come primo esempio di guerra batteriologica, ma dimenticando che la peste era endemica da vari secoli nel bacino mediterraneo.

Ad esempio, meno di 3 secoli prima, tra il 1346

e il 1349 la peste più grave aveva provocato la morte di circa un terzo degli abitanti del bacino mediterraneo, cioè circa 25 milioni di persone! E di questo primato i Lanzichenecchi non potevano rivendicare alcun merito.

Com'è noto, in casi di peste gli Stati cercavano di difendersi nel solo modo allora possibile: limitando o impedendo il flusso dei viaggiatori da una città all'altra creando posti di blocco nei porti o lungo le strade. Così quando Galileo, percorrendo con la lettiga offertagli dal Granduca di Toscana, la Via Cassia, arrivò a Centèno al confine tra il Granducato di Toscana e lo Stato Pontificio fu fermato per la quarantena e vi rimase molto scomodamente dal 23 gennaio al 10 febbraio 1633. Il confine tra i due stati è praticamente lo stesso che oggi, in quella zona, separa la regione Toscana dalla regione Lazio. L'abitato, allora denominato Ponte a Centina è poco mutato in questi tre secoli e mezzo: è scomparsa la chiesa, ma sono rimaste la Stazione di posta, l'edificio del Lazzaretto, la Locanda e la Dogana, che, restaurate, conservano la loro fisionomia cinquecentesca. Solo il panorama circostante è oggi totalmente diverso dalla



Fig. 4. – Localizzazione geografica di Centeno (evidenziata dalla croce).

descrizione che i Levi-Donati hanno pescato in un testo di fine '700 («*quel luogo rimane in una orrida e deserta valle lontana dall'abitato*»). Infatti questo gruppetto di case sul fondovalle è circondato da distese di prati e da una corona di colli verdi sulla quale si erge una bella rocca trecentesca e il suo borgo, dominanti la conca. Il paesaggio è molto suggestivo nella sua quiete e armonia autunnali, e i muri antichi e la rocca lontana sui colli, tutto può richiamare ma non certo il dramma che doveva vivere Galileo, nel gelido inverno di quattro secoli fa, nell'attesa di quel processo che lo attendeva a Roma.

Poiché questa sosta a Centeno era prevedibile (e prevedibilmente lunga, se il termine «quarantena» vuol dire qualcosa), c'è da chiedersi perché Galileo non avesse cercato di evitarla rimandando a tempi migliori questo viaggio a Roma di cui conosceva molto bene le difficoltà già in condizioni normali. In realtà Galileo aveva cercato di procrastinare questo viaggio il più possibile, ricorrendo come si fa tutt'oggi, a certificati medici, e aveva così guadagnato un paio di mesi da quando a fine settembre del 1632 il Cardinale Antonio Barberini (fratello del papa Urbano VIII) gli aveva scritto una lettera in cui ordinava che «...*Galileo Galilei venghi a Roma per render conto del suo libro...*». Ma di più non riuscì a fare. Infatti se ora si trovava nel Lazzaretto di Centeno, in pieno inverno, il motivo era da ricercarsi in un secondo invito ricevuto il 1° gennaio 1633, dallo stesso mittente, che suonava così: «...*se non ubbidisce subito, si manderà costì a pigliarlo et condurlo alle carceri di*

questo Supremo Tribunale legato anco con i ferri...».

I giorni della permanenza di Galileo a Centeno furono abbastanza pesanti. Già prima di partire da Firenze Galileo sessantottenne era afflitto da vari malanni. Si ha notizia della deposizione di una commissione medica composta da tre dottori illustri (questa volta controllata dall'Inquisitore di Firenze) che il 17 dicembre 1632 certificava che Galileo soffriva di vertigini frequenti, di un'ernia grave con rottura del peritoneo, debolezza di stomaco, vari dolori di tipo reumatico, melanconia ipocondriaca, disturbi alla vista... Per cui i medici ritenevano che il viaggio costituisse un pericolo per la sua stessa vita. Galileo fece allora testamento, anche perché, come scriveva al suo amico Elia Diodati «*Ora sono in procinto di andare a Roma chiamato dal Santo Ufficio, il quale ha già sospeso il mio Dialogo. E da buona banda intendo i Padri Gesuiti aver fatto impressione in testa principalissima, che tal mio libro è più esecrando e più pernicioso per Santa Chiesa, che le scritture di Lutero e di Calvino...*».

E a Centeno certamente questo pensiero doveva turbarlo anche perché, come si sa, Galileo era un buon cattolico. E il suo malessere era accresciuto dal fatto che i confort del Lazzaretto (o della Locanda) lasciavano alquanto a desiderare e che la stagione era molto inclemente: freddo, diaccio e neve. Il processo dell'Inquisizione che lo attendeva era sul suo primo vero processo, anche se si legge spesso che era il secondo, dopo quello del 1615-16. In realtà questo era stato un'inchiesta, sostenuta dal cardinale Bellarmino (per mandato di Papa Paolo V) che sia pur verbalizzata e con esiti limitativi della sua libertà di scienziato, non aveva comportato una condanna. Ma i verbali di questa inchiesta dovevano giocare un grosso ruolo sul processo che lo attendeva con tutte le sue incognite procedurali e sanzionatorie. E anche con attori diversi: a Paolo V era succeduto Gregorio XV e poi Urbano VIII; il Cardinale Bellarmino era morto già da quindici anni; era in atto da quasi due decenni la guerra dei trent'anni...

Galileo restò bloccato a Centeno 18 giorni e 18 notti e giunse quindi a Roma la notte del 13 febbraio.

La mattina del 12 aprile 1633 si costituì al Tribunale del S. Uffizio. Il processo (com'è noto) terminò il 22 giugno 1633 con due atti. Il primo per la lettura dell'abiura e la sua sotto-

scrizione da parte di Galileo (dopo che era riuscito a far cancellare dal testo preparato dall'accusa due frasi, cioè «*di aver errato nel suo comportamento di buon cattolico*» e di «*aver agito con l'inganno per ottenere l'imprimatur del Dialogo*»). Il secondo atto fu la lettura della sentenza: «*ordiniamo che per pubblico editto sia proibito il libro dei Dialoghi di Galileo Galilei e ti condanniamo al carcere formale in questo Santo Offizio ad arbitrio nostro; e per penitenze salutari t'imponiamo che per tre anni a venire di chi una volta la settimana li sette Salmi penitenziali: riservando a noi la facoltà di moderare, mutare, o levar in tutto o parte, le sodette pene e penitenze.*»

L'Ambasciatore toscano a Roma aveva ottenuto dal Papa Urbano VIII il trasferimento di Galileo dal carcere del S. Uffizio ad una forma di arresto domiciliare (*loco carceris*) presso la sua Ambasciata. Di lì poi, il 6 luglio 1633, Galileo partì per Siena per rimanervi sotto la custodia dell'Arcivescovo Piccolomini; vi giunse il 9 luglio. Naturalmente aveva percorso la via Cassia ripassando quindi per la Dogana di Centèno (ovviamente senza sosta di quarantena).

Sullo stato di salute di Galileo durante questo viaggio si hanno poche notizie e incerte. Da una parte si sa di un Galileo in ottima forma che prima del confine scende dalla lettiga (offertagli dall'Ambasciatore) per incamminarsi con passo vigoroso e svelto, finalmente calpestando il suolo toscano. Dall'altra si sa che giunto a Siena,

nell'Arcivescovado, il suo ospite (e amico) Piccolomini per diverse notti lo sentì urlare insonne ed agitarsi vaneggiando scompostamente sì da pensare di dovergli legare forse le braccia per evitare che si ferisse accidentalmente a letto. Ma nei cinque mesi che lo ebbe in custodia l'Arcivescovo gli fu molto vicino ed amico; e Galileo non solo ritrovò il suo equilibrio, ma poté tornare ai suoi studi preferiti. E anche ricompensò Siena della sua ospitalità riuscendo a risolvere un problema che angustia la città da qualche tempo. Infatti i suoi pur esperti artigiani non riuscivano a realizzare la fusione della nuova grande campana da porre sul campanile della cattedrale: naturalmente Galileo vi riuscì. Arrivò poi il permesso papale di ritornare a Firenze. «*Così dopo cinque mesi (come scrisse Galileo al fido Elia Diodati da Arcetri) mi fu permutato la carcere nel ristretto di questa piccola villetta lontana un miglio di Firenze, con strettissima proibizione di non calare in città, nè ammettere conversazione o concorso di molti amici insieme, nè convidarli...*»

Così terminava a Firenze il viaggio che Galileo vi aveva iniziato nell'ormai lontano 20 gennaio 1633, e che lo aveva portato a Centèno prima e a Roma poi.

Bibliografia

- (1) F. A. LEVI e G. R. LEVI-DONATI; *Quad. Storia Fis.*, **10** (2002) 43.
- (2) F. A. LEVI e G. R. LEVI-DONATI; *Quad. Storia Fis.*, **8** (2001) 3.

Per 18 anni il Nuovo Saggiatore è stato caratterizzato dagli sfondi di copertina

disegnati dal Prof. Enzo Iarocci.

I suoi delicati pastelli hanno accompagnato,

con scelte cromatiche diverse di anno in anno,

la nostra pubblicazione e testimoniano che essere scienziati

non esclude la possibilità di essere artisti.

Da quest'anno non beneficeremo più della sua collaborazione,

desideriamo qui ringraziarlo anche a nomi di tutti i Soci.



**LXXXIX CONGRESSO NAZIONALE
SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Parma, 17 - 22 settembre 2003**

INFORMAZIONI GENERALI

Comunicazioni

I riassunti delle comunicazioni dovranno pervenire alla Società Italiana di Fisica **entro il 15 Maggio 2003**, con un massimo di 100 parole, senza figure, indicando la Sezione pertinente, con il nome sottolineato dell'autore che presenterà la comunicazione nonché il suo indirizzo completo per la corrispondenza.

I riassunti potranno essere inseriti direttamente nel nostro database attraverso la pagina web <http://atticon.sif.it/>

I riassunti potranno essere inviati anche per e-mail (congresso@sif.it), per fax (051-581340) e per posta.

LA SOTTOMISSIONE ELETTRONICA È DA CONSIDERARSI PREFERIBILE.

SI PREGA DI UTILIZZARE UN SOLO MODO DI SPEDIZIONE.

Verranno pubblicati nel volume degli Atti del Congresso soltanto i riassunti pervenuti entro il termine e conformi alle norme prescritte.

Le comunicazioni accettate saranno presentate oralmente.

Almeno uno degli autori della comunicazione, possibilmente il presentatore, deve essere Socio della Società Italiana di Fisica.

Sezioni

- SEZIONE 1: Fisica nucleare e subnucleare
- SEZIONE 2: Fisica della materia (materia condensata, atomi, molecole e plasmi)
- SEZIONE 3: Astrofisica e fisica cosmica
- SEZIONE 4a: Geofisica e fisica dell'ambiente
- SEZIONE 4b: Biofisica e fisica medica
- SEZIONE 5: Elettronica e fisica applicata
- SEZIONE 6: Fisica generale, didattica e storia della fisica

Premiazione delle migliori comunicazioni

Durante la cerimonia conclusiva del Congresso verranno proclamati i vincitori di una (o più di una) comunicazione per ogni Sezione giudicata migliore sulla base del contenuto e dell'esposizione. La premiazione avrà luogo durante la cerimonia inaugurale del Congresso Nazionale SIF del 2004.

Iscrizione e Sede del Congresso

La quota di iscrizione al Congresso di EUR 100,00 (EUR 65,00 per i Soci ed EUR 45,00 per i Soci al di sotto dei 30 anni) sarà pagata presso la Segreteria SIF al Congresso.

Il Congresso si svolgerà presso l'Aula Magna del Campus e l'Ampliamento Didattico di Ingegneria dell'Università di Parma, Parco Area delle Scienze.

Per partecipare ai lavori congressuali è necessario essere muniti di targhetta nominativa che attesti la registrazione al Congresso.

Prenotazione alberghiera

Le prenotazioni potranno essere effettuate tramite:

Emmevi Servizio Congressi • Viale dei Mille 140 • 43100 Parma

Tel.: 0521-290191 • Fax: 0521-291314 • e-mail: sif@mvcongressi.it • www.mvcongressi.it

La scheda di prenotazione alberghiera viene allegata separatamente al presente fascicolo de *Il Nuovo Saggiatore*.



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Bandi di concorsi a premi per la Fisica per il 2003

Concorso ad un premio per attività nel campo della didattica della Fisica o per contributi in storia della Fisica.

La Società Italiana di Fisica bandisce un Concorso per un premio di EUR 1.500,00 (millecinquecento) con diploma, aperto a tutti i cultori o gruppi di cultori di Fisica, per realizzazioni didattiche nel campo della Fisica (libri, articoli, esperimenti, apparati sperimentali, ecc.) illustrate in un'apposita relazione, o per contributi in storia della Fisica.

1) Le relazioni o i contributi devono presentare un particolare interesse o per l'originalità della concezione e dell'esecuzione o per la novità degli argomenti trattati.

2) La domanda di ammissione al Concorso, redatta su carta libera e recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, dovrà pervenire alla Presidenza della Società Italiana di Fisica, Via Saragozza 12, 40123 Bologna, entro il 30 giugno 2003.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire i seguenti documenti:

- a) una relazione che illustri le realizzazioni effettuate dal candidato nel campo della didattica della Fisica;
- b) il lavoro di storia della Fisica che intende presentare al Concorso.

4) Il Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica attribuirà il relativo premio. Il Consiglio può prendere in considerazione anche realizzazioni di didattica o di storia della Fisica che giudichi meritevoli del premio, ma i cui autori non abbiano chiesto di partecipare al Concorso. La decisione del Consiglio è inappellabile.

5) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo LXXXIX Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Parma, 17 - 22 settembre 2003.

Concorso ad un premio per la Fisica riservato ai dottori in Fisica laureatisi dopo il maggio 2000.

La Società Italiana di Fisica bandisce un Concorso ad almeno un premio di EUR 1.000,00 (mille) e diploma, da assegnare a giovani cultori della ricerca fisica. Le norme di partecipazione al Concorso sono le seguenti:

1) Al concorso sono ammessi i Soci della Società Italiana di Fisica che abbiano fatto pervenire la quota sociale per l'anno 2003 entro il 30 giugno 2003 e che abbiano conseguito, presso una Università italiana, la laurea in Fisica dopo il maggio 2000.

2) La domanda di ammissione al Concorso, redatta su carta libera e recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, dovrà pervenire alla Presidenza della Società Italiana di Fisica, Via Saragozza 12, 40123 Bologna, entro il 30 giugno 2003.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire i seguenti documenti:

- a) il curriculum degli studi universitari, rilasciato dall'Università dove si è laureato, comprovante le votazioni ottenute e la data del conseguimento della laurea;
- b) l'indicazione bibliografica degli eventuali lavori già pubblicati, in particolare sul Nuovo Cimento;
- c) la documentazione dell'attività didattica svolta;
- d) ogni altro documento che ritenga utile ai fini del Concorso stesso.

4) Il Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica attribuirà il relativo premio. La decisione del Consiglio è inappellabile.

5) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo LXXXIX Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Parma, 17 - 22 settembre 2003.

Concorso ad un premio per la Fisica riservato ai dottori in Fisica laureatisi dopo il maggio 1996.

La Società Italiana di Fisica bandisce un Concorso ad almeno un premio di EUR 1.500,00 (millecinquecento) e diploma, da assegnare a cultori della ricerca fisica. Le norme di partecipazione al Concorso sono le seguenti:

1) Al concorso sono ammessi i Soci della Società Italiana di Fisica che abbiano fatto pervenire la quota sociale per l'anno 2003 entro il 30 giugno 2003 e che abbiano conseguito, presso una Università italiana, la laurea in Fisica dopo il maggio 1996.

2) La domanda di ammissione al Concorso, redatta su carta libera e recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, dovrà pervenire alla Presidenza della Società Italiana di Fisica, Via Saragozza 12, 40123 Bologna, entro il 30 giugno 2003.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire i seguenti documenti:

- a) il curriculum degli studi universitari, rilasciato dall'Università dove si è laureato, comprovante le votazioni ottenute e la data del conseguimento della laurea;
- b) l'indicazione bibliografica degli eventuali lavori già pubblicati, in particolare sul Nuovo Cimento;
- c) la documentazione dell'attività didattica svolta;
- d) ogni altro documento che ritenga utile ai fini del Concorso stesso.

4) Il Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica attribuirà il relativo premio. La decisione del Consiglio è inappellabile.

5) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo LXXXIX Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Parma, 17 - 22 settembre 2003.



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Borsa “Antonio Stanghellini”

Per onorare la memoria del Professor Antonio Stanghellini, la Società Italiana di Fisica bandisce, ogni tre anni, un concorso ad una borsa di studio da destinarsi ad un giovane laureato in Fisica per svolgere attività di ricerca. Per il 2003 valgono le seguenti norme:

1) È bandito il concorso per l'assegnazione della borsa “Antonio Stanghellini” per il 2003 dell'importo di EUR 1.300,00.

2) Sono ammessi al concorso coloro che abbiano conseguito la Laurea in Fisica, presso una Università italiana, nel periodo compreso fra il 1° gennaio 2000 ed il 31 dicembre 2002, discutendo una tesi di Fisica Teorica.

3) La domanda di ammissione al Concorso, redatta su carta libera e recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, dovrà pervenire alla Presidenza della Società Italiana di Fisica, Via Saragozza 12, 40123 Bologna, entro il 30 giugno 2003.

4) Alla domanda i candidati dovranno allegare:

a) certificato di studio in carta libera da cui risultino i voti riportati nei singoli esami e nell'esame di laurea;

b) copia della tesi di laurea;

c) l'indicazione bibliografica degli eventuali lavori già pubblicati;

d) un piano dettagliato di utilizzazione della borsa, in relazione con l'attività svolta, gli interessi di ricerca del candidato e il periodo previsto per l'utilizzo.

Il ritardo nella presentazione o nell'arrivo della domanda con la relativa documentazione, qualunque ne sia la causa, anche non imputabile al candidato, comporterà l'inammissibilità dell'aspirante al concorso. Nel caso di spedizione per raccomandata farà fede la data del timbro postale di partenza, che dovrà essere non successiva al 30 giugno 2003.

5) Il vincitore sarà scelto dalla Commissione nominata dal Consiglio di Presidenza della SIF. Il giudizio della Commissione è insindacabile.

6) Il vincitore dovrà comunicare la propria accettazione entro 30 giorni dalla notifica del conferimento della borsa, impegnandosi per iscritto ad attuare entro il 29 febbraio 2004 il programma di studi presentato.

7) La Borsa verrà conferita in occasione del prossimo LXXXIX Congresso annuale della Società Italiana di Fisica – Parma, 17 - 22 settembre 2003.

Premio “Sergio Panizza”

La Società Italiana di Fisica, per iniziativa e con il contributo della Società Laser Optronica di Milano, attribuisce un premio biennale di EUR 6.000,00 intitolato a Sergio Panizza, destinato a un cittadino italiano che abbia svolto attività di ricerca e dato importanti contributi scientifici nel campo della Optoelettronica.

Il premio verrà direttamente assegnato senza concorso su parere della Commissione Scientifica nominata dal Consiglio di Presidenza della SIF.

Il premio verrà conferito in occasione del prossimo LXXXIX Congresso annuale della Società Italiana di Fisica – Parma, 17 - 22 settembre 2003.

Premio “Associazione Geofisica Italiana”

La Società Italiana di Fisica, per iniziativa e grazie al contributo dell'Associazione Geofisica Italiana, bandisce un concorso ad un premio per giovani laureati con una tesi in Geofisica con le seguenti norme:

1) È bandito il concorso per l'assegnazione del Premio “Associazione Geofisica Italiana” per il 2003 dell'importo di EUR 1.000,00.

2) Sono ammessi al concorso coloro che abbiano conseguito la Laurea presso una Università italiana, dopo il maggio 2001, discutendo una tesi in Geofisica.

3) La domanda di ammissione al Concorso, redatta su carta libera e recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, dovrà pervenire alla Presidenza della Società Italiana di Fisica, Via Saragozza 12, 40123 Bologna, entro il 30 giugno 2003.

4) Alla domanda i candidati dovranno allegare:

a) certificato di studio in carta libera da cui risultino i voti riportati nei singoli esami e nell'esame di laurea;

b) copia della tesi di laurea;

c) ogni altro documento, ritenuto utile ai fini del concorso.

Il ritardo nella presentazione o nell'arrivo della domanda con la relativa documentazione, qualunque ne sia la causa, anche non imputabile al candidato, comporterà l'inammissibilità dell'aspirante al concorso. Nel caso di spedizione per raccomandata farà fede la data del timbro postale di partenza, che dovrà essere non successiva al 30 giugno 2003.

5) Il vincitore sarà scelto da una Commissione giudicatrice formata congiuntamente da SIF ed AGI. Il giudizio della Commissione è insindacabile.

6) Il Premio verrà conferito in occasione del prossimo LXXXIX Congresso annuale della Società Italiana di Fisica – Parma, 17 - 22 settembre 2003.



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

PREMIO “ENRICO FERMI” DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

La Società Italiana di Fisica bandisce per l'anno 2003 un Premio di EUR 15.000,00 che verrà attribuito a un Socio che abbia particolarmente onorato la Fisica Italiana con le sue scoperte.

Il Premio verrà consegnato nella seduta inaugurale del LXXXIX Congresso Nazionale della SIF che si terrà a Parma il 17 settembre 2003 su proposta di una Commissione costituita da:

- il Presidente della Società Italiana di Fisica che la presiede
- un Membro designato dal Presidente dell'Accademia Nazionale dei Lincei
- un Membro designato dal Presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche
- un Membro designato dal Presidente dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
- un Membro designato dal Presidente dell'Istituto Nazionale per la Fisica della Materia
- un Membro designato dal Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica

Ogni Socio può formulare per iscritto proposte motivate indirizzandole *entro il 30 giugno 2003* al Presidente della Società Italiana di Fisica.

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Via SARAGOZZA 12
40123 BOLOGNA
TEL 051/331554 – FAX 051/581340
sif@sif.it – <http://www.sif.it>

BOLOGNA, MARZO 2003

IL PRESIDENTE DELLA SIF
GIUSEPPE-FRANCO BASSANI

PERCORSI

RICORDI DELL'EFFETTO "RIGA NERA"

La fisica atomica italiana deve molto per la sua rinascita nel dopoguerra, e per il suo successivo sviluppo che oggi la vede protagonista sulla scena mondiale, alla figura carismatica di Adriano Gozzini. Tra le molte scoperte realizzate nel suo Laboratorio di Pisa quella della trasparenza elettromagneticamente indotta ha aperto un nuovo campo di ricerca e si sta rivelando di sempre maggior attualità. A venticinque anni dalla scoperta Alzetta, Arimondo e Moi hanno ricevuto il premio Panizza della Società Italiana di Fisica. A loro e a Orriols è stato chiesto di raccontare le origini della famosa "riga nera" e ognuno di essi ha brevemente narrato i suoi ricordi ed ha descritto il proprio coinvolgimento personale nella vicenda. Li ringraziamo della disponibilità e ci auguriamo che questi racconti siano di interesse per tutti i fisici italiani e non soltanto italiani. Il fenomeno della trasparenza elettromagneticamente indotta ha prodotto molte inattese novità (laser senza inversione di polarizzazione, luce lenta, rallentamento di atomi) ma altre ne promette a breve termine. Questa di Alzetta, Arimondo e Moi è un'ulteriore testimonianza della verità del detto latino "parva sunt principia rerum".

G.-F. Bassani

G. Orriols

*Universitat Autònoma de Barcelona,
Bellaterra, Barcelona, Spain*

E. Arimondo

*Dipartimenti di Fisica E. Fermi, Università di
Pisa, via F. Buonarroti 2, I-56127 Pisa*

Ecco come G. Orriols ricorda la riga nera.

I metodi ottici della spettroscopia a radiofrequenza hanno rappresentato il passaggio dal fare spettroscopia della luce a fare spettro-

scopia con la luce, e questo si è andato accentuando via via che si sono sviluppate le diverse tecniche di spettroscopia laser. Il laser, comparso all'inizio degli anni sessanta, è stato il frutto del lavoro di persone dedite allo studio di problemi di interazione radiazione-materia nel dominio del visibile e delle microonde, che ha prodotto quel figlio riconoscente il quale molto ha donato alla sua madre spettroscopia. E questo nonostante la proprietà più intrinseca della luce laser, la coerenza spaziale, non sia stata del tutto sfruttata. In cambio, la buona direzionalità del fascio, la forte densità di energia e la possibilità di una estrema monocromaticità hanno permesso di giocare con gli atomi quasi fossero palle da foot-ball. È un problema però avere una luce laser della lunghezza d'onda necessaria per una transizione determinata d'un atomo determinato. A questo scopo, l'avvento del laser sintonizzabile a colorante al principio degli anni settanta ha rappresentato la luce per gli spettroscopisti. Concretamente, il laser a rodamina permette di sintonizzare sopra le righe gialle del sodio, e per parecchi anni molti laboratori dedicarono sforzi nel fare esperimenti sul vapore di sodio.

In particolare, uno dei primi laboratori europei a disporre di un laser a coloranti fu l'Istituto di Fisica Atomica e Molecolare del CNR, situato qualche strada più in là della Torre di Pisa, dove operava un gruppo dedicato alla spettroscopia laser, diretto da Gerardo Alzetta e Adriano Gozzini, e un gruppo di giovani laureandi, tra i quali mi sono trovato io stesso a partire dall'anno 1975. A quell'epoca il gruppo faceva spettroscopia delle molecole alcaline partendo dalla fluorescenza indotta dal laser e studiava l'influenza dell'orientazione atomica prodotta per pompaggio ottico sul processo di formazione delle molecole, così come le conseguenze delle collisioni tra atomi e molecole in stato eccitato. Inoltre si stava sviluppando un metodo di osservazione diretta dei fenomeni di riso-

nanza magnetica in un vapore di sodio otticamente orientato, una esperienza che ha dato spazio alla mia tesi di dottorato e alle quattro pubblicazioni che stiamo commentando⁽¹⁻⁴⁾. L'idea era molto semplice, ma poteva venire soltanto ad un italiano.

Dobbiamo cominciare spiegando come è fatto un esperimento tipico di pompaggio ottico. Abbiamo un vapore atomico, attraversato da un fascio di luce risonante polarizzata circolarmente e sottoposto ad un campo magnetico statico uniforme. La conservazione del momento angolare implica una eccitazione selettiva che congiuntamente alla ricaduta isotropa dell'emissione spontanea, tende ad accumulare tutti gli atomi in un certo sottolivello Zeeman dello stato fondamentale. Questo sottolivello corrisponde ad una orientazione determinata del momento angolare e gli atomi non possono assorbire la luce circolarmente polarizzata nè generare fluorescenza. In queste condizioni se applichiamo un campo a radiofrequenza e agghustiamo la separazione tra i sottolivelli Zeeman mediante una spazzata del valore del campo magnetico, potremo osservare uno spettro di risonanza magnetica. Le transizioni dal sottolivello popolato a qualsivoglia altro sottolivello provocano un aumento dell'assorbimento della luce e della fluorescenza e, in questo modo, le risonanze si possono osservare otticamente. Per mezzo della luce laser il fenomeno si può osservare ad occhio nudo e su questo il gruppo di Pisa cominciò a lavorare.

L'idea luminosa — non so se di Alzetta o di Gozzini — consisteva nello sbarazzarsi dei campi magnetici uniformi e delle corrispondenti spazzate nel tempo e fare tutto il contrario: applicare un campo magnetico spazialmente variabile in maniera che lo spettro di risonanza magnetica appaia distribuito sopra il cammino fluorescente del fascio laser. D'altra parte, poiché nel centro del fascio laser l'intensità è più elevata che ai lati, la dimensione radiale del fascio mette in evidenza gli effetti radiativi indotti dalla luce sulle risonanze magnetiche. Cioè a dire, il metodo permette di osservare con un colpo d'occhio le caratteristiche delle risonanze di bassa frequenza in funzione delle due variabili distribuite nello spazio: il campo magnetico e la intensità luminosa. La fig. 1 riporta un esempio dei risultati sperimentali osservati sulla fluorescenza indotta nei vapori di sodio dalle risonanze magnetiche fra livelli dello stato fondamentale.

