HANNO COLLABORATO A QUESTO NUMERO:
M. Abbrescia, P. Belli, L. Belloni, G. Benedek, A. Bettini, M. Carli, S. De Pasquale, V. Flaminio, A. Frison, S. A Khan, T. A. Kirsten, M. Liscidini, R. A. Ricci, J. E. Sipe, A. Sonato

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Nuova Serie Anno 31 • N. 1 gennaio-febbraio 2015 • N. 2 marzo-aprile 2015

DIRETTORE RESPONSABILE
Luisa Cifarelli

VICEDIRETTORE
Giuseppe Grosso

COMITATO SCIENTIFICO
G. Benedek, A. Bettini, P. Cenci, S. Centro, S. Croci, E. De Sanctis, S. Falciano, F. Ferroni, E. Iarocci, I. Ortalli, F. Palmonari, P. Picchi, R. A. Ricci

SOMMARIO

3 EDITORIALE
L. Cifarelli

5 **Trent'anni**
R. A. Ricci

SCIENZA IN PRIMO PIANO

18 **A Classic never gets old**
M. Liscidini, J. E. Sipe

FISICA E...

27 **Camere a piani resistivi: rivelatori per la scienza, rivelatori per la vita**
M. Abbrescia

PERCORSI

36 **Medieval Islamic achievements in optics**
S. A. Khan

46 **Radiochemical solar neutrino experiments: door opener for modern Astroparticle Physics**
T. A. Kirsten

IL NOSTRO MONDO

59 **Programma della Scuola Estiva "Enrico Fermi" di Varenna**
International Symposium "Light and Life"
101° Congresso Nazionale
Bandi dei concorsi a premi della SIF

71 **Francesco Maria Grimaldi. La diffrazione della luce**
A. Bettini

77 **Il Nuovo Cimento 150, 100, 50 anni fa**
A. Bettini

News

78 **Con PLaNCK! la scienza si fa piccola**
A. Frison, M. Carli, A. Sonato

81 INTERVISTA A
Pasquale Di Nezza
S. De Pasquale

82 RECENSIONI

83 IN RICORDO DI(*)
C. Voci (A. Bettini)
G. Viesti (R. A. Ricci)
S. D'Angelo (P. Belli)

84 IN EVIDENZA

85 ANNUNCI

(*) Il testo completo è pubblicato online: www.sif.it/attivita/saggiatore/ricordo

IL NUOVO SAGGIATORE - BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA VIENE INVIATO GRATUITAMENTE AI SOCI

MODALITÀ DI ISCRIZIONE ALLA SIF

Per iscriversi occorre presentare domanda di associazione con un breve curriculum scientifico e l'indicazione di due Soci presentatori.
La domanda di associazione può essere fatta online (oppure scaricando l'apposito modulo di associazione, pubblicato anche in questo fascicolo) all'indirizzo: `http://www.sif.it/associazione`.
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.

RINNOVO QUOTE SOCIALI

Il rinnovo della quota sociale può essere effettuato:

- Online nell'Area Soci del sito web della SIF; in questo caso si utilizza la carta di credito, con collegamento diretto e sicuro al sito della Banca Nazionale del Lavoro (BNL).
  Ricordiamo che l'Area Soci è un'area protetta per accedere alla quale occorre utilizzare username e password che vengono inviati a tutti i Soci. (Per accedere agli altri servizi disponibli nell'Area Soci occorre essere Soci in regola).
- Seguendo le modalità pubblicate in rete all'indirizzo:
  `http://www.sif.it/associazione`.
  In caso si desideri procedere anche in questo caso con la carta di credito, ricordarsi di usare l'apposito modulo debitamente compilato in tutte le sue parti.
- È anche possibile rinnovare l'associazione alla European Physical Society (EPS) attraverso le rispettive società nazionali. I Soci che desiderano pagare la propria quota di associazione all'EPS tramite la SIF possono farlo con le modalità di cui sopra.
  Le quote di associazione all'EPS sono pubblicate in ultima pagina e in rete allo stesso indirizzo sopraindicato.

HOW TO BECOME A SIF MEMBER

To apply for membership an application form must be filled in, including a brief scientific curriculum and the signatures of two introducing Members.
The application can be filled in online or downloading the application form at the following address:
`http://en.sif.it/association`.
The application form will be examined and eventually approved by the Council. Applicants will have to pay the membership dues, as indicated in the form, only after having been informed by the Society about the acceptance of their application.

MEMBERSHIP RENEWAL

Those who wish to renew membership, may pay dues by one of the following terms of payment:

- Online by credit card through direct connection with the bank (BNL). This service can be accessed through the Members Area of the SIF website.
  We remind you that the Members Area is secured and can be accessed only through the username and password supplied to Members.
- By cheque or credit card filling the payment form published on the web at the address:
  `http://en.sif.it/association`.
  In case you wish to use the credit card also in this case, make sure to fill in the form in all its parts.
- It is also possible to renew the association to the European Physical Society (EPS) through the respective national societies. Members who wish to pay the EPS association fee through SIF can do so according to the instructions above. The EPS association fees are available on the SIF website at the above-indicated address.

EDITORIALE / EDITORIAL

Cari Soci,

se il primo editoriale del 2014 iniziava con l'elenco delle numerose ricorrenze e celebrazioni che cadevano in quell'anno, nel 2015 la ricorrenza è di casa: il nostro Bolletino festeggia il suo trentesimo anniversario! È quindi doveroso aprire questo numero con un articolo celebrativo che ripercorre la storia de Il Nuovo Saggiatore, passando in rassegna scritti ed eventi che si intrecciano inevitabilmente con la storia stessa della nostra Società.

Ma il 2015 è sopratutto l'Anno Internazionale della Luce e delle Tecnologie basate sulla Luce proclamato dall'ONU, ormai noto come IYL 2015. Si è appunto svolta a Torino il 26 gennaio scorso la Cerimonia Inaugurale dell'IYL 2015, una cerimonia nazionale, immediatamente dopo quella internazionale di Parigi, avvenuta presso la sede dell'UNESCO il 19-20 gennaio.

L'inaugurazione italiana, organizzata dalla SIF sotto l'egida dell'UNESCO, insieme al Comune di Torino e all'INRIM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica), ha avuto luogo nella Sala del Senato di Palazzo Madama, una di quelle spettacolari cornici dove tutto acquista lustro e dimensione storica. La Cerimonia è stata trasmessa in diretta streaming grazie al Multimedia Group dell'INFN e la registrazione è tuttora disponibile online a partire dal sito web della SIF. Ulteriori dettagli sono anche presenti nel numero di gennaio della nostra Newsletter SIF Prima Pagina.

Come già più volte ricordato in queste colonne, l'idea dell'IYL 2015 è maturata qualche anno fa in Europa, all'interno dell'EPS (European Physical Society), in un primo tempo nel campo dell'ottica, della fisica atomica e della fotonica. È stata poi accolta con entusiasmo da tutta la comunità dei fisici, propagandosi rapidamente dalla fisica a tutti i settori della scienza e della cultura.

Per ricordarne però le origini, la Cerimonia Inaugurale di Torino ha voluto concentrarsi sulla fisica atomica, con una splendida relazione di apertura del Premio Nobel Wolfgang Ketterle sull'utilizzo della luce per realizzare la "materia più fredda dell'Universo". A seguire un'accurata relazione sulla sperimentazione con la luce in campo metrologico. E in più una relazione di carattere storico, dai fotoni all'elettrodinamica quantistica, per illustrare il raccordo tra la fisica atomica e la fisica nucleare e subnucleare.

Nel corso del 2015, la SIF ha previsto molti altri eventi in molti altri luoghi significativi, come Varenna, Milano, Firenze, Roma, Capri, Napoli ..., per "mettere in luce" agli occhi di un pubblico il più vasto possibile la magia della luce visibile e invisibile negli innumerevoli settori in cui compare. Ciò avverrà via via in collaborazione con le più prestigiose Società scientifiche e Istituzioni accademiche e di ricerca. Maggiori informazioni e dettagli sono reperibili sull'apposita pagina web dell'IYL 2015.

Inoltre, sempre nel 2015, è prevista la pubblicazione in ogni numero de Il Nuovo Saggiatore di qualche pagina scelta di studiosi italiani che hanno contribuito con le loro ricerche allo sviluppo della scienza e tecnologia della luce. Mentre la rubrica "Percorsi" accoglierà articoli storici anch'essi correlati al tema della luce da più punti di vista. E come se non bastasse, è in preparazione un libro per ragazzi, intitolato (ovviamente): Accendi la Luce.

Infine è prevista una sessione speciale esclusivamente dedicata alla luce nel contesto del 101° Congresso Nazionale della SIF che avrà luogo quest'anno a Roma.