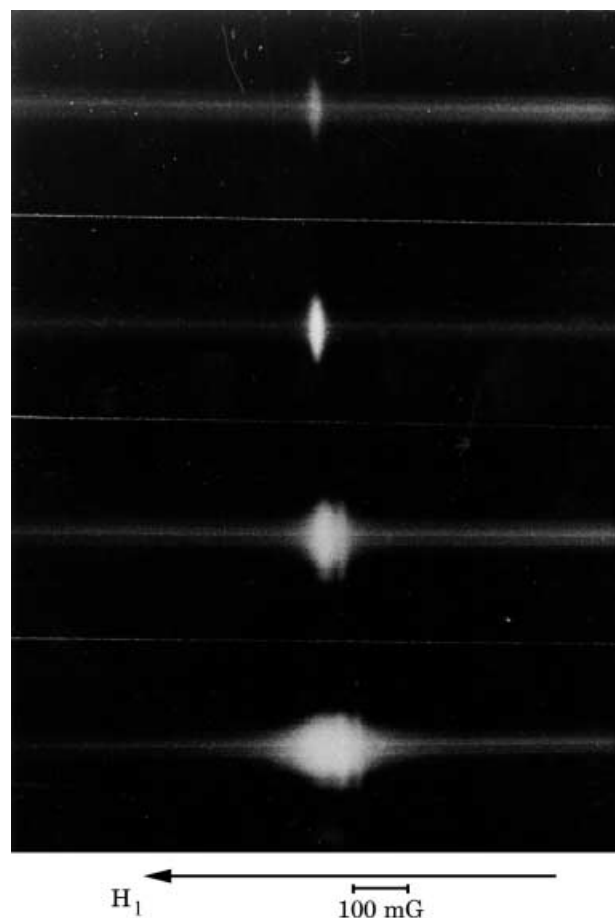


Fig. 1. — Distribuzione spaziale della fluorescenza emessa dai vapori di sodio a causa della risonanza magnetica a radiofrequenza, con transizioni multifotoniche indotte per potenze a radiofrequenza crescenti dall'alto verso il basso. In basso è riportata la scala del campo magnetico longitudinale H_1 disomogeneo lungo la direzione di propagazione del laser. (Foto cortesemente messa a disposizione da G. Alzetta.)

Il “colpo d'occhio” è molto importante perchè significa che l'osservatore raccoglie molte informazioni e che non solo può lavorare più rapidamente, ma che può anche vedere cose non visibili in altro modo. Non è un metodo per fare misure ma per osservare e, di fatto, per divertirsi. Orbene una prima questione è come deve essere la luce laser per avere una buona eccitazione del vapore. Dobbiamo tenere conto che la transizione ottica di un atomo di sodio ha una larghezza naturale di circa 10 MHz, però, nel gas, l'effetto Doppler e la dispersione delle velocità atomiche spostano le righe di un atomo rispetto a quelle degli altri e ne risulta una larghezza complessiva dell'ordine del GHz. Cioè l'eccitazione globale del vapore richiedeva luce con uno spettro che coprisse il GHz in questione, e come conseguire questo con la luce del laser non è

evidente. Nel nostro caso si usava un laser multimodo che ricopriva una larghezza di banda di 35 GHz, che però mantiene ben determinata la separazione tra i modi per cui questi fluttuano. Il resto dell'esperimento è semplice: una disposizione asimmetrica di bobine che permette di creare il campo magnetico statico con un certo gradiente spaziale e una coppia di bobine che induca il campo a radiofrequenza. Così una risonanza magnetica di radiofrequenza ha l'aspetto di una tacca luminosa di forma lenticolare sospesa sulla traccia della fluorescenza che il fascio laser lascia nel vapore orientato. La convessità della tacca lenticolare aumenta con la potenza laser e, d'altra parte, si trasforma gradualmente in un cono quando la sintonia spettrale tra la luce e la transizione atomica è disintonizzata asimmetricamente. Questi effetti pongono in evidenza l'allargamento e gli *shift* radiativi prodotti dalla luce sui sottolivelli Zeeman della risonanza magnetica. Aumentando la potenza del campo radio, si produce un allargamento globale della tacca luminosa e l'apparire di altre risonanze vicine che corrispondono a due, tre e quattro fotoni. Aggiungendo dei campi a microonde, si possono vedere transizioni di struttura iperfina e con i due campi a bassa frequenza si possono osservare transizioni multifotoniche ibride con un fotone di alta frequenza ed alcuni di bassa frequenza.

Con tutti questi fenomeni, che nel giro di un anno mi ero dedicato ad osservare, pensavo di avere materiale sufficiente per la tesi, e così la proposi ad Alzetta; il quale però, consapevole che quanto proponevo non era ancora del tutto originale, mi disse: "In ogni caso c'è ancora il fenomeno della *riga nera*".

Accidenti, se aveva un segreto! E dalla maniera come lo disse, capii subito che si trattava di un tesoro. In quel giorno mi fu fatto il miglior regalo che abbia mai avuto in vita mia.

Avviene che, utilizzando un fascio laser come quello descritto, sulla traccia della luce di fluorescenza si possono osservare delle righe nere molto più sottili delle forme lenticolari delle risonanze a radiofrequenza, e ciascuna ad un valore ben definito del campo magnetico, come è mostrato in fig. 2.

Si tratta di risonanze magnetiche a bassa frequenza indotte direttamente dal laser. La intensità delle righe dipende dalla direzione del campo magnetico rispetto a quella del fascio laser e ciascuna varia in maniera differente dalle altre.

Avvicinando un magnete in modo che il va-

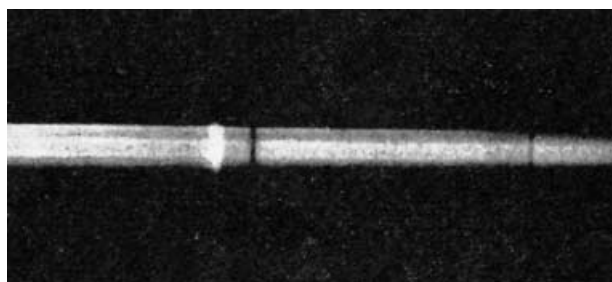


Fig. 2. – Righe nere (ed una brillante dovuta alla risonanza magnetica) osservate sulla traccia di fluorescenza eccitata dal laser a colorante nei vapori di sodio. Come in fig. 1, un campo magnetico disomogeneo è applicato lungo la direzione di propagazione del laser. (Riprodotta dalla figura 12 di ref. (1).)

pore sia sottomesso a campi di centinaia di gauss si può osservare un boschetto di righe, cioè un insieme spettacolare di righe discrete, alcune brillanti e alcune nere e con una struttura complessa, molto sensibile alle condizioni di lavoro dell'oscillatore laser.

Il fenomeno essenziale è la riga nera: una risonanza su una transizione allo stato 3P che parte dai sottolivelli dello stato fondamentale, indotta otticamente grazie al fatto che la luce laser è costituita da frequenze ottiche separate dalla frequenza di cui sono separati i sottolivelli di struttura iperfina. La risonanza produce una diminuzione molto pronunciata dell'assorbimento della luce e, in conseguenza, della fluorescenza. La causa è che, in condizione di risonanza, gli atomi si collocano in uno stato di sovrapposizione dei due autostati dell'energia e si comportano come non assorbenti a causa di una interferenza distruttiva delle ampiezze di probabilità di transizione tra i due canali di eccitazione ottica.

Abbiamo uno stato macroscopico coerente nel quale tutti gli atomi evolvono in fase tra loro e in accordo con la fase relativa tra i due campi ottici. È un fenomeno non lineare perché coinvolge due transizioni ottiche, però si può apprezzare anche con potenze molto piccole della luce grazie al fatto che agisce un meccanismo d'accumulazione tipo pompaggio ottico. D'altra parte, la risonanza non è influenzata dall'ampiezza naturale delle transizioni ottiche e, inoltre, è insensibile all'effetto Doppler, poiché i due campi ottici copropagantesi compensano mutuamente i loro effetti.

In definitiva, l'accumulazione degli atomi in uno stato non assorbente o stato nero è un effetto risonante, coerente e non lineare con due peculiarità non molto comuni. Da una parte, è un

fenomeno forte e robusto, dall'altra è un effetto abbastanza generale. Questo ha fatto sì che sia stato oggetto di interesse e continui ad esserlo in relazione a una notevole varietà di tematiche, come per esempio la spettroscopia laser di alta risoluzione, la ionizzazione multifotonica, gli orologi atomici o standard di frequenza, i magnetometri di alta sensibilità, la coniugazione di fase per mescolamento di quattro onde, la bistabilità ottica e alcune altre instabilità dinamiche, la trasparenza indotta elettromagneticamente, gli indici di rifrazione elevati senza assorbimento, l'interferenza atomica, la produzione di luce in stati non classici, il raffreddamento di atomi con laser, l'amplificatore laser senza inversione di popolazione. Di tutte queste applicazioni quella che ha avuto più importanza è stato il raffreddamento degli atomi, che costituì uno dei motivi del premio Nobel per la fisica a Cohen-Tanoudji, nell'anno 1997. Il gruppo di Cohen-Tanoudji usò gli stati non assorbenti per eludere il riscaldamento causato dal rinculo nell'emissione spontanea, che sembrava un limite insormontabile dei metodi di raffreddamento con la luce. L'idea è basata sul produrre lo stato nero con due luci contropropagantesi invece di copropagantesi, in modo che ci sia più sensibilità all'effetto Doppler e si accumulino solo gli atomi che non si muovono nella direzione del fascio laser. Così gli atomi restano intrappolati in uno stato non assorbente e di velocità nulla nella direzione della luce. Un atomo che si muova comincerà ad assorbire e a riemettere luce finché resti in riposo e così, si vanno accumulando tutti gli atomi finché non abbiano raggiunto temperature inferiori a 10^{-6} K.

Per concludere, lasciatemi spiegare che i miei contributi al fenomeno della riga nera consistettero nell'averlo caratterizzato sperimentalmente — assieme a Luigi Moi —, averne intuito una interpretazione fisica in termini di interferenza quantistica tra i due canali di eccitazione — basandomi sulle idee più classiche di Gozzini e Alzetta — e averne sviluppato un modello teorico semiclassico con l'aiuto di Ennio Arimondo e partendo da un suggerimento di Rodolfo Bonifacio. Introdussi anche il nome di risonanze senza assorbimento, che, dopo essere stato utilizzato per alcuni anni, è stato sostituito poco a poco dalla attuale denominazione di intrappolamento coerente di popolazione.

*(Traduzione dal catalano di Rosa Garcia
(Università di Pisa) rivista da G. Alzetta)*

Ecco come E. Arimondo ricorda la riga nera.

Era l'inizio del 1975 quando per la prima volta venni a conoscenza del fenomeno della riga nera osservato da Gerardo Alzetta, Adriano Gozzini, Luigi Moi e Gaspar Orriols nel Laboratorio di Fisica Atomica e Molecolare del CNR diretto da Adriano Gozzini. Obiettivo dell'esperimento era utilizzare per il pompaggio ottico di atomi di sodio, in fase di vapore saturo tenuti in una cella di Pyrex, una nuova sorgente, un laser a colorante rodamina-6G pompato da un laser ad argon, uno dei pochi funzionanti in Italia in quel momento. Poiché la potenza fornita dal laser sulla riga di risonanza del sodio era molto superiore a quella prodotta dalle lampade a scarica di radiofrequenza utilizzate in precedenza, l'uso del laser per il pompaggio ottico doveva produrre un più efficiente pompaggio, cioè una frazione più alta di atomi di sodio in sottolivelli Zeeman dello stato fondamentale corrispondenti ad una polarizzazione magnetica ben definita. Le osservazioni sperimentali di Alzetta e collaboratori avevano invece dimostrato che nelle condizioni dell'esperimento l'aumento di polarizzazione non si verificava, ed anzi si produceva una drastica diminuzione della polarizzazione degli atomi di sodio. Anche se Gozzini ed Alzetta, con cui ogni giorno, secondo l'abitudine pisana, andavo a prendere il caffè, parlavano sempre appassionatamente di questa misteriosa riga nera, ogni informazione più precisa sull'esperimento non circolava al di fuori del gruppo di ricerca direttamente coinvolto.

Il mio coinvolgimento vero iniziò verso l'autunno del 1975 quando Gaspar Orriols cominciò a discutere con me dell'interpretazione del fenomeno. Infatti Gaspar, dovendo scegliere l'argomento della sua tesi di perfezionamento fra la riga nera ed i "doppietti del sodio" (un altro fenomeno scoperto nello stesso Laboratorio nel 1975⁽⁵⁾), aveva deciso di concentrarsi sulla riga nera. Le discussioni con Gaspar mi fornirono una descrizione più precisa delle osservazioni sperimentali. Per caratterizzare la risposta atomica Alzetta aveva applicato agli atomi di sodio eccitati dal laser la tecnica di tomografia spaziale introdotta in quegli anni da Paul Lauterbur per la risonanza magnetica⁽⁶⁾, tecnica che fornendo una precisa risoluzione spaziale è poi diventata la base delle applicazioni biomediche

della risonanza magnetica. Avendo applicato alla cella contenente gli atomi di sodio un campo magnetico disomogeneo lungo la direzione di propagazione della luce laser, nell'esperimento di Alzetta e collaboratori⁽¹⁾ la diminuzione nella polarizzazione atomica appariva localizzata, come una riga nera, in una posizione longitudinale della cella, in corrispondenza ad un valore ben definito del campo magnetico, come mostrato in fig. 1 e 2. Il campo magnetico corrispondente alla posizione spaziale della riga nera dipendeva dalle caratteristiche del laser. Per caratterizzare la emissione del laser utilizzata, Alzetta aveva esaminato la distribuzione spettrale dei modi del laser utilizzando un interferometro Fabry-Pérot. Pertanto aveva scoperto che il laser aveva una emissione a multimodi, con una spaziatura regolare di 290 MHz, determinata dal *free-spectral range* (FSR) della cavità laser, e con un elevato numero di modi emessi, circa trenta. La riga nera nell'emissione di luce dalla cella di sodio era prodotta quando la differenza in frequenza fra due modi dell'emissione laser separati da sei volte il FSR risultava uguale alla separazione di 1.8 GHz fra sottolivelli Zeeman dei due stati iperfini (con momenti angolari totali $F=1$ ed $F=2$) dello stato fondamentale dell'atomo di sodio.

Sulla base di queste informazioni Gaspar ed io cominciammo a sviluppare una adeguata descrizione teorica. Il pompaggio ottico con le tradizionali sorgenti a scarica era descritto sulla base di equazioni di flusso per le popolazioni atomiche. Queste equazioni non erano in grado di spiegare le osservazioni sperimentali. Pertanto era necessario utilizzare una descrizione più completa, quella basata sulle equazioni per la matrice densità ottica degli atomi eccitati dalla radiazione laser. Ero a conoscenza della descrizione basata sulla matrice densità che era stata elaborata l'anno prima da Claude Cohen-Tannoudji per descrivere la risposta di atomi di sodio in un sistema a due livelli eccitato da radiazione laser monocromatica⁽⁷⁾. Seguendo questo approccio, con Gaspar iniziammo una analisi basata sulle equazioni della matrice densità per un sistema a tre livelli nella configurazione denominata Λ interagente con un laser a due modi, schematizzata in fig. 3(a). Il modello era basato su alcune drastiche ipotesi: i) solo tre livelli atomici sono importanti nella produzione della riga nera; ii) la complessità delle eccitazioni del laser a multimodi è irrilevante e solo due modi del laser sono importanti

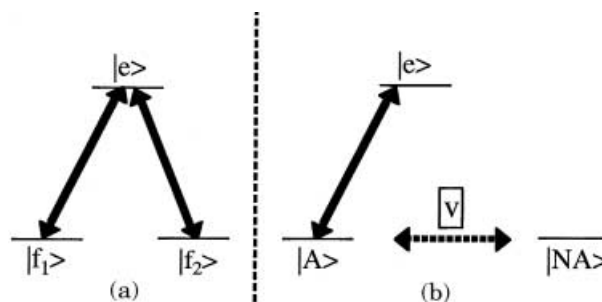


Fig. 3. - In (a) rappresentazione schematica di un sistema a tre livelli, nella base degli stati atomici con due fondamentali $|f_1\rangle$ e $|f_2\rangle$ ed uno eccitato $|e\rangle$, eccitati da due radiazioni laser, indicate dalle righe in grassetto. In (b) rappresentazione schematica della interazione di un sistema a tre livelli nella base degli stati accoppiati $|A\rangle$ e $|NA\rangle$, con solo lo stato $|A\rangle$ eccitato dalla radiazione laser. La linea tratteggiata che congiunge gli stati $|A\rangle$ e $|NA\rangle$ indica l'accoppiamento, proporzionale alla velocità atomica, prodotto dalla energia cinetica nel raffreddamento laser basato sull'intrappolamento coerente delle popolazioni selettivo in velocità prodotto da due laser nella configurazione contropropagante.

nella produzione della riga nera; iii) i due modi del laser rilevanti per la produzione della riga nera sono correlati in fase. È interessante notare che a tutt'oggi queste ipotesi non sono state mai testate con attenzione, ed in particolare la relazione di fase fra i modi di emissione di un laser multimodo è ancora oggi oggetto di investigazione nell'ambito della spettroscopia laser.

All'inizio del 1976 il progresso nell'analisi dell'esperimento ricevette una spinta eccezionale. Infatti Rodolfo Bonifacio dell'Università di Milano fu invitato a Pisa a tenere un seminario sulla bistabilità ottica. In occasione di quella visita, discutendo le proprietà di un sistema atomico a tre livelli, Rodolfo mi segnalò un articolo di Brewer ed Hahn pubblicato l'anno prima, dove il problema della matrice densità di un sistema a tre livelli era stato risolto analiticamente in maniera esatta⁽⁸⁾. Quella soluzione era quanto serviva alla nostra analisi. Appena inserimmo nelle forme Lorentziane di assorbimento e dispersione della soluzione di Brewer ed Hahn i parametri dell'esperimento, ottenemmo la curva di fig. 4 per la popolazione atomica di sodio nello stato eccitato dei tre livelli nella configurazione Λ , quindi l'emissione fluorescente degli atomi di sodio eccitati dai due laser. In tale curva, diventata l'esempio classico del fenomeno, in uno stretto intervallo intorno alla posizione centrale di risonanza appare una diminuzione della popolazione eccitata, quindi una diminuzione della

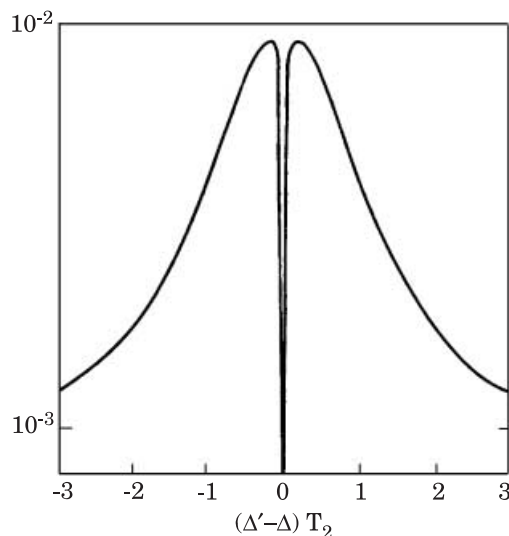


Fig. 4. - Occupazione dello stato eccitato $|e\rangle$ di un sistema a tre livelli come funzione della differenza $(\Delta' - \Delta)$, il disaccordo dei due laser applicati al sistema, disaccordo normalizzato al decadimento T_2 delle coerenze ottiche (riprodotta dalla figura 1 di ref. (2)). Risultato per il caso di $\Delta = 0$ ed altri parametri nella referenza originale.

fluorescenza emessa, corrispondente alla riga nera osservata nell'esperimento.

All'inizio dell'estate del 1976 questa analisi era completata, e dato che la spiegazione del fenomeno come una interferenza nei processi di occupazione dello stato eccitato era per noi chiara, decidemmo di pubblicare i risultati ottenuti. Nel frattempo io mi stavo preparando per un soggiorno di due anni ad Ottawa (Canada), quindi ero interessato a concludere il lavoro di ricerca in corso a Pisa. In questa situazione ritenemmo conveniente sottomettere subito per una pubblicazione i risultati della nostra analisi teorica: il nostro lavoro fu sottomesso alle "Lettere del Nuovo Cimento" in data 30 Agosto 1976 e rapidamente pubblicato il 6 Novembre dello stesso anno⁽²⁾.

A Gaspar avevo suggerito di completare l'analisi teorica basata sulla matrice densità, realizzando l'integrazione Doppler per tener conto della distribuzione delle velocità atomiche. Gaspar arrivò anche ad una interpretazione teorica della riga "bianca", un aumento della fluorescenza atomica osservata nell'esperimento simultaneamente alla riga nera, ma per diverse condizioni di frequenza del laser di eccitazione. Dopo due anni di soggiorno in Canada mi arrivarono ad Ottawa per posta i risultati del lavoro di Gaspar, un gran pacco di fogli contenenti i calcoli analitici e numerici effettuati. Non

avendo per nulla contribuito a questa fase del lavoro, declinai la proposta di Gaspar di completare insieme l'analisi del fenomeno e lo invitai a firmare da solo il lungo lavoro teorico che poi venne pubblicato sul "Nuovo Cimento"⁽⁴⁾.

Il fenomeno può essere spiegato in termini molto semplici usando un cambiamento di base per gli studi atomici. Supponiamo di partire da un sistema tre livelli come quello di fig. 3(a), con due livelli $|f_1\rangle$ e $|f_2\rangle$ di uno stato fondamentale atomico ed un livello eccitato atomico $|e\rangle$, in interazione con due radiazioni laser, una che agisce sulla transizione da $|f_1\rangle$ ad $|e\rangle$, e l'altra sulla transizione da $|f_2\rangle$ ad $|e\rangle$. Supponiamo inoltre che queste interazioni abbiano la stessa ampiezza. La linearità della meccanica quantistica ci permette di applicare una trasformazione di base atomica, ed esaminare la evoluzione atomica dentro la base atomica costituita dallo stato $|NA\rangle = (|f_1\rangle - |f_2\rangle)/\sqrt{2}$ nonaccoppiato alle radiazioni laser, o stato nero, e dallo stato ortogonale $|A\rangle = (|f_1\rangle + |f_2\rangle)/\sqrt{2}$, fortemente accoppiato alle radiazioni laser, come schematicamente rappresentato in fig. 3b. A causa del pompaggio ottico prodotto dalle radiazioni laser che agiscono sullo stato $|A\rangle$ e dalla presenza della emissione spontanea che trasferisce atomi dallo stato $|e\rangle$ ad ambedue gli stati fondamentali, gli atomi sono pompati nello stato nero $|NA\rangle$. Pertanto nelle condizioni della transizione a due fotoni di $\delta = 0$, la fluorescenza atomica presenta il buco nero delle osservazioni sperimentali di fig. 1 e della simulazione teorica di fig. 4.

Il mio successivo coinvolgimento con la riga nera avvenne all'Università di Rochester, nella città omonima nel nord dello stato di New York, dove tra l'8 ed il 10 giugno del 1977 si svolgevano due Conferenze in parallelo, la Conferenza Internazionale sui *Multiphoton Processes* e la Quarta Conferenza della serie di *Coherence and Quantum Optics*. Partecipavo alla prima Conferenza, per presentare alcuni risultati del lavoro effettuato ad Ottawa, mentre sia Claude Cohen-Tannoudji che Alain Aspect partecipavano alla seconda Conferenza. Un pomeriggio, durante lo svolgimento simultaneo delle due Conferenze, Claude ed Alain mi cercarono affannosamente per chiedermi perché non ero stato presente alla relazione tenuta da Carlos R. Stroud jr. dell'Università di Rochester sulla fluorescenza di risonanza in un sistema a tre livelli⁽⁹⁾ nell'ambito della *Coherence and Quantum Optics*. Dopo che ebbi spiegato di essere a Rochester per seguire l'altra Conferenza, mi

raccontarono che nella sua relazione Stroud aveva presentato osservazioni sperimentali assolutamente identiche a quelle della riga nera ottenute l'anno precedente a Pisa. Pertanto alla fine della relazione di Stroud, Claude Cohen-Tannoudji era intervenuto spiegando sinteticamente i risultati sperimentali e l'analisi teorica effettuati a Pisa. I risultati del gruppo di Rochester furono pubblicati l'anno successivo su "Optics Letters", e nel titolo di quella pubblicazione fu utilizzato per la prima volta il nome di "*coherent population trapping*" (intrappolamento coerente delle popolazioni), quello che resterà successivamente nella letteratura per indicare il fenomeno di interferenza nell'ampiezza di probabilità che avviene in un sistema a tre livelli⁽¹⁰⁾. Per una visione completa dei contributi di Pisa e Rochester, bisogna ricordare che in precedenza, nel 1976, il gruppo di Rochester aveva pubblicato un lavoro teorico sulla risposta di un sistema a tre livelli nella configurazione a cascata eccitato da due radiazioni laser. Le loro simulazioni numeriche avevano ottenuto tutta la fisica della riga nera o dell'intrappolamento coerente delle popolazioni⁽¹¹⁾. Tuttavia in quel lavoro mancava la comprensione fisica del fenomeno, ed il gruppo di Rochester ebbe bisogno di ulteriore lavoro di ricerca per capire la risposta del sistema Λ come l'interferenza dei processi di eccitazione laser.

Negli anni successivi, mentre altri gruppi di ricerca in giro per il mondo cominciarono a studiare il fenomeno utilizzando spesso apparati molto sofisticati per investigare il l'itrappolamento coerente delle popolazioni o la trasparenza elettromagneticamente indotta⁽¹²⁾ (un fenomeno strettamente collegato), Alzetta continuava ad esaminare il fenomeno sulla cella di sodio utilizzando il laser multimodo descritto in precedenza ed il campo magnetico disomogeneo per la tomografia spaziale. Ancora, come nel suo stile, i risultati non venivano divulgati in conferenze od articoli pubblicati, ma restavano accumulati sul suo tavolo. Pertanto era molto difficile essere a conoscenza di cosa veniva man mano scoperto o verificato. Per esempio nel 1980 Claudio Nicolini discusse la sua tesi di laurea svolta sotto la guida di Alzetta. In quel lavoro di tesi, che lessi come controrelatore, sono contenute alcune importanti osservazioni sperimentali sulla larghezza spettrale della riga nera. Una parte di tali osservazioni furono successivamente rielaborate dopo molti anni, per esempio nella tesi di dottorato di Ji Hua Xu presso la

Scuola Normale Superiore nel 1994 sotto la guida di Adriano Gozzini, e successivamente pubblicate. Altre osservazioni, per esempio la dipendenza della larghezza della risonanza della riga nera dalle dimensioni del fascio laser di eccitazione, non sono mai state pubblicate.

Il mio successivo coinvolgimento con il fenomeno dell'intrappolamento coerente delle popolazioni avviene nel 1998 durante la visita all'Ecole Normale Supérieure di Parigi presso il gruppo diretto da Claude Cohen-Tannoudji, di cui faceva parte anche Alain Aspect. Come parte della mia attività, avevo cominciato a collaborare all'esperimento di raffreddamento laser di atomi di elio nello stato metastabile. Il fine dell'esperimento era verificare la temperatura limite raggiungibile applicando all'atomo di elio il meccanismo di raffreddamento Doppler, l'unico meccanismo di raffreddamento conosciuto in quel momento. Durante una breve visita di ritorno a Pisa ebbi l'occasione di incontrare Vladimir Minogin che era a Pisa per un seminario sui processi di raffreddamento laser. In quell'occasione Minogin mi raccontò il suo lavoro sulla applicazione del fenomeno della riga nera al processo di raffreddamento. Quando ritornai a Parigi, iniziai a discutere con Claude ed Alain sulla possibilità di effettuare un raffreddamento laser basato sul fenomeno della riga nera nell'esperimento sull'elio. Tuttavia, il primo punto era controllare la teoria sviluppata da Minogin e collaboratori, e fu subito chiaro che l'analisi sviluppata dal gruppo russo imponeva in maniera implicita che la temperatura raggiunta dagli atomi fosse superiore alla temperatura di rinculo, che rappresenta la temperatura acquisita da un atomo nel processo di assorbimento di un singolo fotone del laser di raffreddamento. Si escludeva quindi che utilizzando la riga nera si potesse arrivare in un regime differente, vicino od addirittura inferiore alla temperatura di rinculo. A quel punto Claude effettuò in gran fretta un calcolo differente, molto semplice a dire la verità, calcolo valido anche a temperature inferiori a quella di rinculo. La base dell'analisi fu l'aggiunta dell'evoluzione quantistica dovuta alla energia cinetica associata al moto dell'atomo nella base atomica $|A\rangle$ e $|NA\rangle$ introdotta in fig. 3(b) per spiegare la schema della riga nera. Nel caso che le due radiazioni laser che agiscono sul sistema atomico di fig. 3(a) siano prodotte da fasci laser contropropaganti nello spazio, l'energia cinetica produce un accoppiamento fra gli stati $|A\rangle$ e $|NA\rangle$ proporzionale alla velocità v

dell'atomo, come schematicamente indicato nella fig. 3(b). Allora il pompaggio ottico nello stato $|NA\rangle$ prodotto dai due laser è perfetto solo per gli atomi con velocità $v = 0$. La fisica della riga nera iniziata dalla fig. 1 veniva arricchita di un nuovo elemento, una perdita controllata associata al moto degli atomi.

Il risultato di questa analisi era che il meccanismo dell'intrappolamento coerente delle popolazioni della riga nera, se reso selettivo in velocità attraverso l'interazione con fasci laser contro-propaganti, poteva produrre atomi in una classe di velocità molto vicina a zero, quindi poteva produrre una temperatura di raffreddamento laser estremamente ridotta, con le sole limitazioni imposte dal pompaggio ottico, quindi di avere un sufficiente tempo di interazione fra i laser e l'atomo. Pertanto si poteva realizzare un meccanismo di raffreddamento laser senza il limite Doppler imposto dall'unico meccanismo noto in quel momento e neanche dalla temperatura di rinculo che si immaginava potesse costituire un altro limite difficilmente superabile dalla interazione atomo-laser. Fu subito chiaro che la realizzazione in laboratorio di questo meccanismo poteva rappresentare un enorme progresso nel raffreddamento laser. Pertanto tutta l'attività di raffreddamento sull'elio fu rivolta alla verifica del nuovo meccanismo previsto. Ed infatti dopo circa sei mesi, la prova sperimentale sullo stato metastabile dell'elio era realizzata⁽¹³⁾.

Da quel momento l'interesse per la riga nera veniva ulteriormente allargato dentro la comunità della fisica atomica e dell'ottica quantistica.

Bibliografia

- (1) G. ALZETTA, A. GOZZINI, L. MOI e G. ORRIOLS, *Il Nuovo Cimento B*, **36** (1976) 5.
- (2) E. ARIMONDO e G. ORRIOLS, *Lettere Nuovo Cimento*, **17** (1976) 333.
- (3) G. ALZETTA, L. MOI e G. ORRIOLS, *Il Nuovo Cimento B*, **52** (1979) 209.
- (4) G. ORRIOLS, *Il Nuovo Cimento B*, **53** (1979) 1.
- (5) M. ALLEGRI, G. ALZETTA, A. KOPYSTINSKA, L. MOI e G. ORRIOLS, *Opt. Commun.*, **19** (1976) 96.
- (6) P.C. LAUTERBUR, *Nature*, **242** (1973) 190.
- (7) C. COHEN-TANNOUDJI, in *Atomic Physics 4*, a cura di G. ZU PULTITZ, E.W. WEBER, A. WINNACKER (Plenum Press, New York and London) 1975 p. 589.
- (8) R.G. BREWER, E.L. HAHN, *Phys. Rev. A*, **11** (1975) 1641.
- (9) C.R. STROUD jr, H.R. GRAY, in *Coherence and Quantum Optics IV*, a cura di L. MANDEL, E. WOLF (Plenum Press, New York and London) 1978 p. 115.
- (10) H.R. GRAY, C.R. STROUD jr, *Opt. Lett.*, **3** (1978) 218.
- (11) R.M. WHITLEY, C.R. STROUD jr, *Phys. Rev. A*, **14** (1976) 1498.
- (12) S. HARRIS, *Physics Today*, **50**, No. 7 (1997) 36.
- (13) A. ASPECT, E. ARIMONDO, R. KAISER, N. VANSTEENDKISTE e C. COHEN-TANNOUDJI, *Phys. Rev. Lett.*, **61** (1988) 826.

L. Moi

*Dipartimento di Fisica, Università di Siena
via Roma 56, I-53100 Siena*

All'inizio degli anni '70 è avvenuta una grande rivoluzione nel campo della spettroscopia atomica e molecolare, l'avvento dei laser a coloranti continui e tunabili. Per chi aveva lavorato fino a quel momento solo con le lampade spettrali, la possibilità di selezionare la riga D_1 o la riga D_2 del sodio ruotando semplicemente una manopola, era assolutamente affascinante e magico. La fisica atomica si trovava alle soglie di una nuova stagione che sarebbe culminata ai giorni nostri con le tecniche del raffreddamento laser, con la condensazione di Bose Einstein e con molto molto altro.

In quegli anni nasceva a Pisa il Laboratorio di Fisica Atomica e Molecolare del CNR (LAFAM), divenuto poi Istituto di Fisica Atomica e Molecolare (IFAM) e, in tempi recentissimi, Istituto di Processi Chimico Fisici (IPCF). Fondatore e allora anche direttore del Laboratorio era Adriano Gozzini.

Il laboratorio aveva trovato una prima sistemazione provvisoria in tre piccole villette non contigue nella immediata periferia di Pisa, in località Gello. Venendo dalla città si imboccava una stretta via che correva nella campagna e che portava ad una prima villetta sulla sinistra della strada stessa e ad altre due sulla destra, spostate un po' più avanti. Nella prima villetta aveva trovato posto, in un capannone in giardino, l'officina meccanica, mentre all'interno c'erano la segreteria, il laboratorio di elettronica e di vetreria e qualche studio. Le altre due palazzine di due piani e divise in due o tre appartamenti erano contigue e ospitavano laboratori e studi. Nell'ultima c'era il gruppo diretto da Giuseppe Fornaca. Nella prima, oltre a Giulio Chella e al gruppo di Pino Salvetti, c'era il nostro gruppo di spettroscopia laser, diretto da Gerardo Alzetta. In quei primi anni hanno fatto parte del gruppo, oltre al sottoscritto, Maria Allegrini, Aleksandra Kopystynska e Gaspar Orriols. Nella foto (fig. 1), scattata probabilmente nel 1976, non compare Maria Allegrini in quel periodo all'estero per studio.

Il Laboratorio aveva avuto al momento della sua istituzione fondi sufficienti per l'acquisto fra l'altro di due laser ad argon di prima generazione e di due laser a coloranti. La potenza massima dei laser ad argon era a quei tempi di



Fig. 1. – Foto del gruppo di Spettroscopia Laser nell'anno '76. Da sinistra Gaspar Orriols, Gerardo Alzetta, Aleksandra Kopystynska e il sottoscritto. La foto è stata scattata sulla terrazza del laboratorio in via del Giardino a Pisa, seconda sede dell'IFAM.

soli 2 W e ricordo giornate intere passate ad allineare e a far funzionare i laser a coloranti che lavoravano molto prossimi alla soglia e non sempre in modo stabile. Avevamo sistemato un laser ad argon con il relativo laser a colorante nella stanza che avrebbe dovuto originariamente essere la sala da pranzo, mentre il secondo argon, con il suo laser a colorante, nella cucina dello stesso appartamento. Nella foto scattata da Alzetta (fig. 2) si vede la sistemazione nella cucina dei laser e dell'apparato per lo studio del pompaggio ottico e della riga nera. Come si vede tutto il montaggio era abbastanza semplice. I nostri studi erano nelle stanze dell'appartamento del secondo piano.

Negli anni '60, una delle attività prevalenti degli spettroscopisti era l'utilizzazione della tecnica del pompaggio ottico, proposta da Kastler, per lo studio dello stato fondamentale degli atomi e delle perturbazioni prodotte da campi e dagli urti con atomi e molecole. Il pompaggio ottico permette di accumulare, utilizzando luce risonante circolarmente polarizzata e in presenza di un opportuno campo magnetico, la popolazione atomica su un solo sottolivello Zeeman, dal quale gli atomi non possono poi venire ulteriormente

eccitati. Questo produce una netta diminuzione della fluorescenza del vapore atomico. Prima del laser usavamo celle di Pyrex sferiche abbastanza grandi, e il pompaggio ottico veniva messo in evidenza modulando il campo magnetico. L'effetto era molto suggestivo, perchè nel buio del laboratorio, la cella mandava dei bagliori che si vedevano bene a occhio nudo, in sincronia con la modulazione del campo stesso. Un altro modo per rivelare il pompaggio ottico era quello di utilizzare un campo a radiofrequenza. Quando la radiofrequenza è in risonanza con una transizione fra due livelli Zeeman o iperfini induce una redistribuzione delle popolazioni atomiche e quindi un aumento della fluorescenza.

Gozzini, in grande amicizia e ricambiata stima con Kastler, Brossel e con il gruppo dei giovani della Ecole Normale Supérieure di Parigi, fra gli altri Cohen-Tannoudji e Serge Haroche, aveva avviato a Pisa molti esperimenti in questo campo, dando un contributo originale e molto importante. Fra le altre esperienze, insieme con Gozzini e Alzetta, avevamo messo in evidenza l'inibizione della formazione delle molecole di potassio per effetto dell'orientamento degli spin elettronici prodotto dal pom-



Fig. 2. - Fotografia dell'apparato sperimentale con il quale è stata osservata per la prima volta la riga nera. Sono visibili il laser ad argon, il laser a colorante, le bobine per il campo magnetico e il forno usato per scaldare la cella con il sodio.

paggio ottico, come suggerito da Kastler⁽¹⁾. In questo esperimento il pompaggio veniva fatto utilizzando lampade spettrali, mentre le molecole di potassio venivano eccitate con un laser He-Ne e rivelate attraverso la fluorescenza emessa.

Con l'arrivo dei laser a coloranti, si pensò immediatamente di sostituire le lampade con il laser per fare pompaggio ottico. Il laser, oltre a una intensità più grande rispetto a quella delle lampade, ci dava la possibilità di vedere fluorescenze molto intense e ben localizzate nello spazio, rendendo così molto facile e spettacolare la osservazione dei fenomeni legati al pompaggio ottico. Fu di Alzetta l'idea di mettere un campo magnetico non uniforme in modo da localizzare nello spazio le risonanze a radiofrequenza. Questo non perturbava di fatto le condizioni per il pompaggio ottico, ma produceva una separazione dei sottolivelli Zeeman dipendente dalla posizione e quindi una dipendenza spaziale delle condizioni di risonanza per il campo a radiofrequenza. Risultato finale era la comparsa di righe luminose che attraversavano il fascio laser all'interno della cella in corrispondenza della risonanza. Cambiando la frequenza della radiofrequenza si osservava lo spostamento della macchia luminosa. Aumentando la potenza del campo a radiofrequenza comparivano transizioni a due o a tre fotoni facilmente osservabili a occhio nudo, insieme a molti altri effetti. Il profilo grosso modo Gaussiano del fascio laser produceva un allargamento della risonanza al centro, dove l'intensità è maggiore, dandoci una visione diretta dell'effetto noto come

"power broadening". Un altro effetto, noto come "light shift", si manifestava attraverso la deformazione delle risonanze trasformate in "punte di freccia", diversamente orientate a seconda del segno del "detuning". In fig. 3 è riportato un esempio di quanto ricca fosse la visione diretta della cella.

Fu durante l'osservazione di queste risonanze che fu vista da Alzetta per la prima volta una linea scura che attraversava il fascio laser. Era come se un capello nero fosse entrato nella cella e attraversasse il fascio laser. La sorpresa fu ovviamente notevolissima così come l'eccitazione per la scoperta. La posizione all'interno della cella dipendeva dal valore del campo magnetico, come risultò immediatamente spostando la calamita che produceva il campo non uniforme o cambiando la corrente nelle bobine. Passammo molto tempo a guardare questo effetto chini sul fornello che conteneva la cella di sodio. Furono trovate altre "righe nere", poi si osservò che la "riga nera" diventava per metà "bianca" o completamente "bianca". Insomma un vero rompicapo. In fig. 4 è riportata una foto di una cella capillare contenente vapore di sodio. La cella è in un campo magnetico non uniforme. Una "riga nera" è ben visibile in corrispondenza della freccia

Furono fatte diverse ipotesi sulla effettiva

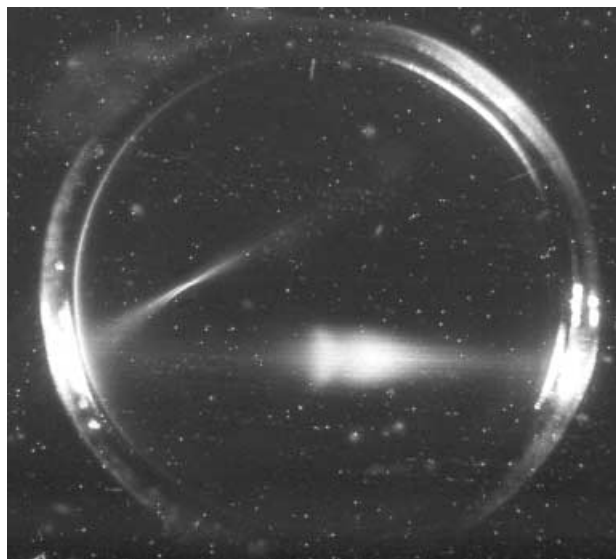


Fig. 3. - Risonanze a radiofrequenza in presenza di un campo magnetico non uniforme. Il vapore di sodio è confinato in una cella cilindrica di cui si vede il bordo circolare. Il laser viene da destra ortogonalmente alla superficie laterale della cella. Si vedono risonanze a radiofrequenza a uno e a due fotoni e il profilo deformato dal light shift.

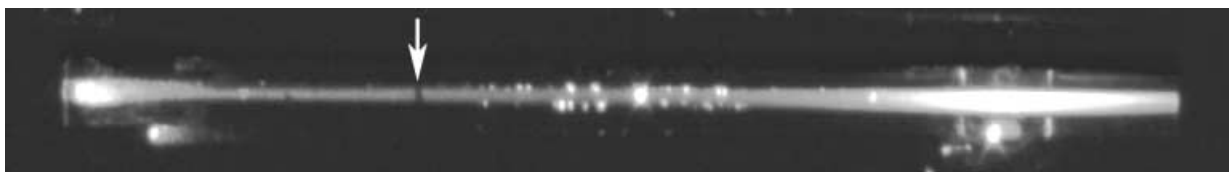


Fig. 4. – Riga nera, indicata dalla freccia, ottenuta in una cella capillare. Il fascio laser proviene da sinistra. La luminosità molto intensa a sinistra è dovuta alla finestra della cella, mentre quella a destra dalla forte fluorescenza in corrispondenza della riserva di sodio.

natura di quel fenomeno soprattutto in termini di pompaggio ottico. Alzetta associava l'effetto a una possibile modulazione della luce laser. Una esperienza con luce modulata e campo magnetico trasverso era stata fatta da Bell e Bloom con le lampade spettrali⁽²⁾. Quando la frequenza di modulazione coincideva con quella di precessione degli atomi si verificava una diminuzione della fluorescenza. Si intuì comunque e si verificò sperimentalmente che l'effetto era legato alla struttura multimodale del laser. Con l'aiuto di un diodo veloce e di un analizzatore di spettro si trovarono battimenti molto intensi e stabili a frequenze che risultavano multipli di $c/2L$ (L lunghezza della cavità del laser a colorante). Il battimento fondamentale era a circa 290 MHz e un suo multiplo cadeva all'incirca ad un valore di 1740 MHz, molto vicino alla separazione iperfina dello stato fondamentale del sodio. Pertanto la riga nera doveva essere prodotta dalla eccitazione contemporanea di due modi del laser, non contigui ma separati dalla giusta frequenza in accordo con lo schema a Λ oggi universalmente noto. Per verificare questa ipotesi suggerii di fare spettroscopia modificando la lunghezza della cavità del laser stesso. Questo avrebbe cambiato la separazione fra i modi longitudinali del laser e quindi la posizione delle risonanze nel campo magnetico. L'esperimento fu fatto e il risultato fu quello ipotizzato. Furono individuati precisamente quali livelli fossero coinvolti nella formazione delle tre righe nere osservate. Come curiosità, ricordo che utilizzavamo le risonanze a radiofrequenza sovrapponendole alle righe nere per misurare il valore del campo magnetico e l'analizzatore di spettro per misurare la frequenza del battimento. Questi risultati compaiono nelle ref.^(3,4). Mi sembra opportuno sottolineare il fatto che la riga nera è stata osservata con un laser operante in modo completamente libero, senza nessun controllo attivo della sua frequenza, della sua stabilità, in condizioni cioè che avrebbero fatto e farebbero,

ancora di più oggi, storcere il naso a tutti i colleghi. Ma la riga nera è stata proprio un regalo dell'imprevisto e della grandissima capacità di osservazione di Alzetta. Ricordo che Scully e Gibbs, nel 1977, vennero a visitare il laboratorio e videro, fra incredulità e grande interesse, la riga nera. Un commento molto stringato ma efficace di Gibbs fu: "*lucky laser*"!

L'idea di "giocare" con la lunghezza della cavità del laser per variare la struttura modale è stata poi da me utilizzata altre volte. Ho proposto un laser molto lungo e a larga banda per fare raffreddamento laser^(5,6), per mettere in evidenza la pressione di radiazione su vapori di sodio⁽⁷⁾ e per ottenere velocità di diffusione molto grandi nell'effetto di "*light-induced drift*"⁽⁸⁾.

Nel 1990 mi sono trasferito presso l'Università di Siena, ma ho continuato a collaborare con Silvia Gozzini, che si era aggiunta nel frattempo al nostro gruppo all'IFAM. Con lei e con Alzetta abbiamo fatto in tempi recenti altri esperimenti sulla riga nera. Abbiamo monitorato la riga nera attraverso i processi collisionali di "*energy pooling*"⁽⁹⁾, altro effetto osservato per la prima volta dal nostro gruppo⁽¹⁰⁾. Abbiamo studiato l'effetto sulla riga nera delle collisioni con gas nobili e azoto fino a pressioni molto elevate e utilizzando un laser operante in un regime trimodale⁽¹¹⁾.

Più recentemente abbiamo iniziato, nell'ambito di un progetto europeo e in collaborazione con i gruppi di Stefka Cartaleva e di Laurentius Windholz, uno studio per l'applicazione della riga nera alla misura di campi magnetici⁽¹²⁾.

E la storia continua, spero!

Bibliografia

- (1) G. ALZETTA, A. GOZZINI e L. MOI, *C.R. Acad. Sci. Paris*, **274** (1972) 39.
- (2) W.E. BELL e A.L. BLOOM, *Phys. Rev. Lett.*, **6** (1961) 280.
- (3) G. ALZETTA, A. GOZZINI, L. MOI e G. ORRIOLS, *Nuovo Cimento B*, **36** (1976) 5.
- (4) G. ALZETTA, L. MOI e G. ORRIOLS, *Nuovo Cimento B*, **52** (1979) 209.

- (5) L. Moi, *Opt. Commun.*, **50** (1984) 349.
- (6) S. GOZZINI, E. MARIOTTI, C. GABBANINI, A. LUCCHESINI, C. MARINELLI e L. Moi, *Appl. Phys. B*, **54** (1992) 428.
- (7) J.H. Xu e L. Moi, *Opt. Commun.*, **67** (1988) 282.
- (8) S. GOZZINI, C. MARINELLI, E. MARIOTTI, C. GABBANINI, A. LUCCHESINI e L. Moi, *Europhysics Lett.*, **17** (1992) 309.
- (9) S. GOZZINI, P. SARTINI, C. GABBANINI, A. LUCCHESINI, C. MARINELLI, L. Moi, J.H. Xu e G. ALZETTA, *Opt. Commun.*, **160** (1999) 75.
- (10) M. ALLEGRI, G. ALZETTA, A. KOPYSTYNSKA, L. Moi e G. ORRIOLS, *Opt. Commun.*, **19** (1976) 96.
- (11) S. GOZZINI, P. SARTINI, C. GABBANINI, A. LUCCHESINI, C. MARINELLI, L. Moi, J.H. Xu e G. ALZETTA, *Eur. Phys. J. D*, **6** (1999) 1, 127.
- (12) C. ANDREEVA, S. CARTALEVA, Y. DANCHEVA, V. BIANCALANA, A. BURCHIANI, C. MARINELLI, E. MARIOTTI, L. Moi e K. NASYROV, *Phys. Rev. A*, **66** (2002) 012502.

G. Alzetta

*Dipartimento di Fisica, Università di Pisa
Via F. Buonarroti 2, I-56127 Pisa*

Invio questa nota per il Nuovo Saggiatore, nella quale volutamente mi sono limitato alla descrizione di alcuni dettagli sperimentali che di solito non vengono riportati negli scritti ma che, soprattutto all'inizio, sono stati fondamentali.

Di più non mi sono sentito di scrivere. Il ricordo di quelli che nelle esperienze di quegli anni, in un modo od in un altro, sono stati presenti e che non ci sono più sarebbe per me troppo penoso.

La "riga nera" è stata osservata per la prima volta nella primavera del 1975, nei laboratori del CNR, allora denominati LAFAM (Laboratorio di Fisica Atomica e Molecolare), situati a Gello, vicino a Pisa.

La scoperta fu casuale. Una sera, durante il montaggio delle bobine a gradiente di campo per osservare le risonanze magnetiche Zeeman a radiofrequenza, capitò di notare, durante l'aggiustaggio della posizione della bobine, delle sottili interruzioni nella fluorescenza prodotta dal fascio di un *dye-laser* all'interno di una cella contenente sodio. Queste interruzioni, che per contrasto con la forte fluorescenza emessa dal sodio lungo il fascio laser apparivano come rigature nere, sembravano indipendenti dalla radiofrequenza applicata ma solo dipendere dal campo magnetico. La perdita di sintonizzazione del *dye-laser*, quella sera non particolarmente stabile, fece durare l'osservazione meno di un minuto. Tutti i successivi, ripetuti tentativi di rivedere il

fenomeno agendo sulla sintonia del laser, allineando le bobine e spazzando finché possibile i campi magnetici, quella sera furono vani.

Rimase l'unico ricordo delle sottili righe nere la cui posizione dipendeva dal campo magnetico e forse dalla sintonia del laser.

La notte portò consiglio. Gozzini si ricordò di una bella esperienza fatta quindici anni prima sui pompaggi ottici con il metodo di Kastler⁽¹⁾, e ciò fu di grande aiuto per ritrovare il fenomeno. In quella esperienza era stata osservata una diminuzione di fluorescenza in un campo magnetico trasversale usando luce modulata alla frequenza di precessione degli atomi, dell'ordine delle centinaia di kHz.

L'associare la sparizione della fluorescenza osservata la sera prima nelle «righe nere» a quella dell'esperienza di Bell e Bloom, fu cosa immediata. Se la luce del *dye-laser* invece di essere continua, come comunemente si pensava, fosse per qualche motivo modulata in ampiezza sarebbe potuto succedere che, casualmente, fosse stata ripetuta la primitiva esperienza di Bell e Bloom usando un fascio laser invece di una lampada. Dati i deboli campi magnetici che si usavano, la frequenza non avrebbe dovuto superare il megaHertz per cui anche una semplice fotocella ed un oscillografo sarebbero bastati per rivelare la modulazione.

La mattina seguente, riacceso il laser fu subito fatta la prova con un fotodiodo veloce. La risposta fu negativa: nessuna modulazione, che non fosse *noise*, era evidente all'oscillografo. Venne il sospetto che potesse trattarsi di una frequenza al di fuori della banda passante dell'oscillografo. Attaccata la fotocella ad un analizzatore di spettro, apparvero subito, forti, i battimenti tra i modi del laser, il più basso dei quali capitava a 430 MHz. Frequenze così alte richiedevano campi magnetici altissimi per ripetere l'esperienza di Bell e Bloom sulla precessione degli atomi.

Ma... se invece della precessione di tutto l'atomo nel campo magnetico applicato, si fosse trattato solo di precessione dell'elettrone ottico nel campo magnetico del nucleo, cioè di transizioni iperfini dell'atomo, forse la cosa si poteva spiegare facilmente. Occorreva però anche un campo magnetico trasverso mentre le nostre bobine erano state predisposte per avere un campo longitudinale perfettamente parallelo al fascio laser. Ecco perché il fenomeno è apparso solo quando le bobine sono state disallineate!

Immediatamente furono fatte ruotare, di proposito, lentamente, le bobine di pochi gradi, e subito apparve sulla traccia fluorescente del fascio, nitidissima e persistente, una riga nera che seguiva docilmente le variazioni del campo magnetico applicato. In tal modo non solo furono riviste le righe ma anche si trovò il filo conduttore che suggerì le misure da fare sulle transizioni iperfini coinvolte nel fenomeno⁽²⁾.

Nel giugno 1977, in occasione di un convegno della *International School of Quantum Electronics*, tenuto in Versilia, al quale partecipavano Kastler, Chebotaiev, Gibbs, Arecchi, Bonifacio, e molti altri che avevano lavorato a lungo con i laser, Gozzini mi suggerì di tenere una lezione sulla «riga nera». Fu un imprevisto forte stimolo per cercare prove evidenti di quello che avrei dovuto dire. Nelle esperienze fatte con gli sfasamenti dei fasci laser, mi ero formato la convinzione che la luce proveniente dal laser fosse costituita da brevi impulsi, susseguentisi a ritmo costante. Pensavo che provare questo avrebbe facilitato la comprensione della riga nera come effetto alla Bell e Bloom, poiché proprio alla luce impulsata loro due avevano pensato per effettuare l'esperienza sulla precessione degli atomi.

Feci costruire rapidamente in officina dai tecnici Bartalini, Ripoli e Papucci, un interferometro di Michelson con un braccio della lunghezza di un metro, per permettere allo specchio mobile ampi spostamenti. Se la luce era costituita da impulsi, l'interferenza nel Michelson doveva verificarsi solo per opportune distanze degli specchi.

L'esperienza, condotta pochi giorni prima dell'inizio della conferenza, fu subito fortunata. Lo specchio mobile doveva essere spostato proprio delle quantità previste per vedere le frange di interferenza riapparire nitide, dopo che erano sparite per tutte le posizioni intermedie a causa della mancata sovrapposizione degli impulsi riflessi dai due specchi del Michelson. E gli impulsi si succedevano inoltre in sincronia con la prevista precessione dell'elettrone attorno al nucleo.

La certezza avuta che la radiazione del *dye-laser* fosse costituita da impulsi rassicurò nello scrivere la lezione da tenere alla Scuola⁽³⁾.

Fortuna volle che alla conferenza fosse presente Scully che in un lavoro di qualche anno prima aveva predetto la naturale tendenza del laser a lavorare in regime impulsato. Si interessò

all'esperienza, la venne a vedere personalmente assieme a Gibbs. Anche se la dimostrazione sperimentale non fu delle migliori per la instabile sintonizzazione del laser, Scully si ricordò della lezione. Negli anni successivi, nel divulgare le sue meditazioni su possibili conseguenze e applicazioni delle *dark resonances*, dette anche quella pubblicità, che noi non avevamo dato, a quel piccolo fenomeno osservato diversi anni prima, in un piccolo laboratorio alla periferia di Pisa.

Bibliografia

- (1) W. E. BELL e A. L. BLOOM, *Optically driven spin precession*, *Phys. Rev. Lett.*, **6** (1961), 280.
- (2) G. ALZETTA, A. GOZZINI, L. MOI e G. ORRIOLS, *An experimental method for the observation of R.F. transitions and laser beat resonances in oriented Na vapour*, *Nuovo Cimento B*, **36** (1976) 5.
- (3) G. ALZETTA, *Magnetic Resonances in Sodium Vapours oriented by a c.w. Dye Laser*, in: *Coherence in Spectroscopy and Modern Physics*, edited by F. T. Arecchi, E. Bonifacio and M. O. Scully (New York, N.Y.) 1978.

Errata Corrige

Nel precedente numero del Nuovo Saggiatore (Vol. 18, 5-6 (2002) p. 36-41) la bibliografia dell'articolo di A. Rubbino, «Evoluzione della Fisica a Catania; isotopi e isotoni per termometri nucleari» contiene alcuni errori; il terzo autore delle citazioni (3), (4), (5) deve essere S. PIRRONE e non E. COSTANZO come erroneamente appare.

Pubblichiamo qui di seguito i 3 riferimenti corretti, scusandoci con i lettori.

- (3) S. ALBERGO, S. COSTA, S. PIRRONE and A. RUBBINO, *A possible solution of controversies between measured and expected entropy production in heavy-ion collisions at intermediate energies*. *Nuovo Cimento A*, **98** (1987) 503.
- (4) S. ALBERGO, S. COSTA, S. PIRRONE and A. RUBBINO, *Search of quantum and fragment decay effects on observable emission yields of isotopically resolved fragments*. *Nuovo Cimento A*, **101** (1989) 815.
- (5) S. ALBERGO, S. COSTA, S. PIRRONE and A. RUBBINO, *Observed changes of the neutron to proton ratio from the initial to final stage of nuclear reactions. A possible interpretation and some deduced information*. *Nuovo Cimento A*, **102** (1989) 1117; S. ALBERGO, S. COSTA, S. PIRRONE and A. RUBBINO, *Nuovo Cimento A*, **101** (1989) 815.

STUDI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA FONDATI SULLA FISICA STATISTICA: ITALIA 1945-1965

G. Careri

Dipartimento di Fisica, Università

La Sapienza,

Unità INFN Roma 1, 00185 Roma

1. – Un primo sguardo retrospettivo

Come ormai ben noto da diversi studi di storia della fisica⁽¹⁾, nei primi venti anni del dopoguerra si è andata formando in Italia quella grossa parte della fisica oggi chiamata «Struttura della materia», e questo per la libera iniziativa di una diecina di allora giovani fisici spontaneamente interessati a questi nuovi argomenti di ricerca. Una di queste linee di ricerca può ormai essere chiaramente identificata negli studi sperimentali che avevano il loro fondamento teorico nella «termodinamica statistica» dell'epoca, quella che ora viene chiamata in modo più appropriato «fisica statistica». Questa linea si è andata formando all'Istituto di Fisica della Università di Roma, ad opera di chi scrive e dei suoi collaboratori. È solo questo argomento che qui vogliamo considerare accettando con gratitudine l'invito del Presidente della SIF, organismo che in quegli anni ha svolto un ruolo determinante nel promuovere questo tipo di studi.