Sarà quindi un anno "illuminato" in tutti i sensi!

Dear Members,

if the first editorial of 2014 began with the list of the many anniversaries and celebrations occurring along that year, 2015 is home to recurrence: our Bulletin celebrates its thirtieth anniversary! It's then a must to open this issue with a celebrative article tracing the history of Il Nuovo Saggiatore, reviewing papers and events that inevitably mingle with the history of our Society.

But 2015 is mainly the International Year of Light and Light-based Technologies proclaimed by the UN, now known as IYL 2015. The IYL 2015 Opening Ceremony was actually held in Turin on January 26th. This was a National ceremony, immediately following the International one, which took place in Paris at UNESCO headquarters on January 19th to 20th.

The Italian inauguration, organized by the SIF under the auspices of UNESCO, together with the Municipality of Turin and INRIM (National Institute of Metrological Research), took place in the Senate Hall of Palazzo Madama, one of those spectacular frames where everything acquires prestige and historical dimension. The ceremony was broadcast in live streaming thanks to the INFN Multimedia Group and the recording is still available online from the website of the SIF. Further details are also present in the January issue of our Newsletter SIF Prima Pagina.

As already mentioned several times in these columns, the idea of the IYL 2015 grew up a few years ago in Europe, within the EPS (European Physical Society), at first in the field of optics, atomic physics and photonics. It was then greeted with enthusiasm by the entire physics community, spreading rapidly from physics to all fields of science and culture.

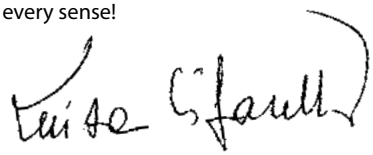
To yet recall the IYL origin, the Opening Ceremony of Turin was meant to focus on atomic physics, with a wonderful opening speech of the Nobel Prize Wolfgang Ketterle on the use of light to achieve the "coldest matter in the Universe". This was followed by a thorough report on light research in the field of metrology. And in addition by a historical report, from photons quantum electrodynamics, to illustrate the connection between atomic physics and nuclear and subnuclear physics.

During 2015, the SIF has foreseen many other events in many other significant places like Varenna, Milan, Florence, Rome, Capri, Naples ..., to "highlight" to the eyes of an audience as large as possible the magic of visible and invisible light in the countless areas in which it appears. This will be done gradually, in collaboration with the most prestigious scientific Societies and academic and research Institutions. More information and details can be found on the appropriate web page of the IYL 2015.

Moreover in 2015, in each issue of Il Nuovo Saggiatore, we have planned to publish selected pages of Italian scholars who have contributed with their research to the development of light science and technology. And the heading "Percorsi" will welcome historical articles also related to the theme of light from multiple points of view. On top of this, a children's book is in preparation, titled (of course): Switch on the Light.

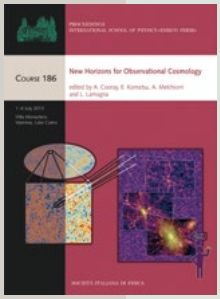
Finally there will be a special session devoted exclusively to light in the context of the 101st National Congress of the SIF to be held this year in Rome.

It will be a year "enlightened" in every sense!



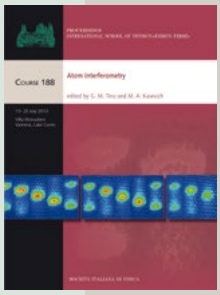
ULTIMI VOLUMI PUBBLICATI

PROCEEDING OF THE INTERNATIONAL SHOOL OF PHYSICS "ENRICO FERMI"



Course 186
"New Horizons for Observational Cosmology"
edited by A. Cooray, E. Komatsu, A. Melchiorri and L. Lamagna
pp. XX+396, € 175,00, SOCI SIF € 122,50

Course 188
"Atom Interferometry"
edited by G. M. Tino and M. A. Kasevich
pp. XXIV+784, € 200,00, Soci SIF € 140,00



Per consultare l'elenco completo:
http://www.sif.it/libri/collane/rendiconti_fermi

Collana CONFERENCE PROCEEDINGS

VOL. 108
Proceedings of the IWM-EC2014 "International Workshop on Multi facets of EoS and Clustering"
edited by B. Borderie, R. Bougault, A. Pagano, S. Pirrone and G. Politi
pp. XXII+312 € 90,00, Soci SIF € 63,00

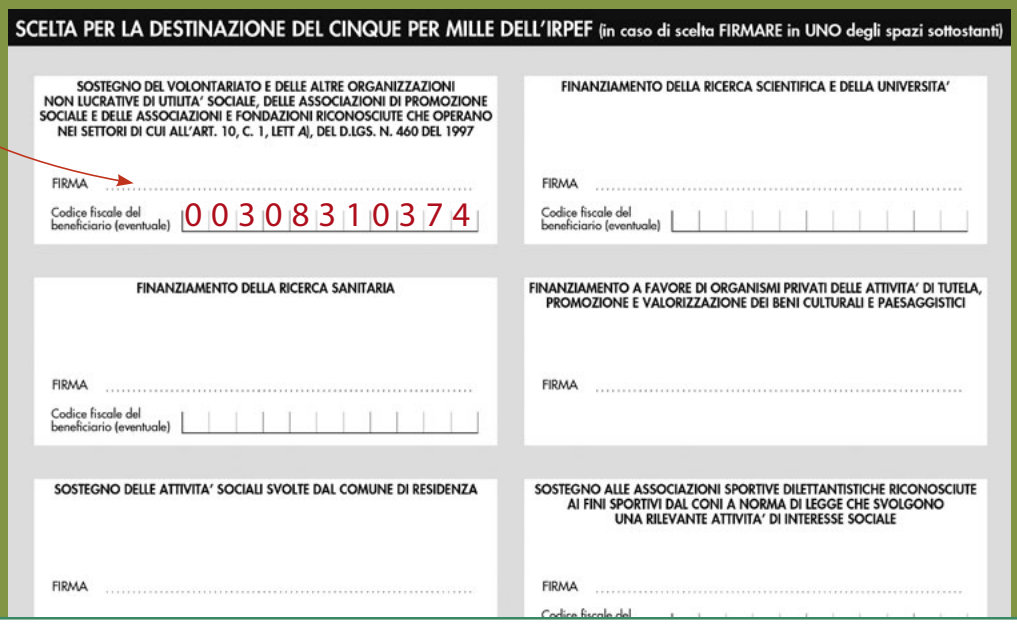
Per consultare l'elenco completo:
http://www.sif.it/libri/collane/atti_conferenze

Per informazioni su prezzi e disponibilità scrivere a: subscriptions@sif.it

SOSTIENI LA SIF CON IL TUO 5‰

Apponi la tua firma nell'apposito spazio della tua dichiarazione dei redditi (modello 730, Unico, CUD), là dove si prevede il sostegno delle organizzazioni senza fine di lucro (in alto a sinistra della scheda), e indica nello spazio sottostante il seguente numero:

00308310374



IL NUOVO SAGGIATORE
BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

TRENT'ANNI

RENATO ANGELO RICCI,
Presidente Onorario della Società Italiana di Fisica

Gennaio 1985: esce il primo numero de "Il Nuovo Saggiatore", Bollettino della Società Italiana di Fisica, 1*1985*1

1 Le origini

Nel mio editoriale di presentazione scrivevo: "La nuova edizione del Bollettino d'informazione della Società Italiana di Fisica vede la luce in un particolare momento d'interesse generale per l'indagine scientifica e per le implicazioni culturali e sociali della ricerca fisica moderna. L'intento, come preannuciato ai Soci, è quello di farne, oltre che un notiziario più adeguato ai tempi e alle esigenze di una comunità vivace ed attenta come quella dei fisici italiani,anche un periodico d'informazione scientifica con la collaborazione di colleghi esperti nei vari campi della fisica". Tale decisione era stata annunciata già nella mia Relazione all'Assemblea Generale del 5 ottobre 1984 in occasione del LXX Congresso Nazionale tenutosi a Genova, con queste parole: "..dall'inizio del 1985 sarà ristrutturato il Bollettino. Ormai è deciso: quel Bollettino color marroncino (fig. 1) che ha servito da notiziario interno della Società cessa di esistere. Al suo posto apparirà un vero e proprio organo d'informazione e uscirà come pubblicazione mensile [che di fatto poi fu fin da subito bimestrale. NdA]. Il suo scopo è di diventare una rivista di notizie e articoli di informazione e divulgazione scientifica, fornendo notizie più utili e interessanti non solo alla comunità dei fisici e con un occhio particolare ai giovani" (fig. 2).

Fig. 1 Copertina dell'ultimo numero (134) del Bollettino della SIF..