I fenomeni non intuitivi che si presentavano nella materia e che andavano spiegati dalla fisica statistica erano spesso caratterizzati dalla presenza contemporanea di ordine e disordine, e dalla partecipazione di molti corpi in interazione dinamica. Si pensi ad esempio che solo al di sotto di una temperatura critica si ha la condensazione di un liquido dal suo vapore, mai al di sopra nonostante la forte pressione esterna. E ancora che fluidi con forze intermolecolari identiche, come gli isotopi dell'elio di massa 3 e di massa 4, mostrano un comportamento diversissimo nelle loro transizioni di fase. Questi fatti non intuitivi ci indicano la presenza di processi di ordinamento in alcuni dei sistemi densi (oggi molti di essi sono ben noti, vedi oltre), che per il loro carattere comune conveniva considerare come capitolo a se stante. Alla fine della guerra quanto poteva confluire nella fisica statistica era sparso nei testi della nascente «Chemical Physics». In Italia questa distinzione non era

ancora accettata nei corsi universitari, dove l'unico corso di chimica fisica impartito insieme a studenti di chimica e di fisica conteneva gli equilibri chimici, l'elettrochimica e la cinetica chimica. Di conseguenza la nuova generazione di fisici italiani si andava formando sul libro di Slater «Chemical Physics» edito nel 1939⁽²⁾ e del quale esisteva fortunatamente una copia a Roma. Questo profetico libretto iniziava con le statistiche quantistiche, con la teoria delle fluttuazioni, per applicarla allo stato liquido, alle transizioni del secondo ordine, al legame chimico ed infine alla struttura elettronica dei metalli. Quindi in Italia nel dopoguerra disponevamo delle basi scientifiche recenti e potevamo porre delle domande in quella fisica dal contorno indistinto che sarebbe diventata la fisica statistica, anzi proprio questa mancanza di definizione rendeva l'argomento più misterioso e quindi più attraente almeno per me. La disponibilità della rivista *Journal of Chemical Physics* tardò per qualche anno ancora, ma divenne in seguito il riferimento più autorevole.

Sull'Istituto di Fisica di Roma nel periodo glorioso del dopoguerra è stato detto tanto, sia da parte di Edoardo Amaldi, che ne fu l'elemento portante, che dai suoi allievi⁽³⁾ e dagli studiosi della storia della fisica italiana⁽¹⁾. La recente pubblicazione di Giuseppe Giuliani⁽¹⁾ ricorda le nostre attività di struttura della materia in quegli anni (vedi pag. 18) e contiene anche una lunga intervista a me stesso (vedi pag. 176 e seguenti), ed è una ricca sorgente di dati pertinenti che non mi sembra più il caso di ripetere. Limitandomi solo all'argomento di questa nota, vorrei però qui ricordare che nei miei studi di ingegneria industriale chimica seguiti negli anni della guerra io mi ero subito appassionato a quegli aspetti della chimica fisica che poi avrei potuto approfondire nel libro di Slater, con un interesse insieme vago ma vivo e fermo. Ancora prima, quando facevo il liceo ero stato affascinato dalla teoria statistica del calore nella materia, più che da ogni altro argomento di fisica. Amaldi mi ricordava come un ragazzo appassionato solo a quella fisica che nessuno altro faceva, ma che purtroppo io facevo anche male perché mi affidavo alla mia immaginazione invece di maturare con distacco quanto misuravo nel laboratorio. Fu proprio la necessità di far funzionare uno spettrometro di massa che mi fornì l'evidenza che ogni «epifania» nel mio lavoro

proveniva dal senso di coerenza tra i dati raccolti e non dalle mie idee preconcepite. Questa esperienza di lavoro trasformò profondamente il mio carattere, anzi tutto il modo di concepire la vita. E in particolare nella scelta degli argomenti scientifici su cui lavorare incominciai con l'accettare quanto intimamente mi appassionava ma che avrei potuto approfondire solo con una successiva maturazione. La fiducia con cui Amaldi, Wick, Ferretti, Bernardini e Conversi mi seguivano lasciandomi tutta la mia libertà, è stata senza dubbio il mio maggior conforto per tenere fede a quel mondo ancora non esistente, quello delle nuove proprietà della materia che andavano interpretate nell'ambito di una visione statistica.

Fu così che bordeggiando con la nascente fisica statistica intorno ad argomenti di *chemical physics*, con un gruppo di collaboratori di poco più giovani, riuscimmo a concludere una serie di lavori sugli equilibri geochimici degli isotopi dell'argon e sulla verifica della teoria quantistica della reazione di scambio omogenea tra idrogeno e deuterio che ebbero vasta risonanza. Questi lavori mi permisero di vincere il concorso di ordinario a trentatré anni, ma io ero ancora insoddisfatto. Io allora cercavo la presenza di un ordine statistico nello stato condensato, e per questa ragione avevo cercato di lavorare teoricamente con Mayer a Chicago nel 1950, tentativo che non ebbe gli sviluppi sperati anche per la mia mancanza di basi matematiche adeguate. Di conseguenza intrapresi con nuovi laureandi a Roma lo studio sperimentale con traccianti isotopici dei moti diffusivi in liquidi semplici, ma qui la teoria era ancora troppo grossolana per vedere moti correlati. Fu solo intorno agli anni 1954 e seguenti, con la possibilità di sperimentare a Frascati con l'elio liquido, problema fondamentale nel momento perché già ricco di dati sperimentali e al centro dell'interesse dei maggiori teorici, che raggiunsi il sistema di studio più adatto alle mie aspirazioni. Andai a Leida per imparare la tecnica criogenica allora non esistente in Italia, e che divenne così di utilità per i nucleari e per gli stuoi di altri campi, e riuscii a formulare un programma di lavoro sperimentale che combinava insieme le domande teoriche aperte dall'elio liquido con le possibilità offerte da tracciati carichi (elettroni oppure ioni) che avevo imparato ad usare nella spettroscopia di

massa. Un insieme di esperienze assai diverse si rivelò improvvisamente provvidenziale per studiare quello che allora sembrava il liquido più strano, ma che stava per diventare il sistema materiale di maggior interesse per la fisica statistica.

2. – La prima decade dopo il dopoguerra.

Nell'immediato dopoguerra le difficoltà locali permettevano appena di lavorare con le poche apparecchiature già esistenti, ed a questo si aggiungeva la difficoltà di comunicare con colleghi con interessi simili per la scarsità di convegni scientifici. Nel campo della fisica statistica lo stato delle conoscenze era frammentato al livello internazionale e quasi inesistente al livello nazionale. La SIF ha avuto il grande merito di avere realizzato tre convegni che sono stati determinanti per chiarire la situazione scientifica e promuovere i successivi sviluppi.

Nella primavera del 1949 a Firenze per iniziativa congiunta del Presidente della SIF Giovanni Polvani e del Segretario del *Committee of Statistical Mechanics and Thermodynamics* (ora STATPHYS) dell'*International Union of Pure and Applied Physics* (IUPAP) Ilya Prigogine, avvenne il primo congresso internazionale di fisica teorica del dopoguerra su argomenti di fisica statistica. Fu in questa occasione che Onsager in poche battute propose la quantizzazione della circolazione dell'elio superfluido come un invariante idrodinamico risultante dalla natura quantistica di questo fluido, ma senza una evidenza sperimentale. Come ho avuto modo di ricordare in un tributo recente a Lars Onsager⁽⁴⁾, il valore della sua proposta non fu compresa dai numerosi grandi teorici presenti. Ma pochi anni dopo Feynman arrivò alla stessa conclusione e nel 1955 propose un esperimento con elio rotante che fu presto realizzato con successo⁽⁵⁾.

Nel giugno 1954 la SIF promosse a Varenna un convegno ristretto sulla «Fisica dei Solidi e dei Liquidi» organizzato da Fausto Fumi e da me⁽⁶⁾, con circa una decina di contributi italiani per ogni sezione e preceduti da qualche illustre specialista straniero, Seitz e Scott per i solidi, ed Ubbelohde e Longuet-Higgins per i liquidi. Contrariamente alle attese questo incontro non contribuì ad una maggiore fusione dei partecipanti delle due sezioni in una unica cultura, anche perché questa cultura ancora non c'era

neanche nel contesto internazionale. Più fortunato fu invece il «Convegno Internazionale sugli Stati Condensati della Materia» che avvenne a Varenna nel settembre del 1957⁽⁷⁾, che fu organizzato da me come sviluppo diretto di quello di Firenze del 1949, perché dal 1951 ero stato nominato successore di Prigogine nell'IUPAP, carica in cui mi succedette Van Hove dopo nove anni. Quegli anni furono di grande importanza innovativa per i contenuti della fisica statistica perché il Consiglio Scientifico si riuniva annualmente per discutere gli argomenti da promuovere e di questo Consiglio facevano parte personaggi come Uhlenbeck, Mayer, Kirkwood, Onsager, Prigogine, Van Hove ed altri. Fu in questo periodo che iniziò per me la preziosa amicizia con Lars Onsager e con Herbert Froehlich, ricca di consigli e di stimoli, e che durò per tutta la loro vita. Vorrei consigliare al lettore di leggere l'indice di questo convegno, perché io credo che esso costituisca l'origine di quel carattere della fisica statistica inteso come armonica confluenza di conoscenze teoriche e sperimentali. Era la prima occasione dove lo stato liquido e le transizioni di fase venivano considerate insieme alle proprietà dell'elio superfluido, anche se per l'elio non si parlava ancora delle congettture di Onsager e Feynman per mancanza di dati sperimentali. Per me fu la prima occasione di riferire sui nostri esperimenti sulla diffusione di traccianti in liquidi semplici (con Giuliana Cini-Castagnoli, Franco Salvetti, Antonio Paoletti, Francesco Paolo Ricci e Matilde Vicentini) e per accennare brevemente agli sviluppi iniziali sulla vorticità quantizzata. Questo convegno ebbe anche un valore sociale perché mise in contatto tanti giovani italiani con i maggiori cultori della materia stranieri, tra i quali quattro (Onsager, Prigogine, Brockhouse e De Gennes) avrebbero preso il premio Nobel negli anni successivi.

La nuova fisica statistica cominciava ad avere dei contorni aperti che si stavano formando contemporaneamente in tutto il mondo, incluso il nostro paese. Precedentemente questa fisica era concepita come una felice applicazione dei principi della meccanica statistica ad alcuni stati della materia in equilibrio. Questa era l'impostazione data da Fowler e Guggenheim nel 1939⁽⁸⁾, e purtroppo ancora questa la linea seguita da Landau e Lifschitz nel quinto volume del loro famoso corso di fisica teorica, nella edizione finale in inglese del 1958 intitolato appunto «Statistical Physics»⁽⁹⁾. Ma questa fisica conti-

nuava a svilupparsi, si pensi ai problemi teorici posti dal rumore termico, dal moto browniano e dalla termodinamica dei processi irreversibili, ed ai problemi statistici posti dalle nuove tecniche entrate nella struttura della materia, quali lo *scattering* dei neutroni e la risonanza magnetica nucleare. Questo allargamento di contenuti è ben evidente nel libretto «Elementary Statistical Physics» di Kittel del 1958⁽¹⁰⁾.

L'inserimento del nostro gruppo romano nel quadro scientifico sopra indicato fu possibile per due circostanze favorevoli che ci permisero di disporre di nuove tecniche sperimentali. La prima circostanza si presentò alla fine della guerra, quando, per rimanere nell'ambito romano così ricco per me di persone di valore, Edoardo Amaldi mi propose di costruire uno spettrometro di masse per misurare abbondanze isotopiche. Allora accettai senza entusiasmo, ma fu proprio la disponibilità di questo strumento unico in Italia che insieme alle conoscenze offerte dai libri di termodinamica statistica permise (con Gianni Boato, Sandro Ciminò, Ettore Molinari, Giuliano Nencini e Giangualberto Volpi) di studiare la reazione di scambio tra idrogeno e deuterio in fase gassosa omogenea per verificare la teoria del complesso attivato di Polany, Wigner ed Eyring. Il risultato fu accettato dal *Journal of Chemical Physics* come «modello di come uno dovrebbe comprendere e dominare tutte le pertinenti variabili sperimentali»⁽¹¹⁾. Fu così che ci siamo inseriti nella comunità scientifica internazionale. La seconda circostanza favorevole si offrì nel 1953, quando, per disporre di bersagli freddi nel programma del sincrotrone di Frascati, Giorgio Salvini mi propose di allestire (con Jorg Reuss e Franco Scaramuzzi) un liquefattore di elio da utilizzare per scopi non solamente nucleari. Accettai con entusiasmo perché già si sapeva che l'elio superfluido era ordinato nello spazio dei momenti, e che il problema era aperto a nuove tecniche. Fu così che ci siamo posti alla frontiera della ricerca sperimentale della struttura della materia fondata sulla fisica statistica. In tutti e due i casi fu determinante la larghezza di idee dei nucleari che volevano favorire nuove aree di ricerca per una buona fisica in Italia. Per quanto riguarda l'area di cui ci occupiamo in questa nota, utilizzando il metodo grossolano di contare i premi Nobel assegnati ad essa negli anni seguenti, si può vedere che essi furono almeno la metà di quelli assegnati all'intero settore della Struttura della Materia.

3. – La seconda decade

Il periodo 1956-1965 è stato caratterizzato dal pieno sviluppo di quanto si era andato formando nella decade precedente, ma anche dall'esaurimento della primitiva problematica. Limitandoci qui a considerare solo la nostra linea di ricerca centrata sull'elio superfluido, i congressi ormai annuali su questo tema mostrano chiaramente prima una fioritura di risultati nuovi e poi un rapido declino. Questo periodo è stato descritto in dettaglio in un articolo di rivista⁽¹²⁾, perciò mi limiterò a ricordare solo tre di questi congressi.

Nel 1958 per celebrare il cinquantenario della liquefazione dell'elio, fu organizzato a Leida un grosso congresso di fisica delle basse temperature. In questa occasione Feynman parlò a lungo della quantizzazione della circolazione nell'elio rotante e della vorticità quantizzata sopra la soglia critica di velocità, argomenti su cui noi stavamo proprio allora lavorando. Feynman dimostrò grande interesse per i nostri esperimenti, e promise (ma non mantenne) di fare la teoria di un elettrone in presenza di vortici. Nell'anno seguente, 1959, Van Hove organizzò ad Utrecht il primo congresso su «*Many bodies problem*» destinato ai teorici di fisica statistica, ma che incluse anche la partecipazione di tre sperimentali per fare il punto delle ricerche in corso: Fairbank per la superconduttività, Kramers per la superfluidità macroscopica, e me stesso per mostrare la possibilità di intrappolare elettroni nelle linee vorticali quantizzate. E infine a Varenna nel 1961, nell'ambito delle scuole estive della SIF, io organizzai una scuola sull'elio liquido, nella quale gli idrodinamici teorici classici si confrontarono con gli sperimentali sulla turbolenza e sull'elio rotante⁽¹³⁾. Indubbiamente in questa parte iniziale della seconda decade vennero poste le basi sperimentali della quantizzazione delle linee vorticali grazie al lavoro di pochi laboratori. Onsager, ideatore di questo concetto, considerava i nostri esperimenti la prova più convincente al riguardo. Questi esperimenti furono iniziati a Roma e Frascati, poi proseguirono a Padova e poi di nuovo a Roma e Frascati con numerosi collaboratori (Salvatore Cunsolo, Franco Duprè, Umberto Fasoli, Francesco Gaeta, Paolo Mazzoldi, Ivo Modena, Mario Santini e Franco Scaramuzzi). Il nostro gruppo di Roma divenne a quel tempo una meta interessante per molti visitatori americani

(Berni Alder, Morrel Cohen, W.D. McCormich, Eugene Gross, David Goodstein, Frank Moss e J.D. Thomson).

Nel campo vicino della superconduttività le cose si mossero pure rapidamente, con la teoria BCS nel 1957, e poi con l'effetto Josephson previsto nel 1962 e osservato nel 1963. L'effetto Josephson era realmente la somma di tutte le conoscenze che si erano andate coerentemente sommando sulla superfluidità, e per giunta si prestò ad importanti applicazioni, per esempio nei *detectors* di onde gravitazionali. Con un nuovo gruppo di collaboratori (Lorenzo Bruschì, Massimo Cerdonio, Maurizio Giura, Vittorio Mazzacurati, Bruno Maraviglia e Marco Sampoli) cercammo di usare nuove tecniche per un campo che si andava esaurendo. Naturalmente gli sviluppi della ormai consolidata fisica statistica andavano ben al di fuori della superfluidità. Si pensi al plasma, alla turbolenza, al caos, ai liquidi polimerici, e specialmente alla teoria dei fenomeni critici dove a Roma Carlo Di Castro e Gianni Jona portarono un contributo iniziale fondamentale. Nel 1966 il congresso sui «Quantum Fluids» nel Sussex, segnò il limite delle conoscenze raggiunte e non superabili con le tecniche allora disponibili. E infatti nell'ambito dell'elio 4 da allora non ci sono state più novità di rilievo. La superfluidità dell'elio 3 sarebbe arrivata qualche decennio dopo, con un lavoro sistematico di avvicinamento verso un obiettivo teorico per giunta allora incerto. La comunità internazionale che operava nella superfluidità si dissolse, ed ognuno andò separatamente verso obiettivi che sperava di raggiungere con l'esperienza maturata nella superfluidità. A Roma, per incoraggiamento di Onsager e di Froehlich, incominciai a studiare l'effetto dell'acqua di idratazione sulle proteine globulari, nella speranza (ancora viva) che la natura abbia utilizzato nelle strutture materiali della vita i concetti elaborati dalla fisica statistica.

Un processo di diversificazione degli interessi si è avuto in quel periodo in Italia in campo sociale. Il corso di Struttura della Materia entrò nel 1961 nel nuovo ordinamento universitario al posto della Chimica Fisica, con la conseguente apertura di concorsi universitari per questa disciplina, circostanza che permise un allargamento di questi studi ad altre sedi. Nel 1964 mentre ero membro del Comitato per la Fisica del CNR fu approvata la costituzione del Gruppo Nazionale di Struttura della Materia.

Non posso dire che l'allargamento che allora fu fatto a tutti gli studiosi italiani sia stato solo un bene. Una analisi più critica dell'importanza dei contenuti scientifici si mostrava difficile per la scarsità in Italia di *referee* competenti, e bisogna anche dire che era obiettivamente difficile valutare le possibilità future di giovani gruppi che lavoravano su argomenti nuovi. La tendenza ad una democratica uguaglianza anche in campo scientifico cominciava a diffondersi nel paese, ed era impossibile contrastarla a meno di non dedicarsi a questi aspetti sociali e trascurare i contenuti scientifici della propria ricerca, alla quale i padri fondatori sono rimasti sempre fedeli. Il cambiamento avvenuto nel corso di mezzo secolo ha avuto il suo effetto anche nel settore che è stato oggetto di questa nota retrospettiva. La strumentazione artigianale di allora, costruita in casa e continuamente adattata al risultato che progressivamente emergeva, è ora sostituita da prodotti commerciali accessibili a chi ne ha i mezzi. Da qui l'inizio della spirale «mezzi economici–strumentazione–risultati» che evolve nella domanda di maggiori mezzi. Lo spirito di competizione, la chiarezza preventiva sul risultato di una ricerca e l'importanza della sua ricaduta economica, erano tutte cose non immaginabili mezzo secolo fa, quando avvenivano i fatti ricordati in questa nota.

Bibliografia

- (1) J. C. SLATER, *Introduction to Chemical Physics* (McGraw-Hill, New York) 1939.
- (2) A.A. V.V., Edoardo Amaldi, *Physicist, politics of research and civil commitments*, Quaderni di Storia della fisica, no. 7 (2000).
- (3) G. GIULIANI, *Per una storia della fisica italiana, 1945-1965* (La Goliardica Pavese) 2002.
- (4) G. CARERI, *Phys. Perspect.*, 2 (2000) 204.
- (5) R. P. FEYNMAN, *Progr. Low Temp. Phys.*, 1 (1955) 1.
- (6) L. GIULOTTO, F. FIUMI e G. CARERI (Editors), *Suppl. vol. I, serie X del Nuovo Cimento*, no. 2 (Zanichelli, Bologna) 1955.
- (7) G. CARERI (Editor), *Suppl. vol. IX, serie X del Nuovo Cimento*, no. 1 (Zanichelli, Bologna) 1958.
- (8) R. P. FOWLER and E.A. GUGGENHEIM, *Statistical Physics* (Cambridge U.P., Cambridge) 1939.
- (9) L. D. LANDAU and E. M. LIFSHITZ, *Statistical Physics* (Pergamon Press, London) 1958.
- (10) C. KITTEL, *Statistical Physics* (Wiley, New York) 1958.
- (11) G. BOATO and G.G. VOLPI, *Ann. Rev. Phys. Chem.*, 50 (1999) 23.
- (12) G. CARERI and F. SCARAMUZZI, in G. GIULIANI (Editors), *The Origins of Solid-State Physics in Italy: 1945-1960, Conf. Proc. SIF*, vol. 13 (Editrice Compositori, Bologna) 1988, p. 103.
- (13) G. CARERI (Editor), *Liquid Helium, Proceedings of the International School of Physics «Enrico Fermi»*, Course XXI (Academic Press, New York) 1963.

Nell'articolo che segue, N. Dallaporta ripercorre, con prospettiva personale ma di ampio respiro, le tappe salienti di una sua lunga e fruttuosa esperienza di ricerca, e la visione delle strutture del cosmo da lui maturata.

Pubblicando l'interessante contributo nella rubrica «Percorsi», la rivista dà atto all'Autore dello scrupolo manifestato nel riferirsi ad una bibliografia a lui attualmente accessibile, e nel riconoscere la necessità di rinunciare ad una più completa bibliografia.

IL COSMO DELLE STRUTTURE

N. Dallaporta

Via Carducci 26, Padova

Credo si possa dire come i vari domini dei campi, corrispondenti al prevalere delle forze che in essi agiscono, fossero, in un qualunque testo di fisica anteriore alla prima metà del Novecento, per lo più presentati in modo largamente indipendente l'uno dall'altro, con scarse interferenze reciproche, e dominanti ognuno su scale lineari del tutto diverse. A dimensioni astronomiche, vigono praticamente solo le forze del campo di gravità, espresse dalla legge di attrazione proporzionale alle masse e inversamente al quadrato della distanza; a scala, diciamo, umana hanno una completa prevalenza le forze elettromagnetiche, di struttura diversa, anche se la legge di Coulomb che ne costituisce un caso particolare — azione attrattiva o repulsiva tra due cariche elettrostatiche a seconda che siano eteronime od omonime — ha un andamento colla distanza del tutto simile.

Quando però, coll'inizio del Novecento, passiamo alla scala del 10^{-10} metri, le cose cambiano di nuovo; alle leggi della meccanica classica vanno sostituite quelle della fisica quantistica; a questo livello abbiamo a che fare coi corpuscoli, elettroni e particelle barioniche, nel mentre la radiazione viene vista come un insieme di fotoni.

Infine, a distanze ancora molto minori, 10^{-15} metri, prima della metà del secolo vengono evidenziate le forze nucleari, molto intense, dette appunto forti, ma di raggio d'azione estremamente corto, che le rende praticamente inesistenti a distanze maggiori della predetta scala.

Infine, erano state messe in evidenza un

quarto tipo di forze, dette deboli, che agivano disintegrando certe particelle di fatto instabili, perché, in certi fenomeni radioattivi, potevano trasformarsi in particelle meno pesanti, senza conservare la loro massa.

Questi diversi domini che, come detto, erano rimasti relativamente staccati l'uno dall'altro fino alla metà del secolo, vengono inaspettatamente, da un lato ampliati, e dall'altro connessi tra di loro e collegati nella loro incidenza sull'andamento del mondo, dallo sviluppo di un ramo della scienza fino ad allora — e per buone ragioni — assai poco considerato, quello della cosmologia, intendendo comprendere con questa denominazione ogni informazione che ci proviene dal cosmo. Per lo scopo che qui ci proponiamo di mettere in luce, due sono essenzialmente i messaggi che ci vengono dati, tra di loro alquanto indipendenti, che hanno consentito ambedue, in modo diverso ma complementare nei suoi effetti, un enorme ampliamento della visuale cosmica. Essi sono: i) i raggi cosmici, ii) l'espansione dell'universo.

Ora, malgrado l'eterogeneità delle loro metodologie di indagine e l'ambito di prassi e di pensiero sostanzialmente diversi in cui vengono condotte le ricerche che li riguardano, ci sembra potere inquadrarli in una certa prospettiva di ampio raggio, le cui possibili implicazioni vanno parecchio al di là degli specifici domini relativi a tali due campi in sé, e che viene a costituire una visione unitaria di successive strutturazioni a diverse scale. Pensiamo quindi di articolare il nostro esposto colla presentazione dei risultati ottenuti; prima per ognuno di questi due campi in modo distinto; per poi vedere se, dall'insieme, possa emergere un qualche panorama abbastanza generale da consentire un tentativo di proposta circa l'ordinamento del mondo fisico, includente da un lato la lontana origine del cosmo, dall'altro la sua crescente complessità.

Fino agli anni a cavallo della seconda guerra mondiale, il problema di punta era quello dell'interpretazione delle forze nucleari e del perché fosse talmente corto il loro raggio d'azione (10^{-15} m). Lo si poteva spiegare ammettendo che il potenziale d'interazione tra due nucleoni (protoni e neutroni, costituenti barionici dei nuclei) fosse espresso da una legge, detta di Yukawa, del tipo

$$(1) \quad V(r) \sim \frac{e^{-\frac{r}{r_0}}}{r},$$

con un $r_0 = h/mc$ che fosse appunto dell'ordine di 10^{-15} metri, e dove m fosse la massa di un «quid» cui si poteva attribuire il seguente significato fisico. Dato che la teoria dei campi elettromagnetici permetteva d'interpretare il potenziale di Coulomb interagente tra due cariche elettriche,

$$(2) \quad V(r) \sim \frac{1}{r},$$

come dovuto ad un palleggiamento di fotoni, particelle di luce di massa zero, alternativamente emessi ed assorbiti dalle due cariche; e dato che d'altronde la formula (2) si ottiene dalla formula (1), se si assume in r_0 il valore $m = 0$ per m , la massa delle particelle intermedie scambiate tra le due cariche, che sono appunto i fotoni, ciò vuol dire che il potenziale a corto raggio tra due nucleoni si può ottenere con lo stesso modello, ammettendo che essi si scambino tra loro non più fotoni, ma particelle con una massa m dell'ordine di 300 masse elettroniche, valore per il quale la buca di potenziale assume il giusto ordine di grandezza.

In un tale modo, inizialmente del tutto teorico, faceva il suo ingresso nell'ambito della fisica particellare il concetto di mesone, entità mediatrice del campo nucleare, che assumeva il ruolo che svolge il fotone nelle azioni elettromagnetiche, ma dotato invece d'una massa, diversa sia da quella dell'elettrone sia da quella dei nucleoni.

Dove trovare una conferma per l'esistenza d'una particella con una massa di tale valore? Ed ecco che già, non molto tempo dopo, essa sembrava piovere direttamente dall'alto, nello studio dei raggi cosmici.

1. — È noto come i raggi cosmici siano radiazioni che investono la terra dallo spazio circostante, i quali possono raggiungere elevatissime energie, immensamente superiori a tutto quanto può essere ottenuto solitamente nei laboratori, e prodotti in vari fenomeni astrofisici, oggi in gran parte identificati. Essi sono costituiti ⁽¹⁾ essenzialmente da flussi di particelle, distinte fin dagli inizi in due componenti dette: una molle ⁽²⁾, formata da sciami di elettroni negativi e positivi; l'altra, dura, contenente in parte minore nuclei atomici ⁽³⁾, e come entità dominante, particelle fino allora ignote, cariche elettricamente dei due segni, e che sotto l'azione di deviazione da campi magnetici, risultavano dotate di una massa dell'ordine di 200 volte quella dell'elettrone. Di

colpo la scoperta di queste particelle, che venivano chiamate μ , sembrava fornire l'immediata conferma circa l'interpretazione delle forze nucleari col potenziale di Yukawa, dato che la massa del μ , trovata sperimentalmente, differiva di non molto da quella teorica presunta per la legge di forza tra nucleoni. La vita media di tali particelle μ instabili, era dell'ordine di 10^{-6} secondi, sufficiente per permettere loro di attraversare tutta l'atmosfera prima di decadere, cioè di disintegrarsi in un elettrone ordinario, e — come si è chiarito dopo — in un neutrino ed un antineutrino.

Invece, non doveva passare molto tempo prima che questa speranza non venisse amaramente delusa. In un famoso esperimento, Piccioni, Pancini e Conversi⁽⁴⁾ mettevano in evidenza che questa particella μ interagiva molto debolmente coi nucleoni, disintegrandosi per azione delle forze deboli come nei fenomeni radioattivi, mentre per essere l'agente delle forze nucleari avrebbe dovuto interagire con interazione forte.

Ma anche quest'enigma veniva risolto poco dopo: coll'allora quasi nuova tecnica delle lastre fotografiche, sulle emulsioni delle quali le particelle che le colpiscono lasciano una traccia ionizzante, dalle cui caratteristiche si possono ricavare le loro energia e massa, Lattes, Occhialini e Powell⁽⁵⁾, in un lavoro famoso, mettevano in evidenza l'origine di questi μ ; erano, assieme ad un neutrino, il prodotto di decadimento di un'altra nuova particella, anch'essa positiva o negativa — oltrech  neutra — che veniva chiamata π , ed aveva stavolta la massa di 273 volte quella dell'elettrone. Quindi, non solo andava ancora meglio del μ come rappresentante del mesone di Yukawa, ma risultava, come desiderato, fortemente interagente coi nuclei; ciò che veniva confermato dal fatto che questi mesoni π erano prodotti — anche questo lo si vedeva sulla lastra — da protoni e nuclei di altissima energia che, urtando sui nuclei delle lastre stesse, o su quelli dell'atmosfera, risultavano tanto più numerosi ed energici quanto più violenta era stata l'interazione che dava loro origine.

Con questa scoperta veniva non solo confermata ed accreditata la natura delle forze nucleari, ma ci si rendeva conto che il quadro della fisica particellare non più si poteva limitare ai soli elettroni e nucleoni, e che doveva presumibilmente riempirsi di nuovi elementi di cui sia il π che il μ , seppure con funzioni molto diverse, rappresentavano i primi nuovi componenti.

Ed è solo a questo punto che si apre il tema sul quale si focalizza il presente articolo, che come primo caso può appunto riferirsi a quanto di nuovo viene richiesto al pensiero fisico onde comprendere il «come» della produzione od assorbimento di questi mesoni π — o pioni — da parte dei nucleoni. La novità sta nel fatto che, mentre nel fenomeno corrispondente elettromagnetico, l'ente prodotto od assorbito, il fotone, era elettricamente neutro, qui avviene invece che i pioni esistano in tre diversi stati di carica; +, 0, –, sempre unitaria. Ne segue che se processi come

$$(3) \quad p \rightarrow p + \pi^0, \quad n \rightarrow n + \pi^0$$

sono l'esatto analogo di quelli elettromagnetici, i processi

$$(4) \quad p \rightarrow n + \pi^+, \quad n \rightarrow p + \pi^-$$

che implicano un trasferimento di carica elettrica, recano nel contempo un cambiamento di natura della particella nucleare, che da p diventa n o viceversa. Questo di per sé costituisce un fatto nuovo, la cui prima interpretazione si è cercato di ridurre ad un aspetto puramente quantitativo, inventando una quantità numerica, t_3 , detta spin isotopico, soggetta all'identica matematica dello spin normale — quantità di momento intrinseco angolare della particella — costituente una specie di coordinata supplementare interna, oltre quelle spaziotemporali della particella stessa. Attribuendo a t_3 il valore $+1/2$ per il protone e $-1/2$ per il neutrone e $+1, 0, -1$, per i tre stati di carica del mesone π , è facile vedere come le reazioni (3) e (4) avvengano in modo da conservare lo spin isotopico complessivo del sistema. In tale modo, coll'introduzione di questa coordinata supplementare, il nucleone sembra diventare un'unica particella con due diversi stati di carica, e lo stesso dicasi per il pione che viene invece ad averne tre.

E se tutto si fosse fermato a questo livello la teoria delle forze tra nucleoni, le interazioni forti, sarebbe stata di poco diversa da quella delle interazioni elettromagnetiche. Ma ecco che già nel corso degli anni '50, sia i fotogrammi presi alla camera di Wilson, sia le tracce lasciate sulle lastre fotografiche nucleari, rivelavano l'esistenza nei raggi cosmici di particelle, inizialmente abbastanza rare in verità, la cui massa risultava diversa sia da quella dei nucleoni, sia da quella dei mesoni⁽⁶⁾.

Alle prime apparenze, esse venivano a co-

stituire una multivarietà di tante forme diverse di decadimenti, raffigurate da disintegrazioni in due o tre particelle di vari tipi — pioni, muoni, elettroni, neutrini, fotoni, o nucleoni stessi — processi in cui la carica elettrica si conservava, e pure il cosiddetto «numero barionico», che valeva 1 per i nucleoni e i corpuscoli più pesanti di essi e 0 per quelli più leggeri; mentre non si conservava la massa, come nel decadimento dei pioni e dei μ . Dopo un certo tempo, si è potuto accertare che questa grande varietà si limitava in complesso, ai decadimenti:

i) d'un nuovo mesone detto k , di circa 900 masse elettroniche, con tre stati di carica, e che poteva decomporsi per interazioni deboli (⁷) — limitandoci qui ai processi relativi ai soli casi di

$$(5) \quad \begin{aligned} k^\pm &\rightarrow \pi^\pm + \pi^\pm + \pi^\mp, \\ k^\pm &\rightarrow \pi^\pm + \pi^0, \\ k^\pm &\rightarrow \mu^\pm + \nu, \\ k^\pm &\rightarrow \mu^\pm + \nu + \pi^0, \\ k^\pm &\rightarrow e^\pm + \nu + \pi^0, \end{aligned}$$

particelle cariche — negli svariati modi osservati;

ii) e d'una serie di oggetti più pesanti del nucleone, che venivano detti iperoni, decadenti per lo più in nucleoni e mesoni, e che si lasciavano raggruppare in diversi stati di massa, dando luogo ai seguenti decadimenti:

$$(6) \quad \begin{aligned} n &\rightarrow p + e^- + \nu, \\ \Lambda^0 &\rightarrow p + \pi^-, \\ \Lambda^0 &\rightarrow n + \pi^0, \\ \Sigma^+ &\rightarrow p + \pi^0, \\ \Sigma^+ &\rightarrow n + \pi^+, \\ \Sigma^0 &\rightarrow \Lambda_0 + \gamma, \\ \Sigma^- &\rightarrow n + \pi^-, \\ \Xi^0 &\rightarrow \Lambda_0 + \pi^0, \\ \Xi^- &\rightarrow \Lambda_0 + \pi^-. \end{aligned}$$

Tale multivarietà di particelle, che moltiplicava oltre misura il numero di quelle che una volta si erano ritenute come elementari, faceva nascere spontaneamente il paragone con altri campi di conoscenza necessitanti una particolare nomenclatura, per cui diventava allora corrente parlare di «zoologia» delle particelle come per varie specie animali da coordinare tra loro.

E questo in effetti diventava in breve tempo il filone di pensiero sul quale si concentrava a quei tempi la mente dei particellisti: perché mai esistevano tante particelle? Una prima idea fondamentale per la loro classificazione veniva suggerita da un certo numero di eventi, interazioni nucleari di altissima energia, in cui tali particelle — «strane» — erano prodotte. Veniva in effetti constatato come in tali eventi se ne producessero contemporaneamente più d'una, secondo un fenomeno indicato come «produzione associata». Quando veniva prodotto un iperone, veniva pure nello stesso evento prodotto un mesone k . In altre parole l'uno non poteva andare senza l'altro (⁸).

La cosa si poteva allora spiegare, estendendo il concetto dello spin isotopico t_3 coll'inventare un nuovo numero quantico, detto stranezza s . Attribuendo da un lato stranezza $s = 0$ al nucleone, stranezza -1 alla Λ^0 e alle tre Σ , e stranezza -2 alla Ξ^0 e Ξ^- ; nonché stranezza $s = +1$ al mesone k e k^0 , e $s = -1$ ad un altro $\bar{k}^0$ e a $\bar{k}^-$, (esistono di fatto due diversi k^0 che si distinguono per la durata della loro vita media nel decadimento, anche se questi di fatto non coincidono con k^0 e $\bar{k}^0$), si potevano scrivere reazioni di produzione associata, del tipo

$$\begin{aligned} p + n &\rightarrow \Lambda^0 + n + k^+, \\ \pi^- + p &\rightarrow \Sigma^- + k^+ + n, \\ \pi^- + n &\rightarrow \Lambda^0 + k^+ + n, \end{aligned}$$

ed altre consimili, che oltre a conservare carica, numero barionico e spin isotopico conservavano pure la stranezza.

Dall'insieme delle tabelle, si può così constatare che mentre le interazioni forti di produzione delle particelle conservano il valore complessivo di tutti i parametri particellari (carica elettrica, spin isotopico e stranezza, numero barionico), le reazioni di decadimento debole conservano sì, la carica elettrica ed il numero barionico, ma violano la conservazione sia dello spin isotopico che della stranezza.

L'insieme di tali risultati invitava a considerare le numerose particelle scoperte quali raffiguranti un'idea di cui esse sono le concrete rappresentanti. E la ricerca di tale idea, perseguita per alcuni anni da vari autori colle proposte di diversi possibili schemi (⁹), è stata conclusa con successo dalla cosiddetta «*eightfold way*», elaborata da Gell-man (¹⁰), i cui caratteri principali si possono riassumere come segue.

Esiste un'unica particelle, detta barione, di massa uguale o superiore al nucleone, dotata di vari stati di carica elettrica, di spin isotopico e di stranezza. Raffigurando la situazione in uno spazio fittizio, detto spazio della carica, in cui in ascisse vengono portati i valori dello spin isotopico t_3 e in ordinata quelli della stranezza, s , il quadro degli otto stati del barione si raffigura come segue:

$s \backslash t_3$	1	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	-1
0		p		n	
-1	Σ^+		Λ^0, Σ^0		Σ^-
-2		Ξ^0		Ξ^-	

In modo del tutto corrispondente, in uno spazio fittizio colle medesime coordinate, sono raffigurati gli stati di un unico mesone:

$s \backslash t_3$	1	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	-1
+1		k^+		k^0	
0	π^+		π^0		π^-
-1		$\bar{k}^0$		$\bar{k}^-$	

Le interazioni tra barione e mesone sono regolate da un gruppo di trasformazioni, detto $SU(3)$, che gioca sugli spazi della carica, e che è l'analogo a tre componenti di $SU(2)$, il ben noto gruppo dello spin e dello spin isotopico. Tale simmetria sarebbe rigorosamente valida per le interazioni forti, se le masse dei barioni fossero uguali tra loro, e lo stesso dicasi pure per quelle dei mesoni; siccome però ci sono differenze di massa tra nucleoni ed iperoni da un lato, e tra mesoni π e k dall'altro, questa perfetta simmetria è violata. Anche le interazioni deboli violano le simmetrie, in quanto, tra l'altro, non conservano la stranezza.

Siccome non è possibile, a livello del presente articolo, entrare in maggiori dettagli circa i giochi di queste interazioni, crediamo opportuno soltanto soffermarci sul significato di quanto costituisce la principale novità concettuale introdotta in quanto precede. Ciò riguarda ovviamente quello che dobbiamo intendere come «spazio della carica», nel quale abbiamo sistemato barioni e mesoni.

Come già detto, si tratta d'uno spazio fittizio, che ci serve da ausilio matematico immaginativo per collocare in esso i vari stati delle particelle, descrivibili o ridotti a puri numeri dello spin isotopico e della stranezza: espediente per tradurre in modo quantitativo ciò che in realtà costituisce una differenziazione qualitativa, in quanto un

neutrone è qualitativamente diverso da un protone, ed un pione neutro da un pione carico. La fisica, che nella sua tendenza generale ha sempre tentato e tenta tuttora di tutto ricondurre ad un punto di vista solo quantitativo, si è trovata nella necessità, di fronte alla varietà delle particelle e delle forze nucleari, a non potere ignorare la qualità, diversa per ogni tipo di particella; e seppure ha cercato collo spazio delle cariche di esprimere anche la qualità in modo numerico, ciò non deve mascherare il fatto, sostanziale in sé, che la diversità delle qualità costituisce un contrassegno primordiale del cosmo, e che tale tipo di differenziazione di fatto si ripercuote anche laddove si è tentato di farla sparire mascherandola con aspetti numerici quantitativi.

Uno degli espedienti rivolti a questo fine è quello della strutturazione. Ed anche per il mondo delle particelle ci sembra adeguato di farvi un cenno — seppur di fatto si sviluppa solo dopo gli anni sessanta del secolo trascorso — non tanto per un suo carattere conclusivo, quanto piuttosto per il senso di apertura verso l'ignoto che mi pare difficile di non risentire di fronte alla situazione che prospetta.

Ci sono diverse ragioni (che qui non abbiamo spazio per indagare) le quali suggeriscono un'interpretazione per tutti gli adroni (barioni e mesoni), come composti di sotto-particelle ancora più elementari, dette quark; i quark sono portatori di cariche elettriche frazionarie ($+2/3$ o $-1/3$); un barione è costituito da un insieme di tre quark, e un mesone dall'unione di un quark con un antiquark (antiparticella dei quark, come l'elettrone positivo lo è per l'elettrone negativo). Vi è un numero adeguato di diversi quark atto a spiegare sia gli stati nucleonici, sia i diversi stati di stranezza ed altri analoghi, scoperti poi nelle interazioni di altissima energia. Le forze che legano quark e mesoni sono dette «di colore», e sono trasmesse da una nuova entità di particelle, dette gluoni, di otto specie diverse, il cui ruolo corrisponde, in «cromodinamica», a quello dei fotoni in elettrodinamica. Se una tale visione permette di ridurre il numero di particelle fondamentali, essa però come controparte richiede che vi siano tre tipi diversi di forze agenti tra i quark, dovute ad un ente che si presenta sotto tre diversi «colori», detti rosso, verde, blu (anche se nulla hanno a che fare coi colori reali). Si cerca di modellare le forze di campo, a cui questi colori danno luogo, sulla cosiddetta QED, elettrodinamica quantistica, per formarne un nuovo insieme, detto QCD, cro-

modinamica quantistica, immensamente più complicato e difficile da maneggiare, per cui relativamente pochi problemi hanno potuto essere attaccati e risolti con adeguata penetrazione. Naturalmente, le forze di colore che legano tra loro e trattengono i quark, danno pure luogo ad insiemi di forze complessive, esercitate dai barioni formati ognuno dai tre quark, su altri barioni; e queste altre non sono che le forze nucleari tra barione e barione, forze secondarie rispetto a quelle primarie di colore, che giocano per i nuclei lo stesso ruolo delle forze di Van der Waals rispetto alle leggi dei gas perfetti.

Se abbiamo creduto utile estendere il quadro e il sistema di forze sperimentalmente bene osservate fino ad integrarlo con un insieme di sottoparticelle che concettualmente facilitano la comprensione del perché della loro molteplicità, lo abbiamo fatto onde delineare un problema di portata molto più vasta e che, a parere nostro, non può non cominciare ad affacciarsi a questo punto: problema circa il senso reale da dare a questo nuovo sotto-insieme di particelle formato dai quark; ovvero circa la possibilità di una problematica diversa e strettamente legata alla diversità del loro livello di sperimentabilità. Sembra finora comprovato che i quark, presenti nei barioni e nei mesoni, non si possano mai isolare rispetto a tali loro insiemi, né di conseguenza si possano isolare le azioni dei singoli «colori» l'una dall'altra. Questa constatata impossibilità, verificatasi fino al giorno d'oggi, è solamente dovuta al fatto che non abbiamo ancora a disposizioni energie sufficientemente alte per scompaginare la consistenza interna d'un nucleone? ciò che lascerebbe prevedere che la cosa diventerà possibile ad energie più alte di quelle attualmente raggiungibili? o vi potrebbe essere una ragione di «principio» che renda *a priori* impossibile l'isolamento di un quark o di un colore? Non lo si può dire, per il momento; ma se siamo arrivati al punto di proporre un tale dilemma, è in quanto, a nostro parere, la presa di posizione nei suoi riguardi potrebbe essere determinante per la direzione stessa della linea lungo la quale ha da muoversi l'avanzamento del pensiero fisico.

Ed un orientamento al riguardo si potrà forse ricavare anche sulla base d'un altro quadro dell'attuale scibile, derivante anch'esso dalla cosmologia, ma da tutt'un'altra serie di dati, che passeremo ora a presentare, come seconda parte di questo esposto. E dall'insieme dei risultati delle due parti, potrà venir suggerito, a me pare, la messa a fuoco d'una generale tendenza, che po-

tremo indicare come quella d'una «strutturazione», la quale, come sintesi tanto della prima che della seconda parte, si basa sui fenomeni della complessità, e forma, di per sé, stessa, una prospettiva complementare rispetto a quella seguita per le scienze fisiche dai secoli scorsi ad oggi.

2. – La cosmologia, come quadro complessivo dei fenomeni su larga scala del cosmo nel suo insieme, si delinea, nella sua forma attuale, fin dal 1929, coll'enunciato stesso della «legge di Hubble»: da un lato, la distanza d delle diverse galassie, misurata dai cosiddetti indicatori di distanza, e cioè dalla luminosità di certi oggetti celesti (in prima istanza le stelle cefeidi, e poi altri molto più luminosi quali le supernovae), di luminosità nota che fungono da candele campione; e, dall'altro, la loro velocità di allontanamento v , misurata dall'effetto Doppler sulle loro righe di assorbimento o di emissione, sono tra loro proporzionali. Da cui si deduce che l'universo va espandendosi, creando gradatamente lo spazio che continuamente si allarga, il tasso approssimativo di espansione essendo dato dalla costante di proporzionalità della legge tra v e d , detta di Hubble, sulla quale sussistono tuttora incertezze, ma ben individuata per l'ordine di grandezza, che permette di situare il «big bang», il momento iniziale in cui l'universo aveva dimensioni trascurabilmente piccole, a circa 13 miliardi di anni fa⁽¹⁾. Le leggi dell'espansione permettono di prevedere un andamento continuamente decrescente per la temperatura e la densità della materia nelle diverse fasi dell'espansione; anche se la taratura esatta di tali successive fasi ha potuto essere fatta solo più tardi, nel 1965, in base alla scoperta ed all'interpretazione della cosiddetta radiazione di fondo a 3 K; già prima, con buona approssimazione, era stato possibile prevedere la successione degli stati della materia attraverso i quali passava l'universo in funzione dei valori della temperatura che in tali fasi essa assumeva. Il quadro che ne risulta viene qualitativamente dato dalle seguenti tappe principali.

Quando, a frazioni di secondo dopo la presunta origine, l'universo ha raggiunto una temperatura di 10^{11} gradi ed una densità dell'ordine di $\sim 10^8$ g/cm³, tutte le particelle presenti, nucleoni, elettroni, neutrini, fotoni, sono in equilibrio termico, e si muovono come le particelle di un gas perfetto, troppo energiche per poter risentire una qualunque azione da parte dei campi di forza.

Due notevoli semplificazioni avvengono rispettivamente quando l'espansione ha fatto ca-

lare la temperatura sui 10^{10} e sui 10^9 gradi; nel primo caso sono i neutrini che per la loro scarsissima massa sono usciti dai rapporti di equilibrio e vanno d'orinnanzi per conto loro; nel secondo sono gli elettroni positivi, in minoranza rispetto a quelli negativi, che si annichilano ognuno con uno di questi. Inoltre, malgrado l'alta temperatura, la densità è rimasta ancora sufficientemente elevata per permettere alle forze nucleari, di corto raggio ma molto forti, di farsi sentire; ed il loro effetto è di consentire ai nucleoni di unirsi per formare i primi nuclei composti, isotopi dell'idrogeno e dell'elio⁽¹²⁾, che conducono alla nucleosintesi del nucleo di massa 4, formato da due protoni e due neutroni. Ma il calo successivo della temperatura per la continuata espansione non riesce a spingersi più avanti, il raffreddamento divenendo troppo rapido per consentire la formazione di nuclei più pesanti in non trascurabile misura. Sicché, con l'aggiunta di questi composti, nucleoni, elettroni e fotoni continuano a palleggiarsi in equilibrio, fino a quando, nell'espansione, la temperatura non sia calata a poche migliaia di gradi.

Ed a quel punto, detto «della ricombinazione», avviene un drastico cambiamento (in realtà graduale ma breve rispetto ai tempi delle epoche considerate), dato dall'entrata in gioco delle forze elettromagnetiche, agenti tra nuclei carichi positivamente ed elettroni negativi; ogni nucleo si cattura gli elettroni che gli spettano (uno per l'idrogeno e due per l'elio), in modo da formare sistemi elettricamente neutri, che sono gli atomi. Ed è tale raggiunta neutralità elettrica dalla materia che mette in atto una basilare conseguenza, che ora modella il cosmo in modo del tutto diverso. Fintanto che le particelle cariche erano libere, materia e radiazione interagivano fortemente, e venivano a formare un tutto unico, per il quale il valore dell'energia media di ogni singolo suo componente era misurata da un unico valore della temperatura; colla formazione di sistemi neutri, gli atomi, l'interazione tra materia e radiazione diminuisce drasticamente, sicché da allora in poi ognuna delle due si evolve in modo praticamente indipendente. Quello che avanza della radiazione originaria si mantiene per conto proprio secondo le leggi della termodinamica, e di essa rimarrà traccia come pura radiazione in equilibrio ad una temperatura sempre calante, che oggi dai miliardi di gradi iniziali si è ridotta a tre gradi assoluti. Nel mentre per quanto concerne la materia, fatta di atomi e di ioni residui, l'e-

spansione verrà gradatamente rallentata per l'emergente azione della forze di gravità.

Il campo della forza di gravità è talmente debole alla scala delle masse delle particelle che la sua azione risulta totalmente trascurabile, fintanto che queste, oltre le forze nucleari, sono dominate dalle forze elettromagnetiche. Ed è quindi appena quando tali forze sono state neutralizzate dal compenso tra le cariche dei due segni, cioè dopo la ricombinazione, che esse cominciano a farsi sentire. Ma seppure sono deboli, esse sono di lungo raggio di azione, e così possono agire a grande distanza. Si arriva in tal modo al paradosso che alla forza più debole esistente nel cosmo vanno interamente attribuite le strutture cosmiche su vasta scala: i gas di atomi e ioni si raggruppano in tal modo in nubi, e tali nubi danno origine alle protogalassie; che diventano poi galassie⁽¹³⁾ quando parte dei gas comincia a condensarsi in agglomerati molto minori e molto più densi che sono le stelle.

Fino a questo punto, il ruolo della forza di gravità, paradossale se si vuole per la ragione suddetta, è così generalmente noto da non destare una particolare attenzione. Ma ora giunge il momento di porre in evidenza un'ulteriore sua funzione, meno appariscente, se vogliamo, ma assolutamente cruciale onde spiegare il rimanente funzionamento dell'universo. Si tratta dell'azione sua sul valore dell'entropia complessiva del cosmo; e l'essenzialità di tale azione, soprattutto per quanto riguarda la nostra stessa specie, giustifica pienamente il rilievo che qui le vogliamo dare.

L'entropia è una grandezza che si definisce in termodinamica; di cui, se presa direttamente in base alla sua formulazione, non appare molto intuitivo il significato fisico, mentre molto più note sono un certo numero di conseguenze che dalle sue proprietà si deducono; le principali delle quali regolano il comportamento dei sistemi che non sono in equilibrio termico, per i quali cioè non si possa stabilire per tutti i loro punti un unico valore della temperatura — ed eventualmente nel caso almeno dei gas, anche della densità. Si può mostrare in modo del tutto generale⁽¹⁴⁾ come l'evoluzione spontanea per un qualunque sistema disomogeneo tenda ad uguagliare dovunque la temperatura (ed eventualmente la densità se si tratta di gas), in modo da portare l'insieme ad un equilibrio termico. E si può mostrare in modo del tutto generale che ciò facendo l'entropia del sistema cresce, per adeguarsi ad un

suo valore massimo quando il sistema avrà raggiunto l'equilibrio. Questa legge costituisce il ben noto «secondo principio della termodinamica», il quale si può formulare, in modo matematico, introducendo appunto il concetto di entropia, nel modo sintetico che segue: in un qualunque sistema l'entropia non diminuisce mai, e prende il massimo suo valore quando il sistema ha raggiunto l'equilibrio termico.

Che cosa possiamo dire, ora, circa l'entropia totale dell'universo?

All'inizio, fintanto che la temperatura è molto alta e che la materia è un tutto omogeneizzato di particelle e fotoni, l'entropia ha il valore massimo spettante ad un gas perfetto a quelle condizioni di temperatura e densità. Dalla ricombinazione in poi, però, la materia si divide nelle due componenti, fotonica e particellare, con scarsa interazione reciproca; ciò porta al fatto che pure l'entropia totale risulta quale somma di due componenti, l'una fotonica che si attiene, durante tutta l'espansione, al massimo del valore che può avere per un tale gas; l'altra invece, relativa alla componente particellare, che si manterrebbe pure al massimo valore possibile se tale gas rimanesse perfetto. Ma col procedere dell'evoluzione, esso lo diventa sempre meno, per il crescere dell'importanza della perturbazione all'equilibrio recata dal crescere degli effetti gravitazionali. Causa l'inomogeneità della densità che ne consegue, l'entropia aumenta sempre meno rapidamente rispetto a quanto spetterebbe al gas perfetto, per cui essa va gradatamente sempre più discostandosi dal valore massimo che le competerebbe se non ci fosse il campo della gravitazione. Il netto effetto risultante è che l'entropia cresce più lentamente rispetto al valore massimo che potrebbe raggiungere nei successivi stati dell'espansione. La differenza tra questo valore massimo non più raggiungibile, ed il suo valore effettivo rappresenta una specie di entropia negativa, o di diminuzione rispetto a quella che avrebbe potuto esserci in assenza di forze, che viene equiparata ad una grandezza denominata l'«informazione». Non è quindi che non cresca l'entropia totale, come esige il secondo principio della termodinamica; ma cresce troppo lentamente; o se vogliamo, il totale cresce, ma in certi punti, laddove c'è condensazione, essa diminuisce, o cresce troppo poco; e tale carenza implica l'apparire in quei punti di disomogeneità di densità e quindi il formarsi di strutture.

Ecco quindi il grande ruolo, in parte non tanto

apparente, della forza di gravità: se ci sono strutture nell'universo a livello macroscopico che scartano dall'universale omogeneità, esse sono dirette od indirette conseguenze della gravità. E due di queste, le principali, sono essenziali per il nostro esistere.

Le prime strutture formate, gli atomi di idrogeno e di elio, come si è visto, esistono già da tempo; la condensazione gravitazionale, che li fraziona in nubi e li condensa in stelle, potrebbe farli collassare in strutture superdense in tempi dell'ordine di dieci o cento milioni d'anni; tempi quindi parecchio brevi su scala astronomica, che ridurrebbero di molto il tempo di vita complessivo dell'universo. Ma la condensazione porta ad un aumento, nel centro delle stelle, sia di temperatura che di densità. E le condizioni sono tali che si innescano allora spontaneamente reazioni nucleari: innanzitutto l'idrogeno, che supera in massa il 70% del totale, si trasforma in elio; e col crescere della contrazione nel centro dell'astro, l'elio diventa carbonio e si succedono le formazioni di neon, ossigeno, magnesio, silicio, su fino al ferro. Il tutto allunga la scala dei tempi, per stelle di non troppo grande massa, sull'ordine di qualche miliardo d'anni di vita; sono quindi fenomeni causati dalla gravità che danno al cosmo un tempo d'esistenza compatibile con quanto richiede lo sviluppo della vita in base a tutto il quadro cosmico che ci circonda.

Ma ciò non basta; i cosiddetti «metalli», elementi dal carbonio in su, formati dalle reazioni nucleari nelle zone più calde degli astri, sono racchiusi nei loro centri: c'è qualche fatto che li possa tirare fuori da lì? Ecco appunto: le supernovae⁽¹⁵⁾, esplosioni delle stelle più grosse in fine di evoluzione, che scaraventano il loro materiale in tutto lo spazio, per cui, dopo alcune generazioni di stelle, la materia nello spazio circostante sarà gradatamente arricchita di elementi pesanti. E quando queste nuvole arricchite a loro volta si frazioneranno in protostelle, e che i residui della condensazione, non catturati dall'astro centrale, daranno luogo a quelle scorie che si organizzano come corti di pianeti intorno ad esse, ecco che tali pianeti potranno possedere un nucleo di elementi pesanti che in opportune condizioni si potrà fare solido e rivestirsi di un certo numero di connotati, i quali potranno renderlo simile a come si presenta per noi la nostra terra.

E quando su questa terra le condizioni siano abbastanza simili alle nostre attuali, con adeguate insolazione, acqua liquida, atmosfera, ecc. questa terra, secondo una modalità che, almeno

per ora, sfugge completamente alla nostra comprensione, è atta a rivestirsi di una certa muffa variata e variopinta che nel suo insieme noi indichiamo come vita; la quale in ultima analisi è resa possibile dallo scarto dell'entropia locale rispetto al suo possibile valore massimo, e dall'aumento costante degli effetti della gravità, che continuano in modo per ora progressivo ad inibire la sua crescita.