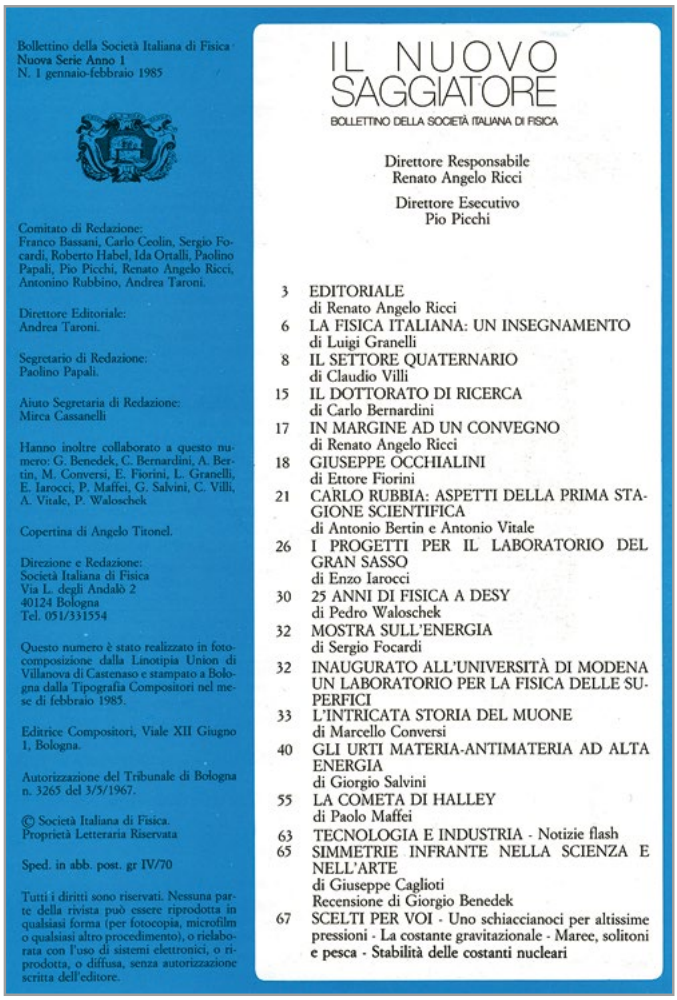
Fig. 2 Copertina del 1° numero del Nuovo Saggiatore (1985).

La gestazione della nuova iniziativa editoriale durò circa 2 anni a partire dall'inizio del 1983 quando,parlandone con Pio Picchi, allora Vicepresidente e con la consulenza del mio predecessore Carlo Castagnoli, allora Direttore del Giornale di Fisica, pensammo che una maggiore visibilità esterna della SIF fosse ormai necessaria e che sull'esempio di altre Società (si citava il Physics Today dell'APS o il Physics World dell'IOP) si dovesse disporre di un mezzo d'informazione più adeguato. L'idea venne portata in Consiglio, che allora era formato oltre che da me e da Pio, da Franco Bassani, Carlo Ceolin, Sergio Focardi, Roberto Habel, Ida Ortalli, Antonio Rubbino, e discussa con Andrea Taroni, Direttore editoriale, e Paolino Papali, Segretario di redazione. Alla Commissione per l'editoria, costituita nel luglio 1983 (Picchi e Gatto all'epoca Vicedirettori di La Rivista del Nuovo Cimento, Bassani e Taroni) fu dato mandato, tra l'altro, di studiare tale proposta arrivando già nel febbraio 1984 alla conclusione di concretizzare l'idea, preparare il format e iniziare tutte le procedure tecniche ed economiche dandone l'incarico ad un Comitato operativo formato da Picchi, Bassani e Taroni. Nel settembre dello stesso anno Picchi, già nominato Direttore esecutivo del nuovo Bollettino, illustrava la struttura organizzativa e i contenuti del primo numero di quello che ormai più che un Bollettino sarebbe stato una nuova impresa editoriale. L'idea del nome venne da un discussione con Claudio Villi, allora Vicedirettore de Il Nuovo Cimento A, che proponeva di rifarsi in qualche modo a Galilei o al motto "Provando e Riprovando". Si arrivò al "Saggiatore" ma non potendo tornare all'antico, io aggiunsi "Nuovo" e così fu.
La prima struttura editoriale, indicata nel frontespizio (fig. 3) riportava il Direttore responsabile (il Presidente della SIF), il Direttore esecutivo, P. Picchi, un Comitato di Redazione costituito dall'intero Consiglio di Presidenza, con A. Taroni Direttore editoriale e P. Papali Segretario di redazione. Poché tuttavia, a parte la responsabilità politico-scientifica, occorreva un efficace supporto esecutivo e redazionale per far partire bene l'impresa, fu aggiunta un aiuto Segretaria di redazione nella persona di Mirca Cassanelli, che doveva dimostrarsi nel corso di tutti gli anni a seguire fino al 1999, anno della sua prematura scomparsa, non solo un impareggiabile aiuto per tutta la parte esecutiva e come tramite tra la segreteria e la redazione ma anche una valida collaboratrice alla direzione del giornale. Ricordo con molto affetto le sue immancabili sollecitazioni all'appuntamento bimestrale dei miei editoriali [1], una specifica e voluta caratteristica de Il Nuovo Saggiatore, che è felicemente proseguita con i successivi Presidenti Franco Bassani e Luisa Cifarelli anche nella nuova veste tipografica, oggi ben conosciuta.

Quale fosse il contesto culturale della fisica di quegli anni e quale il contributo dei fisici italiani è ben delineato dal frontespizio di quel primo numero, riportato in fig. 3 con l'indice dei vari contributi che parlano da soli. Da notare, oltre ai rilevanti contributi scientifici, l'articolo di introduzione dell'allora Ministro della Ricerca Scientifica Luigi Granelli al quale va riconosciuto l'interesse costante dimostrato alla scienza e in particolare alla fisica italiana pur nella sua posizione di Ministro senza portafoglio.

Del resto l'uscita de Il Nuovo Saggiatore si collocava proprio tra eventi significativi che connotavano i risultati e le iniziative della nostra comunità. Era stato appena assegnato, nel 1984, il Premio Nobel a Carlo Rubbia. Vedansi l'articolo di A. Bertin e A. Vitale che ne tracciano il significato e la storia e il commento del Ministro Luigi Granelli che ne illustra la portata e ne trae una lezione per il sostegno alla fisica e più in generale alla scienza italiana protagonista sulla scena internazionale.

Sempre nel 1984 la Fisica italiana si era ritrovata a Bologna, nella prestigiosa sede di Palazzo D'Accursio, in occasione del famoso Convegno organizzato dalla SIF



Bollettino della Società Italiana di Fisica
Nuova Serie Anno 1
N. 1 gennaio-febbraio 1985

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Direttore Responsabile
Renato Angelo Ricci

Direttore Esecutivo
Pio Picchi

Comitato di Redazione:
Franco Bassani, Carlo Ceolin, Sergio Focardi, Roberto Habel, Ida Ortalli, Paolino Papali, Pio Picchi, Renato Angelo Ricci, Antonino Rubbino, Andrea Taroni.

Direttore Editoriale:
Andrea Taroni.

Segretario di Redazione:
Paolino Papali.

Aiuto Segretaria di Redazione:
Mirca Cassanelli

Hanno inoltre collaborato a questo numero: G. Benedek, C. Bernardini, A. Bertin, M. Conversi, E. Fiorini, L. Granelli, E. Iarocci, P. Maffei, G. Salvini, C. Villi, A. Vitale, P. Waloschek

Copertina di Angelo Titonel.

Direzione e Redazione:
Società Italiana di Fisica
Via L. degli Andalò 2
40124 Bologna
Tel. 051/331554

Questo numero è stato realizzato in fotocomposizione dalla Linotipia Union di Villanova di Castenaso e stampato a Bologna dalla Tipografia Compositori nel mese di febbraio 1985.

Editrice Compositori, Viale XII Giugno 1, Bologna.

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

© Società Italiana di Fisica.
Proprietà Letteraria Riservata

Sped. in abb. post. gr IV/70

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 l'uso di sistemi elettronici, o riprodotta, o diffusa, senza autorizzazione scritta dell'editore.