3. – Ora, dopo avere esposto i dati e i risultati dei due campi di ricerca presi in esame, vogliamo mettere in risalto il punto di vista o l'aspetto che ne consente il quadro unificante. E tale aspetto ci viene immediatamente suggerito da quanto già asserito nel secondo dei precedenti esposti, quello dell'evoluzione del cosmo per espansione. Abbiamo visto infatti che quanto contrassegna i vari stati d'evoluzione sono le strutture che vanno via via formandosi al crescere di tale espansione. Ebbene, prolungando all'indietro verso l'origine del cosmo questa stessa linea di successione dei composti, incontriamo le varie strutture rivelate dai raggi cosmici, includenti gli stati di aggregazione successiva anteriori alla formazione dei nuclei stessi, e che riguarderanno la struttura stessa dei nucleoni, ed in genere dei barioni e dei mesoni, quale primo livello degli aggregati dei quark tramite le forze di colore. In tale modo si potrebbe pensare che l'intero quadro dell'evoluzione del cosmo, spinta all'indietro fino al favoloso punto iniziale, di cui in fatto nulla si sa, possa considerarsi come una successione di formazioni di strutture aggregate a tappe via via crescenti, che dai quark e dalle forze di colore dà luogo alle comuni forze nucleari e quindi ai nuclei; a loro volta nascono gli atomi per le interazioni elettromagnetiche, poi le molecole per le residue forze di Van der Waals tra gli atomi già formati, ed infine, per le specifiche caratteristiche del carbonio, gli aggregati plurimolecolari, di decine, di migliaia, di milioni di atomi che portano gradatamente alle cellule, agli essere pluricellulari, ed infine a tutto il panorama della biologia. Secondo una tale linea l'intera vita del cosmo sembra unificarsi in un unico paradigma: la formazione di strutture gradatamente più complesse sotto l'azione di campi di forza a raggio gradatamente crescente.

Quali sono le possibili chiavi di lettura d'un tale quadro evolutivo?

Fino al giorno d'oggi, ce n'è praticamente stata

una soltanto, e sulla quale nessuno nutriva dubbi: la visione detta comunemente di Galilei, e che sarebbe forse meglio indicare come quella dei seguaci alla lettera di Galilei. Galilei in effetti s'era praticamente cimentato colle leggi più semplici della fisica, il pendolo e l'attrazione sole-terra, per le quali le sue premesse, relative al moto determinato in modo inequivoco dalle condizioni iniziali, sono, oggi come allora, sempre perfettamente valide. Ma tale linea di pensiero, comprovata per questi semplici problemi, è stata poi assunta come linea direttiva per problemi fisici ben più complicati, ed è di fronte alla complessità di tali problemi che la domanda posta all'inizio di questa sezione può acquistare un certo senso. Prescindendo qui dal fatto che, colla meccanica quantistica ed il cosiddetto «caos deterministico», non è più possibile precisare le condizioni iniziali a certe scale di dimensioni, e che pertanto alla certezza della traiettoria classica va sostituita la visione probabilistica delle varie possibilità cui il moto può dar luogo, si conserva quasi istintivamente la convinzione, dato il senso di decorso del tempo, che le cause giacciono nel passato, mentre il futuro ne dipenda deterministicamente, o solo come probabile; e che tali cause prime siano semplici, basilari, tali in ultima analisi da consentire di spiegare le strutture via via più complesse che si presentano come riconducibili a somme o combinazioni di questa primordiale semplicità. La generale aspirazione che più o meno generalmente traspare è che, per quanto lontano nel passato si cerchi di spostarsi, ed a qualunque valore delle energie che si abbiano da mettere in gioco, si debba finalmente convergere alla scoperta d'un'idea che nella sua fundamentalità e semplicità sia in grado di spiegare tutto.

Pur consapevole e pienamente ammirato degli sforzi immani che vengono spesi in tale senso, sia nelle alte energie dei laboratori, sia nei voli spaziali, non ci sembra nondimeno fuori luogo il chiederci se la medesima concatenazione di fatti, che secondo quest'interpretazione corrente vanno dalle cause prime agli effetti ultimi, non possa pure visualizzarsi in direzione praticamente inversa, e cioè di risalita dagli effetti alle cause: punto di vista in sostanza più naturalmente umano, in quanto insito nel nostro stato presente stesso. Se c'è qualcosa che può sembrarci sicuro, è che noi siamo qui, attualmente esistenti: da questo punto di partenza, si deve poter tornare indietro alla serie di cause che ci hanno qui collocati, che già sappiamo

quali sono; ma che adesso devono essere tali da potere giustificare e spiegare il loro risultato. E contrariamente alla strada di andata, che dalle origini ci faceva scivolare naturalmente alle conseguenze, questa strada di risalita dalle conseguenze alle origini è irta di strettoie e di difficoltà, le cui principali si possono così sintetizzare.

L'essere umano, cumulo di materiale organico biologico, e pertanto rappresentante della vita, s'è potuto mettere insieme, da un lato grazie al vasto campo di forze che provoca un locale abbassamento dell'entropia, e dall'altro per la te-travalenza del carbonio che si lega a migliaia e milioni di sottostrutture; a sua volta la presenza di carbonio a sufficienza è principalmente dovuta alla sintesi di tre nuclei di elio per il gioco d'una reazione, in sé rarissima, ma che qui diventa risonante. Ora tale risonanza è possibile ed i nuclei di carbonio si attaccano a catena solo perché la costante delle interazioni elettromagnetiche ha quell'esatto valore e non un altro; il ché di per sé basta per costituire una strettoia in vista della possibilità di formazione della sostanza organica vivente, che non sarebbe conseguibile per altri valori della costante suddetta.

Un'ulteriore strettoia a monte è quella della formazione di atomi neutri, che può avvenire soltanto in quanto — dettaglio finora inspiegato ed in apparenza insignificante — la massa del neutrone è lievissimamente maggiore di quella del protone; se fosse successo il contrario, il protone decadrebbe in neutrone, e nuclei prevalentemente neutri non avrebbero formato sistemi atomici cogli elettroni: seconda strettoia da superare e di fatto superata in vista di arrivare alla vita.

La terza strettoia è data dall'intensità delle forze nucleari di corto raggio. Se fossero un pochino più deboli di quanto sono, il deuterio, isotopo dell'idrogeno, il primo nucleo composto da un protone e da un neutrone, non sarebbe stabile, e tutti i nuclei pesanti non si formerebbero; se le forze nucleari fossero invece un pochino più forti, tutti i nucleoni si legherebbero in elio ed in composti superiori, per cui l'idrogeno libero mancherebbe. In un caso come nell'altro, verrebbe meno un qualche elemento necessario onde fabbricare la materia organica, e di nuovo esseri vivi non avrebbero potuto esserci.

Non crediamo che, al livello attuale delle nostre conoscenze, si possa prolungare questa marcia all'indietro fino alle forze di colore, nell'intento di constatare se la loro struttura stessa

sia condizione necessaria per produrre quanto da esse consegue come forme specifiche di azione tra nucleo e nucleo.

Insisteremo invece sul fatto che la condizione di gran lunga la più drastica e la più critica sembra legata alla costante cosmologica dell'espansione dell'universo. Senza potere qui entrare nei dettagli della questione, ancora tutt'altro che sistemata in modo definitivo, si può dire, in maniera molto sommaria, che se la spinta iniziale del «big bang» fosse stata appena un pochino più drastica di quanto è, la forza di gravità sarebbe stata insufficiente per frenare l'espansione, e le galassie non avrebbero potuto condensarsi; se fosse stata appena un pochino più fiacca, la forza di gravità avrebbe fermato l'espansione e l'avrebbe fatta tornare indietro, prima di dare un tempo di vita all'universo sufficiente per permettere all'uomo di svilupparvisi.

Questo genere di constatazioni, con molte altre consimili, vengono generalmente indicate come «antropiche»⁽¹⁶⁾, in quanto basate sull'ineluttabilità di fatto dell'esistenza dell'uomo ed in genere della vita, che di tutte le evidenze sperimentali e per noi di gran lunga la più immediata. Ed il constatare, sulla base di tanti altri fatti ben documentati, che tale esistenza non avrebbe potuto avvenire anche per modifiche minime del quadro del cosmo, sembra dare all'esserci della vita un rilievo che non può più venire ignorato dalla cosmologia puramente fisica. Cionondimeno, è risaputo quanti sforzi sono fatti ancora da certe correnti di pensiero per insistere su di una presunta «casualità» delle coincidenze antropiche suddette. A noi sembra molto più ragionevole e corrispondente alla realtà dei fatti il rendersi conto e l'accettare come le constatazioni antropiche altro non siano che la visuale rovesciata rispetto alla solita causalità; e cioè che oltre a derivare le evidenze del mondo fisico come un succedersi da cause ed effetti, si possa non solo tornare indietro e risalire dagli effetti alle cause, ma considerare tali effetti come lo scopo ultimo che le cause lontane s'erano proposte di raggiungere: ovvero, di fronte ed a compimento della linea di derivazione causale, scorgere la linea inversa di tendenza al fine, quale integrazione e complemento per una visione totale.

Nulla di strano in questo per l'uomo, il cui pensiero si articola continuamente in un tra-

passo dal passato all'avvenire e dall'avvenire al passato, doppia valenza alla quale egli approda come naturale modalità di tutte le sue speculazioni. Perché nel caso della sola scienza si è voluto per secoli interi amputare questa duplice visione e ridurla ad una sola unidirezionalità? Se la cosa poteva parere naturale per i problemi semplici cui si misurava Galilei, le situazioni della fisica presente, specie nei suoi derivati macromolecolari e biologici, sembrano per lo più troppo complesse per permettere di continuare di rifiutare un allargamento d'orizzonte concettuale del pensiero.

Senza volere qui maggiormente insistere su questo punto, ci limiteremo a notare come, non solo in cosmologia, ci sembri che una prospettiva finalistica possa emergere al giorno d'oggi nell'ambito di diversi aspetti del mondo fisico quale modalità complementare di comprensione di tutto quanto ci sta d'intorno.

Ma forse, più ancora che la presenza d'un intenzione finalistica complementare nel quadro del cosmo, ciò che maggiormente differenzia l'aspetto attuale della scienza rispetto a quello che ha dominato in modo quasi esclusivo nei decenni e secoli precedenti, è il venir meno di una visuale di continuità come sottofondo costante di tutto il divenire. In ognuno dei grandi campi del mondo fisico veniva data un'assoluta precedenza all'idea di una legge generale. Fosse essa gravitazionale, elettromagnetica o nucleare, dalla generalità della quale tutto potesse dedursi quale insieme di conseguenze svariate di una causa unica. E ciò che ancora oggi viene cercato in base a questa linea generale di pensiero è l'aspirazione ad un punto di partenza unico fondamentale, situato asintoticamente nell'ambito di energie così alte da non essere per ora ancora raggiungibile, ed il cui ottenimento vien visto come il vertice ideale del nostro stesso pensiero. Invece, ciò che forse più colpisce nell'occhio, a chi voglia dare uno sguardo complessivo al panorama del mondo, è il subentrare dovunque di discontinuità relativamente brusche, che scindono tra l'una e l'altra le zone di predominio delle diverse forze, coll'apparizione di strutture costituenti successive tappe di raggiungimento di un certo impulso unidirezionale promotore; il quale muove dal semplice al complesso, dall'elementare al composto, dal diluito al concentrato. E ciò che al giorno d'oggi si sta iniziando a constatare, è che queste tappe o strutture raggiunte sono essenzialmente stadi di

veri e propri trapassi di natura, nel senso che rispetto ad uno di questi dati salti, il cosmo che ne risulta, dal lato della complessità maggiore, è dotato di proprietà non riconducibili a quelle dei componenti dall'altro lato del salto, che formano ancora degli oggetti separati. La cosa è particolarmente evidente nell'ambito dei più alti livelli della complessità, per i quali il puro schema darwiniano dell'avvicinarsi di mutazioni ed adattamento all'ambiente può essere uno dei fattori per l'evolversi delle specie, ma non certo quello prevalente, in base a molta evidenza sperimentale dell'attuale paleontologia, sicché comincia ad apparire lecito pensare che il trapasso da macromolecole a cellule, e da cellule ad insiemi pluricellulari, metta in gioco cambiamenti di proprietà e di prospettive non inferiori a quelli del passaggio da ioni e nuclei ad atomi neutri, e da atomi a molecole pluriatomiche. Ed infatti, non meno drastica, anche se non altrettanto sottolineata, è la differenza qualitativa che passa tra uno ione ed un atomo neutro, o tra singoli quark e nucleoni composti.

E se ora, in vista d'un colpo d'occhio conglobante e riassuntivo, volessimo domandarci il basilare perché di questa varietà, di questo trapasso qualitativo da certe strutture ad altre dotate di proprietà imprevedibili in base ai costituenti? Constateremmo che ciò in effetti non avrebbe dovuto potere verificarsi, se la visione generale del mondo fisico avesse convalidato ciò che alle origini era considerato ed atteso come il prototipo della naturalezza e della semplicità, a cui ancora oggi si spererebbe di arrivare con un'unica legge, sia pure asintotica alle altissime energie, la quale esprimesse in se in modo unitario la massima condensazione. Questa di fatto si esplicherebbe in un dispiegamento totale di simmetrie, in base alle quali tutto appare uguale in tutto lo spazio, in tutte le direzioni, in tutti i tempi, con campi dovunque uguali agenti su particelle di massa tutte identiche. Sta di fatto però che, per lo meno al giorno d'oggi, tale totale simmetria non sembra realizzata in natura; perché? Di fatto non lo sappiamo, ma — siamo costretti a constatarlo — per una qualche ragione che ci sfugge, le masse delle varie particelle sono diverse tra di loro; e questa differenza ha per effetto di rompere le simmetrie che sarebbero forse inerenti alle leggi generali se le masse fossero uguali. Tali rotture hanno per ulteriore effetto di non solo differenziare le particelle, ma pure le intensità delle forze che agiscono tra di loro, e di spezzare l'interazione che sarebbe stata

unica nella varietà delle forze gravitazionali, elettromagnetiche, deboli, nucleari e di colore. Ma se tali spezzettamenti non ci fossero, se una sola simmetria dominasse il mondo, esso sarebbe dovunque, in tutti i tempi, ed a tutti i livelli disperatamente simile a se stesso, e quindi di una soffocante monotonia. Tutto quello che c'è di bello, di rilievo, di originale nel cosmo, che ne differenzia le varie parti e che lo fa evolversi sempre in apparenze nuove nel tempo, che crea le discontinuità è essenzialmente dovuto alla rottura delle simmetrie. Esattamente come per l'arte: Ci sono simmetrie sottogiacenti, ma che sono ricoperte dalle violazioni, che danno al mondo tutto il suo fascino; così la scienza di oggi, fondata sulla violazione di simmetrie, tende ad avvicinarsi a quanto da tutti i tempi ha fatto la bellezza e la continua novità nell'arte, la qualità.

Bibliografia

- (1) Vedi ad esempio: G. PUPPI e N. DALLAPORTA, *Progress in Cosmic Ray Physics* (North Holland Publishing Company, Amsterdam) 1952. Mi scuso per l'incompletezza dei riferimenti successivi: devo limitarmi a quei pochi rimasti a mia disposizione relativi ai soli lavori del gruppo di Padova e diretti collaboratori.
- (2) N. DALLAPORTA e E. CLEMENTEL, *Nuovo Cimento* **3** (1946) 135; **5** (1948) 298, 235
- (3) P. BUDINI e N. DALLAPORTA, *Nuovo Cimento* VII, no. 7 (1959), 230.
- (4) M. CONVERSI, E. PANCINI, C. PICCIONI, *Phys. Rev.*, **209** (1947) circa la natura del μ vedi, G. PUPPI, *Nuovo Cimento*, **6** (1940) 194.
- (5) C. LATTES, O. OCCHIALINI, C. POWELL, *Nature*, **160** (1947) 453.
- (6) M. CECCARELLI, N. DALLAPORTA, M. MERLIN e A. ROSTAGNI, *Nature*, **170** (1952) 454; N. DALLAPORTA, *Suppl. Nuovo Cimento*, **12** (1954) 56.
- (7) N. DALLAPORTA, *Nuovo Cimento*, **11** (1954) 82; G. COSTA e N. DALLAPORTA, *Nuovo Cimento*, **X**, no. 2 (1955) 519.
- (8) N. DALLAPORTA e F. FERRARI, *Nuovo cimento*, **X**, no. 5 (1957) 111; M. BALDO-CEOLIN, M. CECCARELLI, N. DALLAPORTA, M. GRILLI, L. GUERRIERO, M. MERLIN e A. SALANDIN, *Nuovo Cimento*, **X**, no. 5 (1957) 402; P. BUDINI, N. DALLAPORTA e L. FONDA, *Nuovo Cimento*, **X** no. 6 (1957) 380.
- (9) J. TIOMNO, *Nuovo Cimento*, **6** (1957) 69; N. DALLAPORTA, *Nuovo Cimento*, **X**, no. 7, (1958) 200; **X**, no. 13 (1959) 159; P. BUDINI, N. DALLAPORTA e L. FONDA, *Nuovo Cimento*, **X**, no. 9 (1958) 316; N. DALLAPORTA e T. TOYODA, *Nuovo Cimento*, **X**, no. 12 (1959) 539; N. DALLAPORTA e V. DE SANCTIS, *Nuovo Cimento*, **X** (1962) 205, 513; N. DALLAPORTA e L. PANDIT, *Nuovo Cimento*, **X**, no. 16 (1960) 135.
- (10) M. GELL-MANN, *Phys. Rev.*, **125** (1962), 1067.
- (11) N. DALLAPORTA, *Giornale di Astronomia* (1982) 315.
- (12) N. DALLAPORTA, *Giornate di studio sull'Elio* (1970) 123; N. DALLAPORTA e L. NOBILI, *Mem. SAIT*, **XXXVII**, no. 3 (1966).
- (13) N. DALLAPORTA e F. LUCCHIN, *Astron. Astrophys.*, **19** (1962) 129; S. A. BONOMETTO e F. LUCCHIN, *Astron. Astrophys.*, **43** (1975) 189.
- (14) L. SECCO, preprint.
- (15) R. BARBON, N. DALLAPORTA, M. PERIBOTTO e M. G. SUSSI, *Mem. SAIT*, **XXXVI**, no. 1-2 (1965).
- (16) N. DALLAPORTA e L. SECCO, *G. Fis.*, **34** (1994) 163.

*Ultimi volumi usciti nella collana
Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi"*

CORSO CXLVII HIGH PRESSURE PHENOMENA

edited by R. J. Hemley, G. L. Chiarotti, M. Bernasconi and L. Ulivi
pp 712, Euro 182,00
SOCI SIF Euro 127,40

CORSO CXLVIII EXPERIMENTAL QUANTUM COMPUTATION AND INFORMATION

edited by F. De Martini and C. Monroe
pp 562, Euro 162,00
SOCI SIF Euro 113,00

CORSO CIL ORGANIC NANOSTRUCTURES: SCIENCE AND APPLICATIONS

edited by V.M. Agranovich and G.C. La Rocca
pp 630, Euro 170,00
SOCI SIF Euro 119,00

Inviare ordini a:
Redazione del Nuovo Cimento
Attn: Carmen Vasini
Via Saragozza 12
40123 Bologna
Tel. 051 581569 Fax 051 581340 e-mail: vasini@sif.it

SCIENZA IN PRIMO PIANO

SULL'EQUAZIONE RADIALE DI SCHRÖDINGER DELL'ATOMO D'IDROGENO Nota storico-didattica

A. Loinger (*)

Dipartimento di Fisica, Università di Milano
Via Celoria, 16 - 20133 Milano

Nel procedimento risolutivo dell'equazione radiale suddetta interviene un parametro reale, funzione dell'energia dell'atomo, che è suscettibile di assumere entrambi i segni, positivo e negativo. Nei correnti, più diffusi trattati di meccanica quantistica ci si limita a studiare particolareggiatamente il caso di uno soltanto di tali segni, omettendo del tutto l'esame del caso del segno opposto, oppure sbrigandolo con una considerazione non rigorosa, la quale porta erroneamente a trascurare l'analisi della soluzione corrispondente come non interessante la fisica. Si mostrerà qui, con un argomento appropriato, che in realtà entrambi i casi conducono alla *stessa e medesima* soluzione dell'equazione radiale in istudio.

1. – Com'è noto, vi sono tre metodi per risolvere un'equazione del tipo dell'equazione radiale di Schrödinger dell'atomo d'idrogeno: *a)* il metodo dello sviluppo in serie di potenze, *b)* il metodo delle funzioni ipergeometriche, *c)* il metodo della trasformata di Laplace.

Per quanto ne so, il terzo metodo è stato usato solo da Schrödinger, nella sua prima memoria fondamentale sull'equazione che porta il suo nome⁽¹⁾.

L'equazione radiale che c'interessa presenta questa particolarità: nella sua risoluzione interviene un parametro reale, che indicheremo con a (vedi la eq. (9)), funzione dell'energia $E(<0)$

dell'atomo, il quale può avere entrambi i segni, positivo e negativo. Le trattazioni più note svolgono il calcolo per determinare le soluzioni della detta equazione partendo tutte da un analogo *Ansatz* per la funzione radiale e prendendo tutte il valore positivo di a . Per quanto riguarda il valore negativo di a o non dicono nulla⁽²⁾, o sbrigano questo caso con una considerazione semplice, e però non rigorosa, la quale porta impropriamente a scartare come non fisica la soluzione relativa⁽³⁾. Anche l'elegante e conciso calcolo di Schrödinger⁽¹⁾ non getta una luce chiara su questo punto.

D'altra parte, un'altra sbrigativa considerazione, apparentemente intuitiva, ma anch'essa in realtà non corretta, indurrebbe a ritenere che il caso di a minore di zero dia luogo ad una soluzione descrivente un *continuo* di stati legati.

Diversi anni fa, conversando col collega ed amico Emilio Montaldi (recentemente scomparso), gli segnalai l'opportunità, soprattutto didattica, di chiarire *esplicitamente ed elementarmente* la situazione. Egli prese a cuore il mio suggerimento e, con la sua perfetta padronanza della teoria delle funzioni speciali della fisica matematica, pervenne rapidamente alla meta.

Nei paragrafi che seguono espongo il suo procedimento, col quale si vede che la soluzione per a negativo *coincide* con quella per a positivo. E vedremo alla fine, con un ragionamento conciso, che le cose non potevano andare diversamente.

2. – Giova anzitutto richiamare alcune formule concernenti la funzione ipergeometrica confluyente $F(\alpha; \gamma; z)$ ⁽⁴⁾. Essa è definita da questa serie:

$$(1) \quad F(\alpha; \gamma; z) = 1 + \frac{\alpha}{\gamma} \frac{z}{1!} + \frac{\alpha(\alpha+1)}{\gamma(\gamma+1)} \frac{z^2}{2!} + \\ + \frac{\alpha(\alpha+1)(\alpha+2)}{\gamma(\gamma+1)(\gamma+2)} \frac{z^3}{3!} + \dots,$$

* e-mail: angelo.loinger@mi.infn.it

ove α e γ sono due parametri; la (1) converge assolutamente nell'intero piano complesso della variabile $z = x + iy$. Per $\gamma = -n$, con $n = 0, 1, 2, \dots$, non è definita.

Il comportamento asintotico di $F(\alpha; \gamma; z)$ per $|z| \rightarrow \infty$ è dato da

$$(2) \quad F(\alpha; \gamma; z) \rightarrow \exp[-i\pi\alpha] \frac{\Gamma(\gamma)}{\Gamma(\gamma - \alpha)} z^{-\alpha} + \frac{\Gamma(\gamma)}{\Gamma(\alpha)} \exp[z] z^{\alpha-\gamma},$$

ove Γ è la ben nota funzione gamma di Eulero, estensione del concetto di fattoriale di un intero positivo o nullo. La (2) non è valida per $\alpha = -n$ con $n = 0, 1, 2, \dots$; in tale caso $F(-n; \gamma; z)$ diventa un polinomio di grado n .

Un interesse particolare avrà per noi la *trasformazione di Kummer*

$$(3) \quad F(\alpha; \gamma; z) = \exp[z] F(\gamma - \alpha; \gamma; -z).$$

Ricordiamo ancora che la $F(\alpha; \gamma; z)$ è soluzione della seguente equazione differenziale:

$$(4) \quad z \frac{d^2 g(z)}{dz^2} + (\gamma - z) \frac{dg(z)}{dz} - \alpha g(z) = 0.$$

3. – Com'è ben noto, se si esprime in coordinate polari sferiche r, ϑ, φ l'equazione di Schrödinger dell'atomo d'idrogeno

$$(5) \quad \frac{\hbar}{2\mu} \nabla^2 u + \frac{e^2}{r} u = -Eu \quad (E < 0),$$

ove μ è la massa ridotta dell'elettrone, e si sviluppa la $u(r, \vartheta, \varphi)$ in armoniche di superficie $Y_l(\vartheta, \varphi)$, ($l = 0, 1, 2, \dots$), si ha una serie di termini del tipo $v_l(r) Y_l(\vartheta, \varphi)$. Posto

$$(6) \quad v_l(r) = r^{-1} \chi_l(r),$$

si ottiene per la $\chi_l(r)$ la seguente equazione:

$$(7) \quad \frac{d^2 \chi_l}{dr^2} + \left[\frac{2\mu e^2}{\hbar^2} \frac{1}{r} - \frac{l(l+1)}{r^2} \right] \chi_l = -\frac{2\mu E}{\hbar^2} \chi_l;$$

la (7) ha una singolarità fuchsiana (regolare) in $r = 0$ ed una non-fuchsiana (irregolare) in $r = \infty$. Nell'intorno di $r = 0$ l'equazione radiale (7) può essere risolta mediante una serie di potenze con un metodo elementare, il quale porta ad una proporzionalità a r^{l+1} oppure a r^{-l} . Per ragioni fisiche, la seconda serie non è interessante, come si vede facilmente.

A questo punto, la teoria delle equazioni ipergeometriche ci suggerisce il seguente *Ansatz* ⁽⁵⁾:

$$(8) \quad \chi_l(r) = r^{l+1} \exp[-r/a] f(r),$$

ove $f(r)$ è una serie di potenze del tipo $c_0 + c_1 r + c_2 r^2 + \dots$, ed è

$$(9) \quad a := \pm [\hbar^2 / (2\mu E)]^{1/2}.$$

Sostituendo la (8) nella (7) si perviene all'equazione

$$(10) \quad r \frac{d^2 f}{dr^2} + 2 \left(l+1 - \frac{r}{a} \right) \frac{df}{dr} + \left[\frac{1}{\delta} - \frac{2(l+1)}{a} \right] f = 0,$$

avendo posto

$$(11) \quad \delta := \hbar^2 / (2\mu e^2).$$

Poniamo ancora

$$(12) \quad \rho := 2r/|a|$$

e osserviamo che si presentano manifestamente due casi:

$$\text{I) } a > 0; a = |a|,$$

$$\text{II) } a < 0; a = -|a|.$$

CASO I

$$(13) \quad \rho \frac{d^2 f_I}{d\rho^2} + (2l+2-\rho) \frac{df_I}{d\rho} + \left(\frac{|a|}{2\delta} - l-1 \right) f_I = 0,$$

dalla quale si riconosce, vedi la (4), che è

$$(14) \quad f_I = F \left(-\frac{|a|}{2\delta} + l+1; 2l+2; \rho \right),$$

essendo F una funzione ipergeometrica confluyente.

Dunque

$$(15) \quad \chi_l(r) = r^{l+1} \exp[-r/|a|] \cdot$$

$$\cdot F \left(-\frac{|a|}{2\delta} + l+1; 2l+2; \frac{2r}{|a|} \right) \rightarrow \rightarrow (\dots) \cdot \exp[r/|a|], \text{ per } r \rightarrow \infty,$$

(vedi la (2)).

CASO II

$$(16) \quad \rho \frac{d^2 f_{II}}{d\rho^2} + (2l+2+\rho) \frac{df_{II}}{d\rho} + \left(\frac{|a|}{2\delta} + l+1 \right) f_{II} = 0,$$

e pertanto (vedi la (4))

$$(17) \quad f_{II} = F \left(\frac{|a|}{2\delta} + l+1; 2l+2; -\rho \right) = \exp[-\rho] F \left(-\frac{|a|}{2\delta} + l+1; 2l+2; \rho \right),$$

avendo sfruttato la trasformazione di Kummer (3).

Dunque, in definitiva

$$(18) \quad \chi_l(r) = r^{l+1} \exp[-r/|a|] \cdot F\left(-\frac{|a|}{2\delta} + l + 1; 2l + 2; \frac{2r}{|a|}\right) \rightarrow \dots \cdot \exp[r/|a|], \text{ per } r \rightarrow \infty.$$

Si vede così (“merito” della trasformata di Kummer!) che i due casi I e II danno un *identico* risultato, equazioni (15) e (18).

Vi è dipendenza solo dal segno di E (qui $E < 0$), ma *non* da quello di a . D’or in avanti si procede ovviamente come al solito: la fisica richiede che la $F(-|a|/(2\delta) + l + 1; 2l + 2; \rho)$ si riduca ad un polinomio associato di Laguerre; *ecc.*

Osservazione. – Se s’ignorasse la trasformazione (3) e se nella formula asintotica (2) si omettesse il primo termine a mano destra, il caso II fornirebbe il comportamento seguente:

$$(19) \quad \chi_l(r) = r^{l+1} \exp[r/|a|] \cdot F\left(\frac{|a|}{2\delta} + l + 1; 2l + 2; -\frac{2r}{|a|}\right) \rightarrow r^{l+1} \exp[r/|a|] \frac{\Gamma(2l + 2)}{\Gamma\left(\frac{|a|}{2\delta} + l + 1\right)} \exp[-2r/|a|] \cdot \left(\frac{-2r}{|a|}\right)^{(|a|/2\delta) - l - 1} = (\dots) \cdot \exp[-r/|a|], \text{ per } r \rightarrow \infty,$$

e si potrebbe chiaramente credere all’esistenza di un *continuo* di livelli energetici per $E < 0$.

4. – A questo punto si può rilevare che la coincidenza dei risultati del caso I e del caso II era prevedibile, ancor prima di svolgere i calcoli; bastava infatti rammentare che la *soluzione generale* della (7) si può scrivere, p.es., come segue:

$$(20) \quad \chi_l(r) = r^{l+1} \exp[-r/|a|] \cdot \left[A_1 F\left(-\frac{|a|}{2\delta} + l + 1; 2l + 2; \frac{2r}{|a|}\right) + A_2 \Phi\left(-\frac{|a|}{2\delta} + l + 1; 2l + 2; \frac{2r}{|a|}\right) \right],$$

ove A_1 e A_2 sono due costanti e la Φ è una determinata funzione, che presenta una singolarità logaritmica, e che qui non importa esplicitare, bastando ricordare che per $r \rightarrow 0$ si ha

$$(21) \quad \chi_l(r) \rightarrow \exp[-r/|a|] [A_1 r^{l+1} + A_2 \cdot (\dots) \cdot r^{-l}].$$

5. – Osserviamo infine che anche per l’equazione relativistica di Dirac dell’atomo d’idrogeno vale un analogo risultato, come non sarebbe difficile dimostrare.

APPENDICE

Come ho detto nella sezione 1, i trattati elencati nella nota ⁽³⁾ considerano soltanto il caso I ed omettono come fisicamente non interessante l’analisi del caso II. Desidero qui illustrare l’origine di questo errore.

Con le posizioni (9) e (11), la (7) si riscrive

$$(A.1) \quad \frac{d^2 \chi_l}{dr^2} + \left[\frac{1}{\delta r} - \frac{l(l+1)}{r^2} \right] \chi_l = \frac{1}{a^2} \chi_l;$$

trascurando il secondo ed il terzo termine a mano sinistra si ottiene la cosiddetta “equazione asintotica per $r \rightarrow \infty$ ” relativa alla (A.1):

$$(A.2) \quad \frac{d^2 \xi}{dr^2} = \frac{1}{a^2} \xi(r),$$

i cui integrali fondamentali sono

$$(A.3) \quad \xi(r) = \exp\left[\pm \frac{r}{|a|}\right].$$

È ovvio che la fisica non gradisce $\exp[+r/|a|]$; da ciò gli autori di nota ⁽³⁾ inferiscono che per la $\chi_l(r)$ di (A.1) solo l’*Ansatz*

$$(A.4) \quad \chi_l(r) = r^{l+1} \exp\left[-\frac{r}{|a|}\right] f_l(r)$$

presenta un interesse fisico. Ma, come abbiamo visto precedentemente, è questa una conclusione impropria. Giova osservare che se l’andamento asintotico della $\chi_l(r)$ di (A.4) per $r \rightarrow \infty$ coincidesse con quello di $\exp[-r/|a|]$ non si avrebbero livelli discreti!

L’origine dell’errore è alquanto banale: non si può infatti asserire *a priori* che gli andamenti asintotici delle soluzioni della (A.1) coincidano con quelli delle soluzioni della (A.2). Il primo autore che trasse la surriportata conclusione era evidentemente un po’ distratto, “... *quandogue bonus dormitat Homerus*” — per dirla con Orazio. Vari autori successivi furono vittime di un fenomeno di mimesi.

Bibliografia

- (1) SCHRÖDINGER E., *Ann. Phys. (Leipzig)*, **79** (1926) 361; ed in *Collected Papers on Wave Mechanics* (Blackie and Son, London) 1928.

- (2) Vedi p.es.: WEYL H., *The Theory of Groups and Quantum Mechanics* (Dover Publications, New York) senza indicazione dell'anno, p.68; DIRAC P.A.M., *The Principles of Quantum Mechanics*, Fourth Edition (Clarendon Press, Oxford) 1958, p. 158.
- (3) Vedi p.es.: SOMMERFELD A., *Partial Differential Equations in Physics* (Academic Press, New York and London) 1949, p. 202; PAULI W., *Meccanica ondulatoria* (Boringhieri, Torino) 1962, p. 100; BECKER R. and SAUTER F., *Electromagnetic Fields and Interactions II* (Blaisdell, New York, etc.) 1964, p.181; LANDAU L.D. e LIFSHITS E.M., *Meccanica quantistica* (Boringhieri, Torino) 1969, p. 134; FLÜGGE S., *Practical Quantum Mechanics I* (Springer-Verlag, Berlin, etc.) 1971, p. 171.
- (4) Per la teoria delle funzioni ipergeometriche vedi, p.es., WHITTAKER E.T. and WATSON G.N., *A Course of Modern Analysis*, Fourth Edition (The University Press, Cambridge) 1927, Ch.XIV e Ch. XVI. Per una brevissima trattazione, *ad usum physicorum*, delle dette funzioni vedi FLÜGGE S., *Practical Quantum Mechanics II* (Springer-Verlag, Berlin, etc.) 1971, p. 271 e ss., p. 274 e ss.
- (5) La funzione $f(r)$ di eq. (8) soddisfa a un'equazione differenziale che ha la stessa struttura formale della eq. (7).

SELEZIONATI PER VOI...

La FISICA con un CLICK!

www.gorilla.it

Più di 500 titoli di Fisica



DISPONIBILITÀ IMMEDIATA!

Possibilità di ordinare titoli di qualsiasi editore.

TUTTE LE MATERIE SCIENTIFICHE

www.gorilla.it

Tel. 02/26149.008

FAX 02/26149.657

E-mail: info@gorilla.it

Thermodynamics Fermi E. - € 10,03 Special Relativity Woodhouse N.N.J. - € 32,30 Quantum Mechanics (two Volumes Bound As One) Messiah - € 33,53 Understanding Viscoelasticity Phan-Thien N. - € 32,30 The Theory Of Heat Radiation Planck M. - € 11,37 Monte Carlo Simulation in Statistical Physics Binder K. - € 32,30 Lectures On Nuclear Theory Landau L.D., Smorodinsky Y. - _ 6,67 The Hundred Greatest Stars Kaler J.B. - € 32,30 Pauli Lectures On Physics, Vol. 2: Optics And The Theory Of Electrons Pauli W. - € 8,90 Particles and Nuclei Povh B.M. - € 37,69	Magnetic Atoms And Molecules Weltner W. - € 10,03 Mission Jupiter Fischer D. - € 37,69 Elementary Theory Of Angular Momentum Rose M.E. - € 11,14 Stability Theory of Dynamical Systems Bhatia N.P. - € 37,69 Molecular Collision Theory Child M.S. - € 11,14 Star Clusters Carney B.W. - € 32,30 Wave Phenomena Towne D.H. - € 16,74 Lectures on Fluid Dynamics Jackiw R. - € 37,69 Introduction To The Theory Of Thermal Neutron Scattering Squires G.L. - € 10,03 Theory Of Heat Maxwell J.C. - € 16,74
--	---

FISICA E...

LE AUREOLE D'ORO DI GIOTTO NELLA CAPPELLA DEGLI SCROVEGNI (*)

R. Cesareo (**)

Istituto di Matematica e Fisica, Università di Sassari, via Vienna 2, 07100 Sassari

1. – Introduzione

Gli affreschi di Giotto nella Cappella degli Scrovegni a Padova sono stati analizzati in circa 300 punti con una apparecchiatura portatile che impiega la tecnica non distruttiva della fluorescenza X. Gli scopi di questa indagine erano molteplici, e cioè:

- determinare la eventuale presenza di zolfo sulla superficie dell'affresco, dovuto all'inquinamento;
- stabilire aree di precedenti restauri, attraverso la presenza di elementi "moderni" quali ad esempio zinco e titanio;
- caratterizzare i pigmenti impiegati da Giotto;
- studiare la composizione dell'oro impiegato nelle aureole.

In altri lavori si sono trattati diffusamente i primi tre punti (¹⁻³). In questo lavoro si tratterà l'ultimo punto, quello relativo alla composizione delle aureole d'oro. Si è potuto, in questo caso, non solo determinare lo spessore della lamina d'oro, ma anche gli strati di pigmenti, più profondi rispetto allo strato d'oro.

2. – Apparecchiatura sperimentale

L'analisi di fluorescenza X ha il vantaggio di essere non distruttiva, semplice, relativamente rapida (una analisi dura 100–200 s) e consente di realizzare strumentazione portatile (³).

Per l'analisi della Cappella degli Scrovegni sono state sviluppate ed assemblate varie apparecchiature portatili basate sull'impiego della tecnica della fluorescenza X. In particolare per l'analisi delle aureole d'oro è stata impiegata una apparecchiatura composta delle seguenti parti:

- un tubo a raggi X della Oxford con anodo di tungsteno, che lavora a circa 35 kV e 0.5 mA;
- un rivelatore Si-PIN della AMPTEK con circa 200 eV di risoluzione energetica;
- un analizzatore multicanale.

Nella fig. 1 è mostrata l'apparecchiatura impiegata.

3. – Risultati e discussione

Un tipico spettro di una aureola d'oro è mostrato nella fig. 2. Esso si mostra piuttosto complesso, ma ad una attenta analisi si distinguono i seguenti elementi:

- zolfo, con le righe *K* a circa 2.35 keV, dovuto all'inquinamento;
- piombo, con le righe *M* a circa 2.4 keV;
- argon, con le righe *K* a circa 3 keV, dovuto all'aria;
- calcio, con le righe *K* a circa 3.75 keV, dovuto principalmente all'inquinamento;
- ferro, con le righe *K* a 6.4 e 7.1 keV;
- nickel, con la riga *K_α* a 7.47 keV, dovuto al tubo X;
- rame, con le righe *K* a 8.03 e 8.94 keV;
- tungsteno, con le righe *L* a 8.35, 9.8 e 11.3 keV, dovuto al tubo X;
- oro, con le righe *L* a 9.66, 11.5 e 13.8 keV;
- piombo, con le righe *L* a 10.5, 12.6 e 14.8 keV;
- stronzio, con le righe *K* a 14.1 e 15.9 keV, dovuto all'intonaco;
- argento, con le righe *K* a 22.1 e 25.2 keV, almeno parzialmente dovuto al rivelatore.

* Il presente contributo è parte della relazione su invito tenuta al congresso SIF di Alghero 2002.

** e-mail: cesareo@ssmain.uniss.it

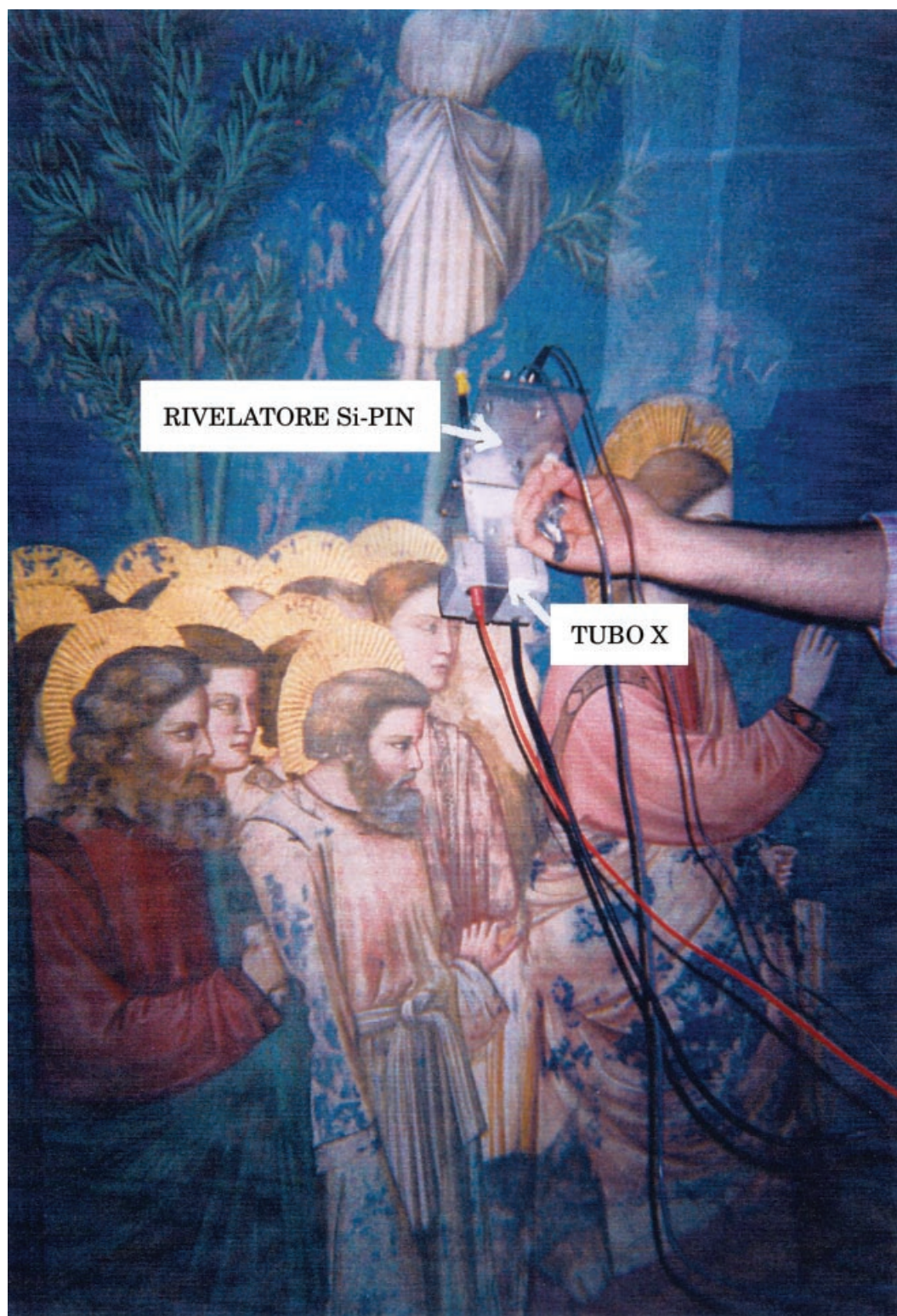


Fig. 1. – “Ingresso di Gesù a Gerusalemme” ed apparecchiatura di misura; si distingue la testa di misura costituita dal tubo a raggi X e dal rivelatore Si-PIN.

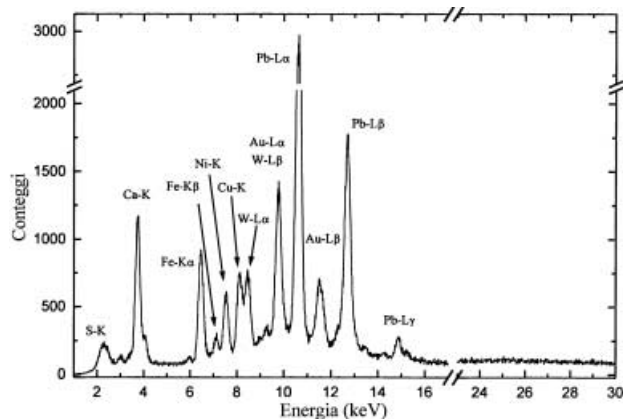


Fig. 2. - Tipico spettro X di una aureola d'oro.

In alcune aureole in cui lo strato d'oro si è staccato si può individuare la presenza degli stessi elementi, con l'eccezione dell'oro (fig. 3). Si può inoltre dedurre che lo spessore dell'oro deve essere molto sottile, dato che si "vedono" perfino elementi presenti nell'intonaco. Al di sotto dello strato d'oro vi è uno strato a base di piombo (minio o bianco di piombo). Si può inoltre dedurre, dall'analisi degli spettri X delle molte aureole d'oro analizzate e da un frammento d'oro prelevato, che l'oro è probabilmente quasi puro (si possono stabilire i seguenti limiti superiori: $\text{Cu} < 1\%$; $\text{Ag} < 3\%$). Al di sotto dello strato di pigmento contenente piombo vi è talvolta azzurrite, ed in questo caso il picco del rame è molto più alto, ed ancora al di sotto l'intonaco, che mostra la sua presenza con lo stronzio, e forse con il ferro (in parte).

Lo spessore dello strato d'oro può essere determinato dall'alterato rapporto delle righe L_α ed L_β del piombo, che vengono assorbite dall'oro in modo diverso. La seconda riga

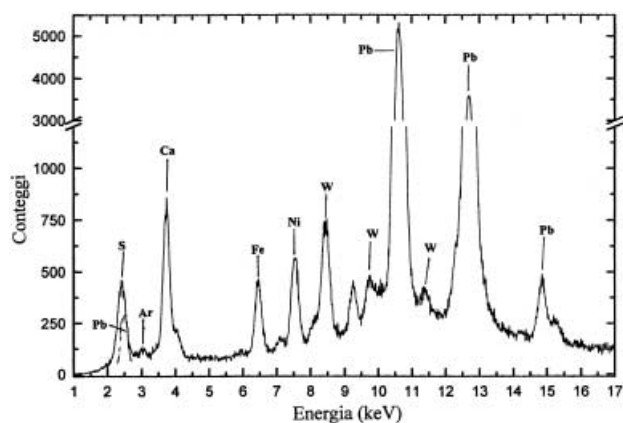


Fig. 3. - Tipico spettro X di una aureola in cui si è staccata la foglia d'oro.

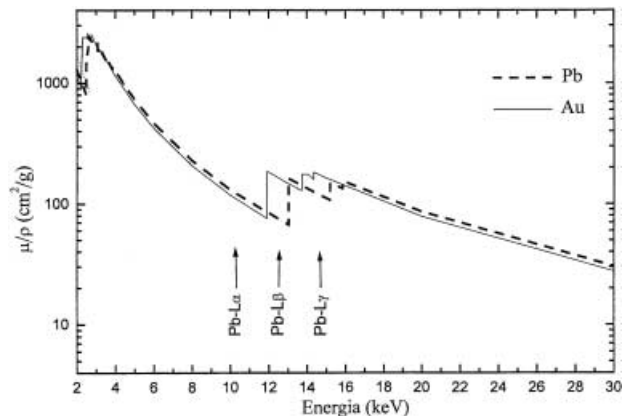


Fig. 4. - Coefficienti di attenuazione dell'oro e del piombo in corrispondenza alle righe L del piombo.

($L_\beta = 12.6 \text{ keV}$) viene assorbita assai più della prima ($L_\alpha = 10.5 \text{ keV}$), dato che i rispettivi coefficienti di attenuazione di massa sono $\mu_1 = 100 \text{ cm}^2/\text{g}$ e $\mu_2 = 160 \text{ cm}^2/\text{g}$ (fig. 4) (4). Il rapporto L_α/L_β è dato da

$$L_\alpha/L_\beta = (L_\alpha/L_\beta)_0 \exp[-\Delta\mu x],$$

dove:

- $(L_\alpha/L_\beta)_0$ rappresenta il rapporto L_α/L_β in assenza di oro;
- $\Delta\mu = \mu_2 - \mu_1$;
- x è lo spessore dell'oro.

In base ai dati sperimentali sui rapporti L_α/L_β si ottiene infine, per lo spessore d'oro delle aureole analizzate:

$$x_{\text{Au}} = 1.6 \pm 0.5 \mu\text{m}.$$

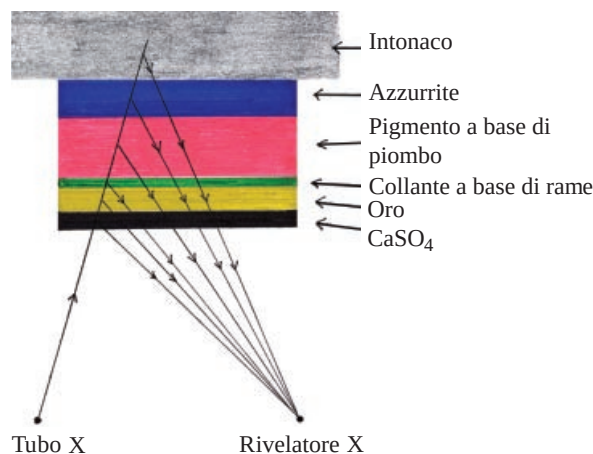


Fig. 5. - Aureole d'oro: sequenza degli strati (dalla superficie all'intonaco) e percorso dei raggi X dai vari strati.

All'epoca sottili lamine d'oro erano ottenute da artigiani all'uopo adibiti, chiamati battiloro, partendo da monete con elevato contenuto d'oro⁽⁵⁾. Facendo i calcoli secondo quanto scrive C. Cennini, lo spessore delle foglie d'oro ottenute dai battiloro dovrebbe essere di circa 2,3 μm . Forse le monete di partenza erano i ducati veneziani, monete che Venezia ha iniziato a coniare dal 1284 e che contenevano il 99.7% di oro.

Non è semplice l'attribuzione del rame allo strato giusto. Questo elemento è sempre presente negli spettri X delle aureole d'oro. In alcuni casi vi è uno strato di azzurrite sotto il bianco di piombo, e questo giustifica in quei casi la presenza di un elevato picco X del rame. Esclusi questi casi vi è tuttavia comunque del rame, e questo è stato attribuito ad uno strato di collante che veniva usato per incollare la sottilissima foglia d'oro al pigmento sottostante.

Anche l'attribuzione del ferro non è chiara. Forse pigmenti a base di ferro (ocre) venivano mescolati con il pigmento a base di piombo.

L'andamento dei vari strati della maggior parte delle aureole di Giotto, dall'esterno all'interno, potrebbe essere quindi il seguente (fig. 5):

- uno strato di solfato di calcio sulla superficie, dovuto all'inquinamento;
- uno strato di oro piuttosto puro avente uno spessore $x_{\text{Au}} = 1.6 \pm 0.5 \mu\text{m}$;
- uno strato di colla a base di rame;
- uno strato di pigmento a base di piombo;
- uno strato di azzurrite (quando presente);
- l'intonaco.

Ringraziamenti

L'autore ringrazia il prof. Maurizio Marabelli, dell'Istituto Centrale del Restauro, per le discussioni e gli utili suggerimenti. Ringrazia inoltre il prof. Alfredo Castellano ed i dottori Giovanni Buccolieri e Stefano Quarta dell'Università di Lecce, e la dott.ssa Paola Santopadre dell'Istituto Centrale del Restauro, che hanno eseguito le misure.

Si ringrazia inoltre il CNR, Piano Finalizzato Beni Culturali, per il parziale contributo finanziario.

Bibliografia

- (1) R. CESAREO, A. CASTELLANO, G. BUCCOLIERI, S. QUARTA, M. MARABELLI e P. SANTOPADRE: *Portable equipments for energy dispersive X-ray fluorescence analysis of paintings*; 7th International Conference "Non-destructive testing and microanalysis for the diagnosis and conservation of the cultural and environmental heritage; Antwerp 2-6 June 2002, in corso di stampa.
- (2) R. CESAREO, A. CASTELLANO, G. BUCCOLIERI e S. QUARTA: *La tecnica della fluorescenza a raggi X in dispersione di energia (EDXRF) per la salvaguardia dei beni culturali*, in: *Elementi di archeometria*, a cura di A. CASTELLANO, M. MARTINI e E. SIBILIA (Ed. Egea, Milano) 2002, pp.147-162.
- (3) R. CESAREO, G. E. GIGANTE, A. CASTELLANO e J. S. IWANCZYK: *Portable systems for energy-dispersive X-ray Fluorescence*, in *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, a cura di R. A. MEYERS (J. Wiley & Sons Ltd, Chichester) 2000, pp. 13327-13338.
- (4) M. J. BERGER, J. H. HUBBELL: *Photon cross sections on a personal computer*, U.S. Dept. of Commerce, NBSIR 87-3597 (1987).
- (5) C. CENNINI, *Il libro dell'arte*, 1390 ca., a cura di F. BRUNELLO (Neri Pozza Editore, Vicenza) 2001, pp. 141, 142.

RECENSIONI

P. T. Landsberg

Seeking Ultimates. An Intuitive Guide to Physics.

IOP Publishing, Bristol and Philadelphia, 2000; pp. XI + 314; £ 19.99

Nella sua lunga e brillante carriera Peter Landsberg, ben conosciuto e apprezzato per le sue ricerche nel campo dei semiconduttori e oggi professore emerito di fisica all'Università di Southampton, ha perseguito con successo quanto ognuno di noi fisici vorrebbe (poter) fare negli anni della maturità: occuparsi delle questioni fondamentali della fisica attuale e gettare uno sguardo nel futuro prossimo. Landsberg, dopo aver scritto o curato alcuni validissimi testi di termodinamica statistica e di fisica dello stato solido, ha affrontato questioni di cosmologia matematica (con D.A. Evans, 1977) e quindi l'enigma del tempo, curando un libro di uguale titolo che ha incontrato un lusinghiero successo e diverse ristampe.

Ora la vasta esperienza personale di Landsberg quale ricercatore, docente e soprattutto acuto osservatore delle vicende passate e presenti della fisica trova espressione compiuta in questo affascinante volumetto. Il titolo annuncia in modo eloquente il segreto desiderio di ogni fisico, e il sottotitolo potrebbe essere parafrasato in "Physics, an intuitive guide to Nature". Lo stile del libro traspare dai titoli dei capitoli. Il capitolo sulla temperatura e l'energia ci è presentato come scienza per l'ambiente, con l'ammonimento che "non si mangia gratis". L'eroe prescelto per questo capitolo è il Conte Rumford. Senz'altro vi incuriosirà la scienza come predizione, ossia il capitolo sugli elementi chimici e le particelle. Esso tratta dell'arte di dipingere coi numeri e il suo eroe è Dmitri Mendeleev. La freccia (o l'enigma) del tempo e l'entropia servono a spiegare perché non si ricompone un uovo strappato. L'eroe in questo caso non poteva che essere Boltzmann. L'universalità dei concetti esposti in questo capitolo offre un paradigma unificante per molti svariati campi della conoscenza. La scienza

come sintesi trova un'esemplare attuazione nel discorso su caos e vita (capitolo V, eroe: Charles Darwin). Il discorso sulle dinamiche non lineari porta inevitabilmente alla farfalla che con un batter d'ali scatena un tornado.

La fisica dei quanti, sponsorizzata ovviamente da Max Planck, illustra come la critica dei fondamenti porti all'invenzione di nuovi concetti. Ancor più vero per la relatività generale e la cosmologia, che sotto il segno di Einstein hanno aperto "l'autostrada galattica". Si giunge così al capitolo intitolato "Weirdness or purity", sulla matematica, la logica, le implicazioni cosmologiche, il principio antropico e altre cose che avrebbero deliziato il dedicatario Sir Arthur Eddington. Ma "weirdness" sta a significare un carattere soprannaturale, misterioso, o più familiarmente una stranezza? Il lettore potrà decidere, ma intanto si troverà rapidamente al termine di questa stimolante lettura, trasportato dall'eroe Blaise Pascal nel bel mezzo dell'ultima questione: ma Dio esiste? L'autore offre un'ampia discussione dei vari tentativi, passati e presenti, che non pochi fisici illustri hanno fatto di tirare in ballo il Padreterno. Ignari forse della sferzante battuta di Galileo che bollava la convinzione di certi filosofi che Dio avesse fatto il mondo a misura della loro modesta capacità di capire anziché della sua infinita potenza.

Il libro fornisce un esempio (purtroppo non frequente) di alta e corretta divulgazione. Il linguaggio semplice, molto discorsivo, ricco di aneddoti e totalmente privo di formule si coniuga nondimeno con il rigore e la preoccupazione di non tralasciare nulla delle più importanti questioni della fisica attuale. Anche le escursioni nel futuro prossimo della fisica sono sempre ben fondate e perciò molto invitanti. Si perdonano alcune ingenuità come l'ipotesi (impossibile) che possa esistere una vita fondata sul silicio anziché sul carbonio. Prendiamo le ingenuità come ingegnosità, "ingenuity" nel senso inglese: infatti il libro trasmette sicuramente entusiasmo per la ricerca e stimola il giovane lettore alla curiosità, all'estrapolazione, alla fantasia — bagagli indispensabili per intraprendere una carriera scientifica di soddisfazione e successo, come quella di Peter Landsberg.