3 EDITORIALE
di Renato Angelo Ricci
6 LA FISICA ITALIANA: UN INSEGNAMENTO
di Luigi Granelli
8 IL SETTORE QUATERNARIO
di Claudio Villi
15 IL DOTTORATO DI RICERCA
di Carlo Bernardini
17 IN MARGINE AD UN CONVEGNO
di Renato Angelo Ricci
18 GIUSEPPE OCCHIALINI
di Ettore Fiorini
21 CARLO RUBBIA: ASPETTI DELLA PRIMA STAGIONE SCIENTIFICA
di Antonio Bertin e Antonio Vitale
26 I PROGETTI PER IL LABORATORIO DEL GRAN SASSO
di Enzo Iarocci
30 25 ANNI DI FISICA A DESY
di Pedro Waloschek
32 MOSTRA SULL'ENERGIA
di Sergio Focardi
32 INAUGURATO ALL'UNIVERSITÀ DI MODENA UN LABORATORIO PER LA FISICA DELLE SUPERFICI
33 L'INTRICATA STORIA DEL MUONE
di Marcello Conversi
40 GLI URTI MATERIA-ANTIMATERIA AD ALTA ENERGIA
di Giorgio Salvini
55 LA COMETA DI HALLEY
di Paolo Maffei
63 TECNOLOGIA E INDUSTRIA - Notizie flash
65 SIMMETRIE INFRANTE NELLA SCIENZA E NELL'ARTE
di Giuseppe Caglioti
Recensione di Giorgio Benedek
67 SCELTI PER VOI - Uno schiaccianoci per altissime pressioni - La costante gravitazionale - Maree, solitoni e pesca - Stabilità delle costanti nucleari

Fig. 3 Frontespizio del primo numero con indice.

"Cinquant'anni di fisica delle interazioni deboli" per celebrare il cinquantenario della formulazione della Teoria di Fermi e facendo convenire, come ospiti d'onore e destinatari di un paticolare riconoscimento, i fisici italiani protagonisti di quella indimenticabile stagione scientifica nel campo delle interazioni deboli [2]. Le relazioni presentate, dedicate ai vari capitoli scritti nel mezzo secolo preso in esame (1934-1984), insieme con la ristampa di articoli dei vari protagonisti, furono raccolte in un pregevole volume pubblicato pochi giorni prima del Convegno stesso e presentato nell'occasione (fig. 4). Un'anticipazione di tali celebrazioni si era avuta del resto l'anno prima, nel 1983, con la celebrazione del trentennale della Scuola di Varenna (fondata, com'è noto, nel 1953 da Giovanni Polvani) in occasione della quale furono ristampate le lezioni tenute da Fermi a Varenna nel 1954 (una ulteriore ristampa è stata fatta nel 2008 in occasione del 70° anniversario dell'assegnazione del Pemio Nobel a Fermi nel 1938 e pubblicata come numero speciale della Rivista del Nuovo Cimento, vol. 31, n.1, 2008 e da allora distribuita ai partecipanti della Scuola di Varenna).

Una rivisitazione di alcune delle grandi scoperte e realizzazioni celebrate figura del resto nei pregevoli articoli di Marcello Conversi ("L'intricata storia del muone") e di Giorgio Salvini ("Gli urti materia e antimateria ad alta energia"), sempre nel primo numero, che aprivano la Rubrica "Scienza in primo piano", che può ben dirsi ancor oggi una delle colonne portanti de Il Nuovo Saggiatore (NS).

Sono inoltre di quegli anni l'evolversi del progetto del Laboratorio del Gran Sasso, promosso da A. Zichichi, di cui il NS riportava con l'articolo di Iarocci il disegno schematico nella Rubrica "Attualità" del primo numero (fig. 5, sinistra). Una rivisitazione con presentazione delle tematiche fisiche e dei vari esperimenti la si trova nella serie di articoli pubblicati nella Rubrica "Scienza in Primo Piano" del vol. 16, n. 5-6 del 2000, autori A. Bettini, E. Scapparone, L. Satta, in cui si passano in rassegna problemi ed esperimenti in corso o in fase di approntamento per il futuro (fig. 5, destra).

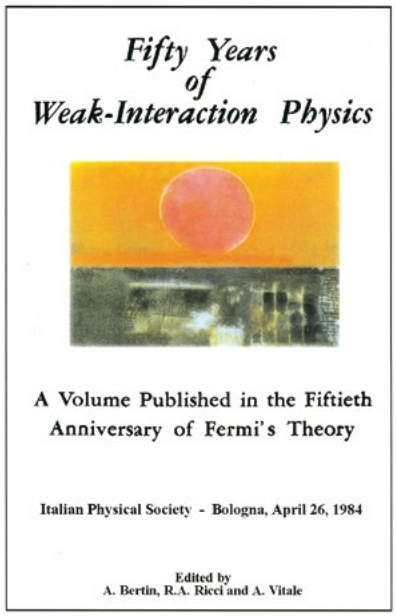


Fig. 4 Copertina del volume pubblicato nel 1984 e presentato in occasione del convegno di Bologna per il 50° anniversario della Teoria di Fermi.

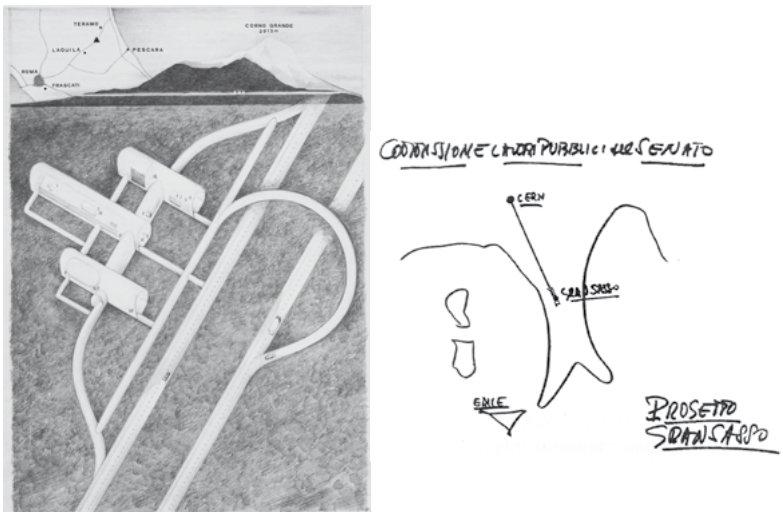


Fig. 5 A sinistra disegno schematico del progetto del Laboratorio del Gran Sasso tratto dall'articolo di E. Iarocci. Destra, disegno originale del progetto Gran Sasso di A. Zichichi, dall'articolo di E. Scapparone.

Altro riferimento importante è l'avvio alla realizzazione dell'inizativa "Luce di Sincrotrone" che trovava una vera e propria pista di lancio nel Congresso della SIF a Trieste nel 1985 e di cui piena informazione viene data nel numero 5 di quella prima annata del Nuovo Saggiatore, oltre ad uno specifico articolo di L. Fonda (vol. 3, n. 4 (1987) p. 20). In fig. 6 sono appunto riportate le foto di due importanti eventi che ebbero luogo in tale occasione: rispettivamente, la Tavola rotonda su "Iniziative e prospettive italiane per la Luce di Sincrotrone" all'inizio del Congresso e quella, in chiusura, su "Perspectives and values of frontier research in Physics".

A dimostrazione del favore incontrato presso la comunità dei fisici dalla nuova iniziativa editoriale, riportiamo la prima lettera ricevuta e pubblicata nel secondo numero del Nuovo Saggiatore inviata da Gilberto Benardini.

È interessante inoltre notare come un significativo rilievo fu dato fin da subito alle informazioni di tipo tecnologico

Da Gilberto Bernardini abbiamo ricevuto la seguente lettera che molto volentieri pubblichiamo.

Caro Renato,

ho ricevuto il «1*1985*1» del «Nuovo Saggiatore» con le righe affettuose che l'accompagnavano. Te ne sono molto grato come veterano della Fisica e per il rinnovarsi di un'antica amicizia.

Nel Saggiatore ho cominciato ad apprezzare il titolo, che palesa la dignitosa consapevolezza della responsabilità di una tradizione, e poi, dopo averlo in gran parte letto, che esso sia, piú che «un periodico d'informazione scientifica» come tu scrivi, un saggio di varia cultura fisica. Anzi, proprio per quello che hai scritto, spero che esso diverrà progressivamente un modello di cultura estesa ai piú diversi indirizzi, dalla cosmologia alla biologia, intesi a fondersi in un solo orizzonte intellettuale.

Incidentalmente mi è sembrato intonato a questo primo fascicolo il dire di Occhialini a più riprese, indicando sia la versatilità del suo impegno che il valore eccezionale dei risultati scientifici da lui ottenuti, quanto è opportuno perché lo si conosca e riconosca come il fisico italiano cui sono dovute alcune delle scoperte fondamentali sulle particelle subatomiche.

Quindi ancora grazie e molto affettuosamente a presto.

Gilberto

Fig. 6 Sinistra, foto della Tavola rotonda " Iniziative e prospettive italiane per la Luce di Sincrotrone", Congresso SIF, Trieste 1985. Destra, A. Zichichi, R. A. Ricci, C. Rubbia e A. Salam alla Tavola rotonda "Perspectives and values of frontier research in Physics",

accompagnate da articoli specifici con una apposita Rubrica ("Tecnologia e Industria"). Ricorderò a tal proposito che, nelle prime discussioni propedeutiche alla definitiva decisione di uscire con il Nuovo Saggiatore, si era anche parlato di conglobare la nuova edizione del Bollettino con la Rivista "Fisica e Tecnologia" che esisteva dal 1983 e la cui direzione era stata affidata ad Alessandro Alberigi Quaranta, cui poi succedette Andrea Taroni. L'idea fu scartata vuoi per non restringere gli scopi di quest'ultima vuoi per non appesantire il già ricco format del NS che ormai si andava delineando. Quando, nel 1989, "Fisica e Tecnologia" cessò la pubblicazione, ne prese, sia pure parzialmente, il posto la rubrica del Nuovo Saggiatore.

Con il tempo, come dimostra il format attuale, le corrispondenti informazioni, notizie e articoli sono stati assorbiti nella pregevole Rubrica "Fisica e…" fino all'istituzione nel 2010, al suo interno, di una speciale sottorubrica intitolata "Ricerca e Industria".

In effetti l'ossatura del giornale è rimasta sostanzialmente immutata nelle sue rubriche principali con l'aggiunta, a partire dal 1993, di "Percorsi" volendo con questa raccogliere contributi che "... presenteranno al lettore, dalla memoria diretta dei protagonisti od attraverso la ricostruzione degli studiosi, retrospettive su aspetti memorabili della ricerca in fisica, includenti scoperte od eventi di particolare rilievo e vicende scientifiche di Laboratori o Istituzioni" (tale iniziativa fu proposta e poi condotta per un certo tempo dal corpo di Vicedirettori esecutivi, appena costituito con A. Bertin, P. Picchi, A. Taroni, A. Vitale).

L'impaginazione e la veste editoriale hanno ovviamente subito variazioni, in particolare a partire dal 2008 con una grafica completamente rinnovata e con caratteristiche più snelle e consone ai tempi, continuando nel 2009 attraverso un processo graduale ancora di adeguamento alle nuove tecniche informatiche. Sono stati snelliti alcuni contenuti mentre molte parti relative alle notizie de "Il Nostro Mondo" (Assemblea dei Soci, necrologi, recensioni e alcune opinioni) sono oggi nella versione online. Le innovazioni di questo periodo sono indicate nell'Editoriale di Luisa Cifarelli nel vol. 26, n.1-2 (2010). D'altra parte il notiziario relativo agli eventi e alle iniziative della SIF, dell'EPS e più in generale della comunità dei fisici sono oggi ben riportate con la necessaria tempestività in "Prima Pagina", la Newsletter della SIF lanciata nel 2014.

2 Rubriche e i contenuti

Come si è detto la suddivisione storica delle rubriche portanti: "Scienza in Primo Piano", "Percorsi", "Fisica e …" è rimasta sostanzialmente invariata sia pure nelle varie vesti tipografiche, comunque sempre all'altezza delle esigenze editoriali. Ciò che è importante appare nell'excursus storico-scientifico dei i vari temi affrontati ed eventi illustrati nelle ormai oltre 9000 pagine prodotte, nei circa 700 articoli scientifici e di rassegna pubblicati, che costituiscono un archivio prezioso in cui questi 30 anni di storia, non solo della SIF, diventano una testimonianza di grande rilievo.

Una rilettura di queste pagine, certamente non completa, come quella a cui io mi sono personalmente dedicato nei giorni di preparazione di questa rassegna, è veramente istruttiva e permette qualche considerazione interessante.

Delle rubriche citate, ho già fatto riferimento ai primi articoli di Marcello Conversi e Giorgio Salvini in "Scienza in Primo Piano". Se si scorre il cammino delle pubblicazioni del Nuovo Saggiatore e si arriva per esempio al pregevole articolo di Antonio Masiero dal titolo, curiosamente intrigante, "Il bosone di Higgs, la sua esistenza, la nostra esistenza" (vol. 28, n. 3-4 (2012) p. 4), si trova come siano giustificate le parole con cui egli chiude la rassegna: "… È importante sottolineare che noi eravamo sicuri che la Natura avesse scelto il meccanismo di Higgs per rompere la simmetria elettrodebole del SM ben prima del 4 luglio scorso. Chi ce l'ha sancito a chiare lettere è la fisica di precisione del SM, a cui ha contribuito in modo determinante tutta l'impressionante (sia per quantità che per qualità) fisica svolta al LEP del CERN ma anche al Tevatron del Fermilab di Chicago. La fisica italiana e in modo particolare l'INFN sono state protagoniste di questo passo cruciale della nostra conocenza del microcosmo, come già questa Rivista ha avuto modo di ricordare negli anni passati." Il che, oltre che vero, è gratificante.

Un salto indietro e troviamo, sia nella rubrica "Scienza in primo piano" che in quella "Percorsi" ed anche nel "Il Nostro Mondo" una serie di articoli dedicati proprio alla ricerca del bosone di Higgs e alla fisica del Modello Standard [3]; e soprattutto, in occasione del Centenario della SIF, a far seguito al mio Editoriale del vol. 13, no 1-2 (1997), la pubblicazione della straordinaria relazione generale di Nicola Cabibbo, in apertura del LXXXII Congresso della SIF tenutosi a Verona nel settembre 1996, dal titolo: "La Fisica alle soglie del 2000" dalla quale estraggo le seguenti parole: "… di grande interesse è la particella di Higgs; combinando all'interno del Modello Standard i risultati degli esperimenti

di LEP, che sono di una estrema precisione, e la recente scoperta del "top", si conosce il possibile valore della massa della Higgs. Già adesso quello che sappiamo della massa del top ci permette di dire che il bosone di Higgs deve stare circa nel range tra 60 e 600 GeV. La macchina LHC dovrebbe quindi avere l'energia e la luminosità sufficienti per esplorare tutta questa regione".

E così è avvenuto.

La storia del bosone di Higgs e del Modello Standard non è la sola ovviamente a "percorrere" le pagine del Nuovo Saggiatore. Altre, per restare nel campo della fisica subnucleare, sono raccontate in modo pertinente e significativo, come la scoperta della violazione di CP rivisitata nel 50º anniversario da M. Giorgi (vol. 30, n. 5-6 (2014) p. 5). O ancora le scoperte e le problematiche riguardanti l'antimateria; il primo articolo specifico su tale questione apparso sul N.S. (rubrica "Percorsi") è stato, a mia conoscenza, la riproduzione dell'intervento di T.D. Lee nel 1995 all'Accademia delle Scienze di Bologna in occasione del simposio in onore di A. Zichichi per celebrare il 30º anniversario della scoperta dell'antimateria nucleare dal titolo "Are matter and Antimatter symmetric?" [4]. Il problema del rapporto Materia-Antimateria è presente in diversi numeri del NS, in particolare anche in "Scienza in Primo Piano" in relazione ai recenti esperimenti nello spazio come PAMELA e AMS [5] con risultati interessanti come l'eccesso di positroni in atmosfera.

La natura celebrativa di questa rassegna mi obbliga non solo a sintetizzare ma a limitare, anche im modo arbitrario, la scelta degli esempi. Aggiungerò qui altre brevi considerazioni su alcuni contenuti e la loro collocazione nelle varie rubriche. Ad esempio per quanto riguarda la Rubrica "Percorsi", il primo articolo che vi apparve e che figurava primo del vol. 9, n. 2 (1993), è di E. Teller che così veniva introdotto: "Nel ricorrere del cinquantesimo anniversario della fondazione dei Laboratori di Los Alamos, il primo Percorso è affidato alla penna di Edward Teller che, per Il Nuovo Saggiatore ha scritto l'articolo: "Los Alamos. The Focus of the Atomic Age" che proponiamo ai nostri lettori in versione originale con traduzione a fronte". È interessante notare che, di seguito, nel numero successivo (vol. 9, n. 3-4 (1993)) sempre nella stessa Rubrica, pubblicammo, pure in versione bilingue, l'articolo "A short history of Los Alamos" di R.W. Seidel, storico del Center for National Security Studies ai Laboratori Nazionali di Los Alamos, Direttore del Bradbury Science Museum e coordinatore delle celebrazioni per il cinquantenario di Los Alamos. Ciò al fine di completare i ricordi di un protagonista d'eccezione come Teller e la visione più generale di uno storico ben informato. Il secondo articolo è molto documentato con foto dell'epoca.

Tale rubrica è felicemente progredita con vari articoli che hanno messo a fuoco i risultati e l'evoluzione di settori importanti della ricerca fisica e delle varie connessioni con lo sviluppo delle conoscenze in alternanza con la rubrica dedicata a "Scienza in Primo Piano". Da notare, per ciò che riguarda le grandi questioni della costituzione ultima della materia e del suo paradigma, il Modello Standard, anche la rivisitazione del Modello a quarks, in occasione del cinquantenario della sua formulazione di M. Gell-Mann e G. Zweig; rivisitazione di Sandro Bettini che rileva come si sia trattato di una storia abbastanza complicata e non del tutto lineare (vol. 30, n. 3-4 (2014) p. 61).