G. Benedek

La Fisica di Feynman

Vol. 1: Meccanica, radiazione, calore. Vol. 2: Elettromagnetismo e materia. Vol. 3: Meccanica Quantistica.

Zanichelli Editore, Bologna, 2001, 3 volumi

Chiedermi di recensire la ristampa anastatica della edizione bilingue per la *Inter European Editions* delle "The Feynman Lectures on Physics", quelle "lunghe" dalla copertina rossa per intenderci, è come chiedere un commento sui Promessi Sposi: che cosa si può dire di nuovo e originale riguardo ad un "classico"? Per questo, permettetemi di divagare un poco, rimandando il giovane lettore che non le conoscesse alla bella recensione che Enrico Bellone ha fatto su numero del Febbraio 2002 di "Le Scienze". Bene, stante che i tre volumi costituiscono una efficacissima, intrigante e suggestiva introduzione alla fisica classica e moderna del primo triennio universitario, la domanda centrale è: a chi possono essere — oggi — destinate? Ai docenti in vena di piacevoli letture serali, come ho sentito ripetere molte volte quando ero studente e giovane ricercatore? Beh, per dirla da viticoltore sarebbe come mettere letame su una pianta adulta: fa fare tanta bella foglia, ma non è più formativo per il tronco. Agli studenti dotati e intraprendenti? Certo! Non per niente Feynman stesso cita nella premessa: "Il potere dell'insegnamento è raramente di molta efficacia, tranne che in quelle felici situazioni dove è quasi superfluo". Ma ce ne sono ancora tanti di questi studenti? E, se ce ne sono, si iscrivono ancora ai corsi di laurea in fisica? Infine, se anche lo facessero, potremmo adottare un testo simile nella gabbia di contenuti ed ore, che la recente riforma universitaria ha imposto? Andiamo con ordine e tentiamo una risposta.

Per ovvie ragioni di continuità biologica, direi che di studenti dotati, potenzialmente capaci di leggersi con profitto libri come quelli di Feynman, ce ne sono sicuramente né più né meno di pri-

ma; solo che ora sono forse ibernati da un sistema scolastico e da una società mediatica, che privilegiano gli aspetti informativi a scapito di quelli formativi. Lo slogan "Internet-Inglese-Impresa" non è, ahimè, frutto temporaneo di una certa compagine politica, ma stadio terminale di processi sociali ed economici, che hanno agito per alcuni decenni. Essi hanno perseguito un facile e modesto aumento del livello di istruzione globale a scapito di un difficile allargamento di quella élite culturale, che sempre è stata motore di sviluppo sociale.

Gli studenti potenzialmente dotati per le materie scientifiche si dirigono ora più facilmente verso la biologia, l'ingegneria e l'economia, meno verso una fisica che sembra aver esaurito il proprio potere suggestivo. Se lo facciano per mere ragioni professionali, oppure nella (fondata) convinzione che nella soluzione di problemi complessi consiste la sfida scientifica di oggi, è difficile giudicarlo. Sta di fatto, che dentro le problematiche della moderna biotecnologia, dentro i possibili sviluppi della elettronica molecolare e perfino dentro le promesse finanziarie delle nanotecnologie (si veda, ad esempio, *"The Investor's Guide to Nanotechnologies and Nanomachines"*, Addison Wesley, 2002) sta a pieno diritto una formazione di fisica alla Feynman, in cui lo stile informale e aperto è in questi casi ancora più utile. Il paradosso è, che una certa fisica potrebbe avere i più interessanti sviluppi proprio al di fuori della propria disciplina e per questo dobbiamo attrezzare culturalmente anche chi fisico non vuole essere.

Che questo si possa fare all'interno dei nuovi schemi di Laurea mi pare difficile, stante la riduzione di ore di lezione e dei contenuti. Ma qui sta il punto. Come possiamo motivare, selezionare, addestrare gli studenti migliori, se la esplicita richiesta è quella di abbassare il livello di difficoltà, di incrementare il tasso di successo per tutti? Sono convinto che questo dovrà essere fatto anche durante il primo triennio, non solo attraverso lauree specialistiche e (tardivi) percorsi postlaurea, grazie ad una opera di tutorato in cui le buone letture vengano consigliate e commentate fuori delle canoniche ore del corso. In questa ottica, le lezioni di Feynman, e molti altri classici della scienza, della sociologia, della filosofia, della eco-

nomia, trovano un rinnovato e importante compito. Quello di formare la classe dirigente dentro l'università, ma fuori dell'orario di lezione, fuori dal conteggio ragionieristico dei crediti, fuori dalla illusoria speranza che, permettendo a tutti di conseguire una Laurea, la qualità dei singoli e della società nel suo complesso possa veramente migliorare.

L. Miglio

L. Colombo

Elementi di struttura della materia

Hoepli Editore, Milano, 2002; pp. 117, € 16,00

L'utilità di questo libro va vista soprattutto in relazione alla riforma dei cicli universitari e all'introduzione della laurea triennale oltre a quella specialistica (in sintesi facciamo riferimento al doppio sistema di laurea ormai noto come 3+2).

È chiaro che ciò implica una ridefinizione dei programmi e dei contenuti di insegnamenti "strategici" che, per il loro carattere avanzato e specialistico, erano collocati nella parte finale del piano di studi tradizionale.

L'esigenza di fornire, anche nell'ambito delle lauree triennali, elementi-chiave di insegnamenti quali Struttura della Materia è all'origine della ideazione del libro di Luciano Colombo, che si rivolge prevalentemente a studenti del primo e secondo anno di lauree triennali di Ingegneria, Chimica e Scienza dei Materiali, oltre che di Fisica.

Va sottolineato che l'aggregazione di atomi e molecole per la costruzione di sistemi sempre più complessi costituisce il fondamento della *"condensed matter"* che spazia dal singolo atomo ai nanosistemi e progressivamente verso i microsistemi fino al mondo macroscopico. Sia dal punto di vista culturale che da quello "professionalizzante" sono proprio i sistemi che si collocano — come dimensione caratterizzante — tra il nanometro ed il micrometro a rappresentare una delle maggiori novità degli ultimi decenni.

Essi sono diventati patrimonio essenziale ed ineludibile anche per le lauree triennali. Basti pensare alle applicazioni basate su dispositivi a semiconduttore che vanno dalla microelettronica (incluso gli sforzi crescenti per una più spinta miniaturizzazione verso la nanoelettronica) ai laser costruiti con pozzi o punti quantici e alla trasmissione di segnali in fibra ottica.

Si tratta di linee di sviluppo scientifico-tecnologico che caratterizzano in modo sempre più evidente l'attività e la produzione industriale più avanzata, ed è ovvio che gli studenti dei corsi di laurea triennale non possono esserne esclusi a priori.

Il *background* minimo per poter accedere con successo al contenuto del libro riguarda semplicemente nozioni di base di meccanica classica e di elettromagnetismo nel vuoto, che si possono acquisire dai programmi di Fisica Generale I e II.

Date le finalità del libro, è senz'altro apprezzabile l'impostazione metodologica orientata a privilegiare esigenze di "conoscenza operativa" più che requisiti di completezza logico-formale: va subito sottolineato che il risultato è veramente soddisfacente, in quanto si raggiunge una notevole agilità senza sacrificare il necessario rigore.

I quattro capitoli (La crisi della fisica classica, I fondamenti della fisica quantistica, Elementi di meccanica quantistica, Struttura elettronica dei solidi) adempiono un duplice funzione: fornire gli strumenti di base da utilizzare (soprattutto i primi due), e condurre il lettore alle soglie del loro utilizzo per entrare in terreni più specialistici, quali la fisica dei nanosistemi, la micro e nanoelettronica. Mi sembra di poter dire che la chiarezza espositiva si accompagna sempre ad una capacità di sintesi di notevole livello.

Questo è stato reso possibile non solo dall'esperienza didattica specifica maturata dall'autore presso l'Università di Cagliari negli ultimi anni, ma anche dal suo lavoro di fisico teorico computazionale di rilievo in campo internazionale.

È proprio questo profilo professionale che lo aiuta a costruire con perizia e semplicità il cammino di accesso alla fisica della materia condensata nei suoi aspetti più avanzati.

A. Stella

ANNUNCI

MASTER IN GEOFISICA GENERALE E APPLICATA ANNO ACCADEMICO 2002 - 2003

Istituto di Geofisica & Ambiente Marino - Consorzio Universitario della Spezia

con la partecipazione ufficiale di Docenti da:

CONSORZIO UNIVERSITARIO DELLA SPEZIA - ENEL Hydro ISMES - ENI Divisione AGIP - ISTITUTO ELETTRONICO NAZIONALE "Galileo Ferraris"
ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA MILITARE - ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "Federico II"
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

DIREZIONE

OSVALDO FAGGIONI

Istituto di Geofisica & Ambiente Marino, Consorzio Universitario della Spezia
Università degli Studi di Pisa

SEGRETERIA SCIENTIFICA

ANTONIO MELONI

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma

COMMISSIONE SCIENTIFICA

OSVALDO FAGGIONI

(Presidente)

Istituto di Geofisica & Ambiente Marino
Consorzio Universitario della Spezia

NICOLO' BEVERINI

Dipartimento di Fisica
Università degli Studi di Pisa

ANTONIO MELONI

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Roma

STEFANO MONTI

Istituto Idrografico della Marina Militare
Genova

Lo studio della Geofisica ha grande rilievo scientifico ed economico con vaste implicazioni sulle attività umane e la loro compatibilità ambientale, nonché introduce strumenti e metodi di rilevazione di primaria importanza per definire la natura delle strutture geologiche, per localizzare le risorse naturali, per il controllo ambientale. La presente Scuola si rivolge in primo luogo ai laureati in Geologia, in Fisica, in Informatica, in Matematica, in Scienze Naturali o Ambientali, in Ingegneria e agli Officiali M.M., con lo scopo di integrare in modo interdisciplinare le loro conoscenze con particolare riferimento alla geofisica generale e applicata, alle metodologie di misura e alla interpretazione pratica dei rilevamenti geofisici.

ARGOMENTI E CALENDARIO DEI MODULI DI LEZIONE

DATA	DOCENTI DA:	ARGOMENTI:
17-21 marzo	ENI Divisione Agip - ENEL Hydro - Università degli Studi di Palermo	Prospezioni geofisiche minerarie, Gravimetria, Prospezioni sismiche
7-11 aprile	Istituto Idrografico della Marina Militare - Università degli Studi di Pisa Istituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris"	Idrografia, Elementi di navigazione, Elementi di Meteorologia, Misure e strumenti geofisici, Sistemi satellitari di localizzazione punto di precisione
26-30 maggio	Università degli Studi di Genova Università degli Studi di Napoli "Federico II" Università degli Studi di Bari	Esplorazione magnetometrica, Principi di tomografia elettrica ed elettromagnetica Geofisica applicata alla ricerca archeologica
16-20 giugno	Università degli Studi di Napoli "Federico II" Università degli Studi di Padova	Rischio sismico, Analisi di segnale per l'interpretazione di dati geofisici, Geodinamica
14-18 luglio	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Università degli Studi di Pisa - Università degli Studi di Parma	Le variazioni temporali nello spazio geomagnetico, Geomagnetismo crostale, Funzionamento e gestione di reti sismiche Vulcanologia, Petrologia e geochimica della crosta continentale e oceanica

COLLOQUI D'ESAME

1ª sessione: novembre 2003
2ª sessione: febbraio 2004

L'esame consisterà nella dissertazione orale (15 min.) su un argomento del corso scelto dal candidato tra 5 proposti entro il 18 luglio 2003 dalla Direzione sentita la Commissione Scientifica

TITOLI DI AMMISSIONE

A) Diploma di Laurea in Scienze Geologiche - B) Diploma di Laurea in Fisica - C) Diploma di Laurea in Matematica - D) Diploma di Laurea in Ingegneria - E) Diploma di Laurea in Scienze Ambientali - F) Diploma di Laurea in Scienze Naturali - G) Diploma di Laurea in Scienze dell'Informazione - H) Altri Diplomi di Laurea con attinenza operativa all'area culturale geofisica - I) Officiali Forze Armate.

SEDE DEL CORSO: Centro di Eccellenza TIRESIA (Assessorato Formazione Professionale Provincia della Spezia) Via Matteotti, 1 - 19032 LERICI (SP) - Tel. 0187/96.91.21 - Fax 0187/96.90.81

TOTALE ORE INSEGNAMENTO: 150 + 25

ORARIO LEZIONI: 8:30 - 11:55; 14:00 - 15:35; 15:35 - 16:20 colloquio con i docenti

TASSA DI ISCRIZIONE

Iscrizione: Euro 215,00 (da effettuare a inizio corso)

Quota di partecipazione: tre rate da Euro 358,00 (marzo-maggio-luglio)

Tassa per esame finale: Euro 237,00 (prima della sessione scelta)

BENEFIT PREVISTI: servizio mensa gratuito - disponibilità aula studio/fotocopiatrice - possibilità di convenzione per alloggio presso la sede del corso (Info Centro Tiresia)

POSTI A DISPOSIZIONE: 25

DIREZIONE ORGANIZZATIVA: Dr. Cosmo Carmisciano

SEGRETERIA DIDATTICA: Dr. Paolo Stefanelli

C/O Istituto di Geofisica & Ambiente Marino

Consorzio Universitario della Spezia

Via Vailunga, 1 (Area AGIP) - 19125 LA SPEZIA

(tel. e fax 0187/51.80.71; e-mail cunispe@castagna.it)

TERMINE ULTIMO DI ISCRIZIONE 12 MARZO 2003 (inviare via fax, posta, e-mail domanda contenente: dati anagrafici, indirizzo, tipo e voto del Diploma di Laurea, titolo della Tesi di Laurea, eventuali Titoli Scientifici).



**ISTITUTO NAZIONALE
PER LO STUDIO
E LA CURA DEI TUMORI**



CORSO SULLA SICUREZZA LASER IN AMBIENTE SANITARIO

Milano, 8-9 Maggio 2003

IMPIEGO CLINICO DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI: ANALISI DEI RISCHI PER I LAVORATORI

Milano, 19-20 Maggio 2003

Per informazioni:

Sig.ra Maria Onorato o Sig. Rosalba Terulla
Ufficio Attività Didattiche
Istituto Nazionale Tumori
Via G. Venezian, 1 - 20133 Milano (MI)
Tel: 02/23902136 - Fax: 02/23903328
E-mail: attdid@istitutotumori.mi.it



Frontier Detectors for Frontier Physics

9th Pisa meeting on advanced detectors

La Biodola, Isola d'Elba, Italy
May 25-31, 2003

For further information:

Pisa Meeting 2003 - INFN Sezione di Pisa
Via Livornese 1291, I-56010 Pisa, Italy
Tel: +39 050 2214327, Fax: +39 050 221431
E-mail: pisameet@pi.infn.it

International
scientific and practical conference:
**SPECTROSCOPY
IN SPECIAL APPLICATIONS**

18-21 June, 2003
Kyiv, UKRAINE



For further information:

Seriy Nedilko
Physics Faculty,
Taras Shevchenko National Kyiv University
2, blok1, acad. Hlushkov ave.,
03680, Kyiv, Ukraine
Phone/Fax: (380) 44 266 4036
E-mail: nedilko@ups.kiev.ua
<http://www.ups.kiev.ua/conf/ICSSA>

Volodymir Kysel'jov
S&R Institute for Forensic Examination,
19, V. Zhitomir'ska Str., 01025, Kyiv, Ukraine
Phone/Fax: (380) 44 212 2319,
E-mail: kniise@lt.kiev.ua

NanoEngineering
WORLD FORUM

**NanoEngineering
World Forum 2003**

June 23-25, 2003
Boston Seaport Hotel
Boston, Massachusetts

For further information:

NanoEngineering World Forum 2003
549 West Randolph Street
Suite 600, Chicago, IL 60661-2208 USA
Phone: +1-312-559-4600 Fax: +1-312-559-4111
E-mail: events@iec.org Online
<http://www.iec.org/events/2003/nanoengineering/register.html>

**CERN Accelerator School
and
Paul Scherrer Institute (PSI)**

will hold a course on

**SYNCHROTRON RADIATION
& FREE-ELECTRON LASERS**

**Seehotel Waldstätterhof
Brunnen, Switzerland
2 - 9 July 2003**

This course on particle accelerators is intended for staff in laboratories, universities and companies manufacturing associated equipment.

Further information and application forms :
CERN Accelerator School
AC Division
CH-1211 Geneva 23
Switzerland

Fax: +41 22 767 5460
Web: <http://schools.web.cern.ch/Schools/CAS>
e-mail: Suzanne.von.Wartburg@cern.ch

Synchrotron radiation: Reflection image of a lysozyme protein crystal before with the Pilatus indirect pixel detector at the Swiss Light Source.



First Preparatory Conference

Graz, Austria, July 6-9 2003

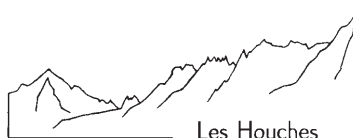
For further information:

Prof. Max E. Lippitsch (Conference Chairman)
 Institut für Experimentalphysik
 Karl-Franzens-Universität
 Universitätsplatz 5
 A-8010 Graz, Austria
 Tel: +43 (316) 380 5192 Fax: +43 (316) 380 9816
<http://www.kfunigraz.ac.at/exp8www/wyp2005/main.htm>



For further information:

G. Ianni - Ism - Cnr - Area della Ricerca di Roma
 P.O.Box 10 - 00016 Monterotondo Scalo (RM,) Italy
 Tel: +39 06 90672285/360 Fax: +39 06 90672470
 E-mail: icm2003@mlib.cnr.it
www.icm2003.mlib.cnr.it



Les Houches

NATO Advanced Study Institute

METHODS AND MODELS IN NEUROPHYSICS

July 28 - August 29, 2003

For further information:

ÉCOLE D'ÉTÉ DE PHYSIQUE THÉORIQUE, Côte des Chavants, F-74310 Les Houches, France
 Tel: +33 4 50 54 40 69 Fax: +33 4 50 55 53 25
 e-mail: secretariat.houches@ujf-grenoble.fr
<http://www-houches.ujf-grenoble.fr>



Physics on Stage 3

Presentazione

La terza edizione del Physics on stage sarà parte della Settimana europea della Scienza e della Tecnologia 2003, un'iniziativa della Commissione Europea.

Esso si configura come la prosecuzione del POS tenutosi nel novembre del 2000 al CERN di Ginevra e di quello tenutosi nell'aprile 2002 a ESTEC, Noordwijk, Olanda.

Come gli anni scorsi esso è promosso dal CERN, dall'ESO e dall'ESA con la collaborazione di altre organizzazioni che fanno parte dell'EIROforum. In Italia il lancio del concorso è promosso da: A.I.F. (Associazione per l'Insegnamento della Fisica), la sezione italiana di E.A.A.E (European Association for Astronomy Education), I.N.F.M. (Istituto Nazionale di Fisica della Materia), I.N.F.N. (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare). Contribuiranno alla diffusione delle iniziative: S.A.It. (Società Astronomica Italiana) e S.I.F. (Società Italiana di Fisica).

Alla realizzazione del progetto è demandato l'International Steering Committee (ISC) formato dai rappresentanti degli organismi promotori.

Il tema di quest'anno è "Physics and Life", scelto per consentire di allargare le attività POS a tutte le scienze naturali con un approccio interdisciplinare.

Il programma si propone i seguenti obiettivi:

- organizzare un festival durante la European Science and Technology Week 2003 (8-15 novembre 2003) che stimoli la diffusione di materiali e metodi educativi efficaci e identifichi i modi con cui sostenere e motivare gli insegnanti affinché migliorino il proprio insegnamento;
- estendere, in numero e attraverso altre discipline, la rete europea di insegnanti entusiasti ed esperti nella didattica e nella divulgazione;
- mettere a disposizione della comunità degli insegnanti di discipline scientifiche le considerevoli competenze delle principali organizzazioni europee che si occupano di ricerca attraverso il European Intergovernmental Research Organisations (EIROs).

I gruppi cui il programma è rivolto sono:

- gli insegnanti: principalmente quelli della scuola secondaria senza escludere quelli della scuola primaria e dell'università;
- i giovani, attraverso gli insegnanti;
- gli scienziati che promuovono iniziative di carattere didattico con gli insegnanti.

Le nazioni interessate sono 22 e l'Italia potrà partecipare con 30 delegati: tra questi non più del 50% potranno essere scelti tra coloro che hanno partecipato alle precedenti edizioni del POS. La lista dei delegati dovrà essere presentata all'ISC entro il 3 ottobre 2003.

E' stato costituito un National Steering Committee (NSC) Italiano del quale fanno parte: insegnanti della scuola secondaria e dell'università, esperti in didattica, rappresentanti del Ministero dell'Istruzione e rappresentanti delle istituzioni scientifiche nazionali. Il programma che il NSC dovrà predisporre, dovrà comprendere:

1. iniziative a carattere nazionale le quali possono riguardare: competizioni a carattere nazionale atte a individuare strategie didattiche innovative; eventi locali nelle varie regioni che coinvolgano i docenti;
2. un evento nazionale finale, da tenersi a fine settembre, che consenta la selezione dei delegati che parteciperanno al festival di novembre. Il programma di questo evento nazionale è ancora da definire e, nei suoi dettagli, sarà reso noto a tutti coloro che concorreranno al seguente bando e comunque, sarà pubblicato su un apposito sito.
3. l'evento finale europeo che si terrà presso l'ESTEC a Noordwijk in Olanda dal 8 al 15 novembre 2003.

L'evento finale consisterà in:

- speciali performance teatrali, in cui la meraviglia della fisica sia presentata in modo spettacolare e divertente;
- presentazioni plenarie "on stage" (sul palcoscenico), veri e propri show a tema scientifico;
- workshop in parallelo su temi rilevanti per l'insegnamento della fisica; essi, col nome del coordinatore, potranno essere proposti dai vari NSC;
- una Fiera dove ogni nazione presenta i lavori selezionati da ciascun NSC: essi dovrebbero rappresentare il meglio della produzione didattica degli insegnanti della scuola primaria e secondaria. I delegati di ciascuna nazione avranno l'opportunità di votare per i progetti che riterranno più efficaci e stimolanti;
- un European Science Teaching Award, un premio in denaro teso a promuovere la prosecuzione delle iniziative. Esso sarà assegnato dall'ISC, sulla base dei voti espressi dai delegati;
- una esposizione di pubblicazioni a carattere commerciale;
- seminari tenuti da scienziati di alto livello professionale.



Bando

1. La Commissione Italiana del Physics on Stage 3 (POS 3) promuove la presentazione di un progetto didattico innovativo relativo all'insegnamento della fisica che abbia le caratteristiche della originalità e della attrattiva ed efficacia didattica.
2. Il progetto può riguardare i più vari aspetti della didattica delle scienze e della fisica in particolare: apprendimento, progettazione e sperimentazione di percorsi e/o materiali didattici, innovazione didattica, raccordo dell'attività in classe con l'esperienza quotidiana, esperimenti proposti anche in forma di gioco o di spettacolo, contributo delle nuove tecnologie informatiche alla didattica della fisica.
3. La presentazione dei progetti consentirà di effettuare la selezione dei delegati italiani che parteciperanno all'evento finale del POS 3.
4. La selezione avverrà in due tempi. Inizialmente saranno scelti i lavori che consentiranno agli insegnanti di partecipare all'evento nazionale; in occasione di questo evento sarà poi fatta la designazione ufficiale dei delegati.
5. Il progetto potrà essere presentato da un gruppo di insegnanti, che l'hanno realizzato in collaborazione, fermo restando che ai singoli eventi potrà partecipare un unico rappresentante.
6. Le spese di viaggio e soggiorno per la partecipazione all'evento nazionale e all'evento finale saranno a carico degli organizzatori nei modi e nei tempi che saranno successivamente comunicati.
7. La presentazione del progetto avrà un'ampiezza di due pagine e potrà essere corredato da fotografie. Essa dovrà illustrare: 1) il settore di riferimento in relazione al programma del Physics on Stage (fiera, presentazione sul palcoscenico o workshop); 2) gli obiettivi didattici e culturali; 3) il tema affrontato; 3) i contenuti innovativi; 4) l'indicazione delle modalità di verifica per la validazione della proposta e dei suoi obiettivi; 5) le collaborazioni e i rispettivi ruoli nel lavoro svolto; 6) l'indicazione di chi, in caso di vittoria, sarà delegato a portare il progetto ad ESTEC (è preferita la conoscenza dell'inglese per usufruire di tutte le opportunità offerte dal programma dell'evento finale).
8. Gli interessati al concorso dovranno far pervenire il progetto entro il 10 settembre 2003 per posta al NSC – c/o prof. Carla Romagnino – via Alghero 37, 09127 Cagliari o per e-mail all'indirizzo che troveranno sull'apposito sito, corredato da una domanda di partecipazione con l'indicazione del domicilio, del recapito telefonico e dell'indirizzo e-mail personali, l'indicazione dell'indirizzo, del recapito telefonico e di posta elettronica della scuola in cui s'insegna. Nella domanda si devono indicare inoltre il titolo del progetto, lo stato di servizio e la materia di insegnamento e dichiarare se si è partecipato o no alle precedenti edizioni del POS.
9. La selezione dei progetti avviene su insindacabile giudizio dell'NSC. Sono criteri di valutazione:
 - Il carattere innovativo della proposta per l'insegnamento della fisica
 - L'attinenza al tema "fisica e vita"
 - Il carattere europeo
 - La spendibilità in più ambiti scolastici
 - La correttezza e approfondimento dei contenuti scientifici
 - L'indicazione delle modalità di verifica per la validazione della proposta e dei suoi obiettivi
 - La presentazione da parte di un insegnante che in passato non abbia già partecipato alle edizioni POS 1 e POS 2
 - L'originalità e l'efficacia comunicativa.

Tutte le informazioni relative alla manifestazione europea e italiana saranno disponibili a breve sul sito www.physiconstage.net da cui si potrà accedere al sito nazionale il cui indirizzo è www.pd.astro.it/eaee/POS3.

QUOTE SOCIALI E ABBONAMENTI 2003

Quota di associazione alla Società Italiana di Fisica:

- | | |
|--|--|
| Socio individuale | ☐ € 45,00 |
| Socio al di sotto dei 30 anni
(prima iscrizione gratuita) | ☐ € 30,00 |
| Socio membro di altre Associazioni Scientifiche
(AIF, AIFM, SAIT, SIGAAU, SIOF) | ☐ € 30,00 |
| Socio collettivo | ☐ € 260,00 |
| Socio sostenitore | (a partire da) ☐ € 310,00 |

Quote di abbonamento ai periodici della Società Italiana di Fisica:

	soci	non soci
Il Nuovo Cimento B	☐ € 503,54	☐ € 664,68
Il Nuovo Cimento C	☐ € 255,12	☐ € 322,27
Rivista del Nuovo Cimento	☐ € 268,55	☐ € 349,13
 Abbonamento cumulativo alle 3 riviste	 ☐ € 873,14	 ☐ € 1135,67
 Giornale di Fisica	 ☐ € 64,00	 ☐ € 80,00
Quaderni di storia della Fisica		
Per gli iscritti all'A.I.F. (*)		☐ € 64,00
(*) Queste quote debbono pervenire tramite la segreteria dell'A.I.F.		
 Il Nuovo Saggiatore		 ☐ € 68,00

Per quote associative e abbonamenti compilare questa cedola con il Vs. indirizzo esatto:

Cognome e Nome
o Ente

.....

.....

.....

Via

.....

C.A.P.

.....

Città

.....

Partita IVA

.....

Totale

.....

Modalità di pagamento:

- ☐ a mezzo assegno bancario
☐ a mezzo versamento sul c/c n. 19197409 -
 Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F.
 Via Saragozza 12, 40123 Bologna
☐ a mezzo carta di credito:



(sbarrare il simbolo desiderato)

Carta n.

Data di scadenza

Data Firma.....

2003

DOMANDA DI ISCRIZIONE ALLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Nome _____

Cognome _____

Data di nascita _____

① Istituto o Ente di Appartenenza _____

② Indirizzo privato _____

③ Indirizzo e-mail _____

Breve curriculum (titolo di studio, attività didattica e scientifica)

Indirizzo a cui inviare il Bollettino della Società e la corrispondenza ① ②

Firme leggibili dei Soci Presentatori

Nome in stampatello

1) _____

2) _____

Socio individuale: euro 45 ☐

Socio al di sotto dei 30 anni: – PRIMA ISCRIZIONE GRATUITA

– rinnovo euro 30 ☐

Socio membro di altre Associazioni Scientifiche (AIF, AIFM, SAIT, SIGRAV, SIOF): euro 30 ☐

Socio collettivo: Euro 260 ☐

Socio sostenitore: (a partire da) Euro 310 ☐

La quota di iscrizione dovrà essere pagata dopo aver ricevuto comunicazione dell'accettazione della domanda.

Data _____

Firma _____