Tra gli altri "Percorsi" di rilievo, credo di poter annoverare quelli relativi all'evoluzione dellla Fisica Nucleare in generale e particolarmente in Italia, in termini di rivisitazione di varie tappe ed eventi relativi alle scoperte e alle ricerche sulla struttura e la dinamica dei nuclei atomici. Un'ottima retrospettiva, vista anche nel contesto storico, è riportata nell'articolo di R. Marshall (vol. 26, n. 1-2 (2010) p. 61) a cento anni di distanza dall'esperimento di Geiger e Marsden e dall'interpretazione di Rutherford. Esso è ben accompagnato dalla rievocazione della Teoria dell'atomo di Bohr fatta da A. Pascolini (vol. 29, n. 3-4 (2013) p. 22) che cita giustamente le parole di Planck nella sua conferenza Nobel: "… l'ipotesi dei quanti riceve tuttavia il suo massimo supporto dalla fondazione e dallo sviluppo dela teoria dell'atomo di Bohr…". E, a proposito di Planck, i 150 anni della sua nascita sono ben ricordati nell'articolo "Max Planck –a conservative revolutionary" da M. Cardona e Werner Marx nei Percorsi del vol. 24, n. 5-6 (2008) p. 39, che celebra appunto, in un contesto storicamente interessante, il padre della Meccanica Quantistica. Un altro centenario, in qualche modo legato ai precedenti almeno per ciò che riguarda la moderna spettroscopia atomica e nucleare, ricordato da I. Talmi e F. Iachello (vol. 26, n. 5-6 (2010) p. 30), si riferisce alla nascita (1909) di G. Racah, cui si deve un ruolo molto importante "... in the development of theoretical physics, especially atomic and nuclear physics, in Italy and in the World". Per ciò che riguarda, la Spettroscopia Nucleare, in particolare in Italia, una retrospettiva si può avere nel nel mio articolo per la ricorrenza dei 50 anni dei Laboratori Nazionali di Legnaro [6] in cui si ripercorre,almeno in parte, l'evoluzione della fisica dei nuclei in Italia (fig. 7). Né poteva mancare naturalmente il richiamo ai Laboratori Nazionali del Sud che, grazie all'INFN,

hanno dotato la fisica nucleare italiana di un altro Centro Nazionale aperto alla fisica degli ioni pesanti. Vedasi in ref [6] l'articolo di M. Lattuada e D. Vinciguerra.

Sullo sviluppo della Fisica Nucleare val la pena di citare un articolo critico degli anni '80 di A. Molinari: "La fisica nucleare: è terminata la sua costruzione?" (vol. 2, n. 6 (1986) p. 52). La risposta negativa, già implicita, è stata data dai vari corsi specifici in materia tenuti a Varenna, di alcuni dei quali Alfredo ha condiviso con me la direzione. In questo contesto non vanno dimenticate le forti implicazioni della fisica dei nuclei con l'Astrofisica nucleare (vedasi l'ottima rassegna di P. Corvisiero e F. Terrasi, pubblicata sul vol.11, n. 3-4 (1995) p. 34), né il considerevole impatto applicativo come ben illustrato nella rassegna di A. van der Woude (vol. 11, n. 3-4 (1995) p. 75).

A proposito di anniversari non va certo dimenticata la rievocazione di ADA nel cinquantenario della sua entrata in funzione (1961-2011) come ricordato da E. Iarocci [7]. Storicamente, e per parte vissuta, vedasi in ref. [7] l'articolo di C. Bernardini nella Rubrica di "Scienza in Primo Piano", nonché il ricordo diretto di Touschek dal quale estraiamo il famoso disegno sulla "discussione magnetica" riportato nella copertina di quel volume (fig. 8).

E, ancora, i cento anni della storia dei Raggi Cosmici (vol. 28, n. 5-6 (2012) p. 31) che, come sostiene l'autrice, Angela V. Olinto "is a century old mistery" che tuttavia potrebbero, grazie ai recenti sviluppi sperimentali e teorici, essere in via di soluzione.

Una particolare menzione credo meritino i numerosi articoli dedicati a ricorrenze legate a grandi personaggi della fisica. Tra questi: "La figura di Marie Curie a cento anni dalla scoperta del Radio" nella rievocazione, molto umana, che Ugo Amaldi fa di questa straordinaria "donna di cuore dedita al lavoro" nei Percorsi del vol. 14, n. 6 (1998) p. 34 (articolo ripreso dalla Commemorazione tenuta al Convegno Nazionale "Radiazioni in Medicina", Gubbio, settembre 1998) e "Ricordando Pontecorvo" di B. Vergara Caffarelli (vol. 20, n. 2-4 (2004) p. 8) che racconta l'iniziativa omonima, in relazione anche alla produzione di un film dedicato a Bruno in collaborazione con i colleghi di Dubna e con il contributo dell'Associazione "La Limonaia" e in riferimento anche al Convegno tenutosi a Pisa in occasione della cerimonia

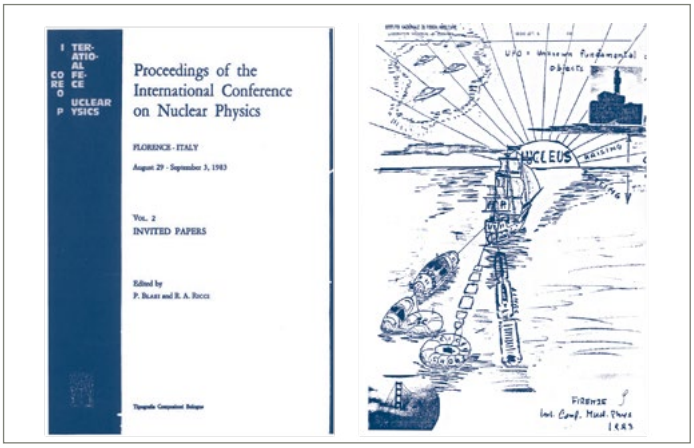


Fig. 7 Sinistra, frontespizio degli Atti della "International Conference on Nuclear Physics", Firenze, 1983; destra, schema dell'avvento delle varie facilities di fisica nucleare trasportate verso l'alba della ricerca di nuove conoscenze. Da fig. 2 di ref. [6].

Fig. 8 Riproduzione del disegno di B. Touschek dall'articolo di C. Bernardini , come riportato nella copertina del fascicolo in cui comparve l'articolo [7].

d'inaugurazione del Largo intitolato appunto a Pontecorvo. (Da notare che la collaborazionbe russa faceva capo soprattutto a Mikhail Sapolzhnikov, con il quale collaborammo per la pubblicazione della prima edizione del libro "B. Pontecorvo, Selected Scientific Works" nel 1997, rieditato e ampliato nel 2012 in occasione del centenario della nascita di Pontecorvo.) Un compendio dei ricordi dedicati a Pontecorvo e della sua avventura di fisico in relazione anche ai rapporti con la fisica e i fisici italiani, si trova nel più recente articolo di A. Bettini e L. Cifarelli "A tribute to Bruno Pontecorvo" pubblicato nel vol. 29, n. 1-2 (2013) p. 51 in occasione appunto del centenario.

Un'altra delle figure presenti spesso nelle pagine del NS, vuoi per i grandissimi meriti scientifici,vuoi per i misteri connessi con la sua scomparsa, è ovviamente quella di Ettore Majorana. Mi limiterò ad accennare a due articoli significativi: quello di E. Recami, una rassegna interessante dei lavori, editi e inediti, di Majorana e quello, più rivolto alla storia della fisica del suo tempo, "Ettore Majorana: Genius and Mistery" di A. Zichichi pubblicato nel 2006, in occasione del centenario della nascita [8]. Per quanto concerne, notizie più generali, rimando agli articoli pubblicati sulle nostre riviste di Edoardo Amaldi e alla bibliografia in essi riportata [9].

Un particolare rilievo ha avuto anche la celebrazione del centenario della nascita nascita di "Beppo" Occhialini nel 2007 che, nel Nuovo Saggiatore, ha trovato importanti riscontri come l'articolo di L. Gariboldi e P. Tucci: "The scientific legacy of Beppo Occhialini" del 2007 (centenario della nascita) e quello precedente del 1997 di A. Zichichi dal titolo ben indicativo "The Beppo particle" [10]. Nell'articolo di Gariboldi e Tucci è anche riprodotta la copertina del volume dedicato a "Beppo (uomo di montagna) edito dalla SIF.

Nel ricordare queste celebrazioni ci riferiamo ovviamente alle pubblicazioni in merito del Nuovo Saggiatore, poiché questa è la filosofia di questa rassegna (filosofia dei "Percorsi"). Non sorprenda dunque qualche lacuna storica o editoriale. Non vorrei tuttavia trascurare, anche perché si tratta di articoli di pregio, di citare gli esempi seguenti: Uno è l'articolo (cito F. Bassani, allora Presidente SIF e Direttore del NS) "che il Prof. Frederick Seitz ha preparato con la collaborazione di due suoi allievi." Chi fossero gli allievi è evidente dai nomi degli autori insieme con Seitz: F. Bassani e G. Chiarotti. L'articolo dal titolo: "Amedeo Avogadro (1776-1856). The remarkable fore-runner of Atomic Chemistry" (vol.23, n. 3-4 (2007), p.32), si riferisce al 150º anniversario della morte di Amedeo Avogadro ricordato al Congresso della SIF a Torino (2006) poiché (cito ancora) "... parve utile ricordare l'importanza del suo ruolo, spesso dimenticato, nello sviluppo della Teoria Atomica". Un altro è il tributo che Raoul Gatto rende a Nicola Cabibbo, entrambi rappresentanti della grande scuola italiana di fisica teorica; si tratta dell'articolo: "Nicola Cabibbo and his role in elementary particle theory"(vol. 26, n. 5-6 (2010), p. 90). È storia recente che vede la fisica italiana privarsi di una figura come quella di Nicola e non c'è bisogno di altri commenti. La fig. 9 ricorda Cabibbo con Occhialini al Convegno di Bologna

Fig. 9 N. Cabibbo e G. Occhialini al convegno "Fifty Years of Weak-Interaction Physics", Bologna, 1984.

del cinquantenario della Teoria di Fermi, già citato, del 1984.

Come ho detto, non posso essere certamente esaustivo, ma non vorrei tralasciare due o tre ulteriori constatazioni. La prima si riferisce al fatto che non vi sono settori della fisica, ma anche altri in un qualche modo connessi con la fisica,che siano trascurati nelle pagine del Nuovo Saggiatore,anche se con minore frequenza e ne citerò alcuni. La seconda è, poiché i fisici non vivono "fuori del mondo" diversi aspetti delle problematiche sociali, filosofiche e di politica culturale sono ben presenti anche nelle pagine editoriali delle notizie societarie. In terzo luogo eventi importanti organizzati dalla SIF stessa sono in generale raccolti in numeri speciali della rivista e ne costituiscono un'archivio della sua presenza culturale. Nel primo caso qualche citazione serve allo scopo: L'interesse per esempio rivolto a settori come l'astrofisica, lo spazio, le diverse innovazioni tecnologiche, l'energia e l'ambiente è presente e ben diffuso nelle pagine del NS. Vedansi ad esempio, nel corso degli anni, articoli, che vanno dalla missione spaziale "Giotto" (e cometa di Halley, v.articolo di P. Maffei) illustrata da C. Batalli-Cosmovici [11].

Facciamo un salto agli anni 2000 e troviamo la Missione Cassini-Huygens che ci racconta di Saturno, dei suoi anelli e satelliti nell'articolo di F. Capaccioni (vol. 24, n. 3-4 (2008) p. 5) e, più in là nell'universo, due atout importanti: l'Osservatorio spaziale GLAST (Gamma-ray Large Area Space Telescope) per lo studio dell'universo ad alta energia, descritto nell'articolo di R. Benazzini e G. Spandre (vol. 23, n. 3-4 (2007) p. 54) e i notevoli risultati ottenuti dal satellite Planck dell'Agenzia Spaziale Europea come riportato nell'articolo di P. De Bernardis e M. Bersanelli (vol. 29, n. 5-6 (2013) p. 25) di cui basterà citare qualche riga della presentazione: "… a coronamento del lavoro di una vasta collaborazione internazionale nell'arco di due decadi (il satellite Planck) ha prodotto recentemente la più dettagliata mappa dell'Universo primordiale mai realizzata". Del resto, il tema appasionante della fisica dell'Universo con tutti i problemi connessi, è presente in divesi modi nel NS (articoli, dibattiti). Un esempio l'eccellente articolo ("Scienza in Primo Piano", vol. 30 n. 3-4 (2014) p. 17) di E. Coccia su questioni recentissime legate all'origine dell'Universo; si tratta della rivelazione, tuttora in discussione, di onde gravitazionali (uso le parole di Coccia che fa una disanima completa delle ricerche in merito) "generate nei primi istanti del Big Bang da parte della collaborazione BICEP2 con il suo telescopio antartico. Risultato "presentato come una fortissima conferma della correttezza della teoria dell'inflazoine cosmica primordiale".

Accennerò ancora, sia pure brevemente, a due tematiche di non minore importanza legate ad argomenti di frontiera e questioni societarie e socio-culturali che coinvolgono la SIF e la sua collocazione internazionale. La SIF ha tradizionalmente trattato e tratta nelle varie rubriche problemi che hanno risvolti se non prettamante politici, almeno di politica della ricerca e di connessioni con il tessuto socio-economico. Di articoli, posizioni e opinioni al riguardo Il Nuovo Saggiatore abbonda e, per fare alcuni esempi basterà indicare le pagine dedicate al problema "Energia, Sviluppo e Ambiente" che, tra l'altro, è il titolo della famosa Conferenza della SIF tenutasi a Roma nel 1987, nel periodo post-Chernobyl di cui sul NS si è trattato a partire dall'editoriale di chi scrive [12] e poi con la pubblicazione della Dichiarazione del Panel (E. Amaldi, F. Amman, N. Cabibbo, C. Castagnoli, D. Palumbo, R.A. Ricci, C. Rubbia, G. Salvini, C. Villi) e della posizione della SIF in materia sottoscritta poi da circa 900 fisici italiani, nonché rapporti (gruppi di Bologna, Milano, Legnaro, Torino, Napoli) [13] del NS relativi a misure di radioattività ambientale a seguito delle emissioni in atmosfera dalla centrale sovietica disastrata. Di altri articoli su tale materia mi sia permesso di citare quello relativo alla relazione da me presentata al Congresso della SIF di Torino 2006 (vol. 22, n. 5-6 (2006), p. 22) dal titolo appunto "Energia, Sviluppo, Ambiente" (Tale triade può considerarsi un Copyright della SIF).

L'argomento Energia è diventato poi un tema di marca della SIF per le varie importanti iniziative riportate sul NS in particolare sotto le Presidenze Bassani e Cifarelli con la pubblicazione del "Libro Bianco", uno studio a cura della SIF dal titolo "Energia in Italia: Problemi e prospettive (1990-2020), e l'istituzione poi, in collaborazione con la EPS, di una "EPS-SIF Joint International School on Energy" che si tiene a Varenna ogni 2 anni, dedicata appunto ai problemi energetici.

Tale problematica è ben sottolineata nell'articolo di compendio di E. De Sanctis: "Energia: una sfida per la fisica del XXI secolo [14]. L'articolo è del 2008 e siamo nel 2015 con alle spalle Fukushima, i problemi del Medio Oriente, lo "shale gas e oil" ma ciò non toglie che il dibattito resti aperto. (cfr. Scuola di Varenna 2014 sull'energia).

Poiché uno degli aspetti legati alla ricerca di grande impatto nel campo dell'energia rimane, malgrado tutto, la fusione nucleare dove l'impegno dei fisici è fondamentale, è chiaro che il NS ha ospitato e ospita contributi rilevanti in materia. Articoli di riferimento,degli anni 90, sono "Il progetto JET; contributi di fisica e di ingegneria per lo sviluppo dell'energia di fusione" di E. Bertolini (vol. 12, n. 5-6 (1996) p. 60) e "Il programma europeo sulla fusione termonucleare nel contesto dell'attività mondiale" di U. Finzi e G. Maisonnier (vol. 15, n. 3-4 (1999) p. 55)). In tema di ricerca ricordiamo che esiste anche

la Fusione Inerziale e che, in materia, è interessante consultare ad esempio l'articolo più recente "HiPER: Un Laser Europeo per studi di Fusione Inerziale" di S. Atzeni, D. Batani, L. A. Gizzi (vol. 23, n. 3-4 (2007) p. 64).

Per ciò che riguarda i problemi societari, un cenno verrà fatto nell'ultimo capitolo.

Vorrei qui soffermarmi brevemente sui cosiddetti "Numeri Speciali" del NS o più propriamente Numeri specializzati in quanto si tratta di fascicoli appartenenti alle serie normali ma dedicati in toto o in parte a eventi o convegni organizzati dalla SIF o di particolare interesse per la nostra Società.

Il primo della serie può essere considerato il vol. 12, n. 3-4 (1996) dedicato alla pubblicazione degli Atti del Convegno "Rischio e Complessità" tenutosi a Milano nel giugno 1995. Tale Convegno è illustrato dalla prefazione degli organizzatori, M. Camatini e E. Sindoni in riferimento a tematiche quali: Uomo e Ambiente; Inquinamento Antropico; Ambiente e Salute; Normativa e Ambiente; Formazione e Ambiente. Notiamo la partecipazione di R. A. Ricci ("Energia Nucleare e problemi ambientali") e di C. Rubbia ("Sulla fattibilità della produzione d'idrogeno mediante reattori a fissione, come sostituto del gas naturale").

Il secondo numero veramente speciale (vol. 14 n. 3-5 (1998)) è "cent'anni", interamente dedicato alla celebrazione del centenario della SIF (1897-1997). Nella copertina è riportata parte del testo della lettera dei promotori della Società. Per brevità si riporta in fig. 10, l'indice, assieme alla copertina, con i vari riferimenti a cerimonie, eventi, rievocazioni storiche, richiami all'evoluzione della fisica e contributi scientifici. In particolare l'evento del centenario è stato caratterizzato dall'incontro con l'allora Presidente della Repubblica, Oscar Luigi Scalfaro (fig. 11) e con il Sindaco di Roma (Francesco Rutelli) in Campidoglio dove si è svolta la Cerimonia inaugurale (Il Congresso del centenario si è tenuto a Como nel settembre 1998).

Seguono i numeri: vol. 16 n. 3-4 (2000) che riporta gli interventi al Convegno Fisica e Industria promosso da Bassani e tenutosi a Milano il 17 marzo 2000; e vol. 17, n. 3-4 (2001) con riferimento alla Giornata dedicata, al tema: "La Fisica e le nuove generazioni" tenutosi a Roma il 25 maggio 2001. Entrambi questi volumi rappresentano l'interesse accresciuto della SIF verso temi di grande attualità e al centro del rapporto

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Egregio Collega,

cent'anni

Italiana di Fisica.

Essa assumerà per organo « Il Nuovo Cimento », l'unico giornale di fisica esistente fra noi; il quale potrà in tal modo acquistare una vita ancora più rigogliosa, e diffondere più prontamente all'interno e all'estero i lavori italiani.

Anno 14 1998 N. 3-5

INDICE

5 PRESENTAZIONE di Renato Angelo Ricci

7 PARTE PRIMA **Celebrazioni del Centenario**

9 RICEVIMENTO AL QUIRINALE, 17 MARZO 1997

27 CERIMONIA INAUGURALE IN CAMPIDOGLIO

33 RICONOSCIMENTI A FISICI ITALIANI

51 PARTE SECONDA **Manifestazioni e Convegni**

53 PISA, 5 Aprile 1997: STORIA E DIDATTICA DELLA FISICA

54 TORINO, 27-28 Giugno 1997: ATRONOMIA E ASTROFISICA IN ITALIA NELLA SECONDA METÀ DEL XX SECOLO

55 COMO, 27-31 Ottobre 1997: LXXXIII CONGRESSO NAZIONALE SIF, CONGRESSO DEL CENTENARIO – Relazione inaugurale del Presidente

61 PARTE TERZA **Immagini Storiche della Fisica Italiana**

63 LA FISICA ITALIANA NEI CENTO ANNI DI VITA DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA di Renato Angelo Ricci

79 LA SCUOLA INTERNAZIONALE DI FISICA -E. FERMI-

90 -PROVANDO E RIPROVANDO- TRA DANTE BOCCACCIO E GALILEO di Aldo Tucciarone

93 I FONDATORI DEL NUOVO CIMENTO

94 CARLO MATTEUCCI DALLA COMMEMORAZIONE DI ANGELO BATTELLI a cura di Carlo Castagnoli

111 RAFFAELE PIRIA, LA SUA VITA E LA SUA CHIMICA di Francesco Cardone

121 LA BATTAGLIA DI CURTATONE E MONTANARA da una rievocazione di Angelo Battelli

123 PARTE QUARTA **Evoluzione della Fisica Moderna**

125 QUARK MIXING di Nicola Cabibbo

129 THE PREDICTION OF HEAVY QUARK FLAVOURS: A PERSONAL RECOLLECTION di Luciano Maiani

139 SEMICONDUCTOR QUANTUM STRUCTURES di Leo Esaki

144 PROBLEMATICHE E STRUMENTI DELL'ASTROFISICA AGLI INIZI DEL 2000 di Riccardo Giacconi

155 OLOGRAFIA DA SORGENTI ATOMICHE di Luciano Fonda

163 DALL'ELETTRODINAMICA ALLA FISICA DEI SEMICONDUTTORI: LE ORIGINI DELL'ETÀ DEL SILICIO di Franco Bassani

172 ENRICO FERMI AND THE EVOLUTION OF NUCLEAR PHYSICS di Renato Angelo Ricci

178 INCONTRO CON GIAMPIETRO PUPPI di Antonio Bertin e Antonio Vitale

Fig. 9 A sinistra la copertina e a destra l'indice del volume "cent'anni",1998.

tra scienza e impresa e scienza e scuola.

Il numero vol. 17, n. 5-6 (2001) è dedicato a Fermi in occasione del centenario della nascita celebrata con un convegno tenutosi a Varenna il 2 luglio 2001, introdotto da F. Bassani e con relatori R. Vergara Caffarelli, C. Bernardini, G. Salvini, S. Sciuti, V. Telegdi, J. Orear, J. Steinberger, R. A. Ricci, T. D. Lee.

Varenna è ancora protagonista del numero "vol. 19, n. 5-6 (2003)", in occasione del 50º anniversario della scuola (1953-2003 Jubilee) celebrato sotto gli auspici del Presidente della Repubblica: Relatori: G.F. Bassani, G. Salvini, R. A. Ricci, N. Cabibbo, E. F. Redish.

Vorrei ricordare che a Varenna si è tenuta, più recentemente (2013) la celebrazione dei 60 anni della Scuola di Varenna, con tanto di taglio di torta (fig. 12) in concomitanza con il Simposio Internazionale "Passion for Physics" (presenti tra gli altri J. Steinberger e C. Rubbia)(vol. 29, n. 3-4 (2013) p. 54).

Un numero pure speciale è il supplemento al n. 5-6 del vol 23 (2007), interamente dedicato a Giampietro Puppi (1917-2006), a cura di S. Bergia, P. Capiluppi, S. Focardi e G. Giacomelli, una figura molto importante della fisica italiana e per la SIF, maestro e scienziato naturalista, alla cui memoria hanno dedicato i loro interventi allievi, colleghi e affettuosi estimatori.

3 Passato e futuro

Con il volume cent'anni termina sostanzialmente, con la Presidenza della SIF, la mia direzione de Il Nuovo Saggiatore. Avrà ancora un'appendice con l'ultimo numero dell'anno 1998 (vol. 14, n. 6 (1998)), in cui il mio editoriale di saluto e il testo del mio discorso inaugurale al Congresso di Salerno, il 22 settembre 1998 sancì il passaggio alla Presidenza di Franco Bassani. Non credo di peccare di presunzione nel richiamare almeno un passo del testo che appare appunto in quel volume accompagnato dalla foto in fig. 13 anche perché costituisce una testimonianza del percorso di continuità e impegno che ha sempre accompagnato, pur con la normale dialettica e il confronto delle opinioni, i fisici italiani nell'assunzione di certe responsabilità di rappresentanza. Eccolo: "Io penso che non sia tanto la forza di un messaggio che conta trasmettere alle nuove generazioni… ma soprattutto un pensiero…che sappia cogliere ciò che si deve dire e far comprendere… e proiettare questo salto

Fig. 11 Incontro con il Presidente della Repubblica On.le Luigi Scalfaro, 17 marzo 1997.

Fig. 12 Taglio della torta per 60 anni della Scuola di Varenna.

Fig. 13 R. A. Ricci con nipote, Salerno, 1998.

generazionale con il quale l'augurio alle nuove, nuovissime generazioni è, più che un augurio, una speranza. Ho colto in questo…qualche cosa che ci dice che quel che di buono abbiamo fatto, forse risalterà anche nel futuro."

È tuttavia qui che in chiusura è doveroso ricordare i due passaggi di direzione della rivista, coincidenti con i passaggi di Presidenza della SIF, con le innovazioni e, tali li ritengo rallegramendomi con i miei successori, i miglioramenti sia di carattere editoriale che di contenuti appropriati e in linea con gli avvenimenti scientifici e politico-culturali. Ciò è avvenuto prima nel 1999, anno d'inizio della pubblicazione online della rivista, e che, come si è visto, ha dato spazio a eventi speciali e dato una maggiore caratterizzazione alla parte societaria (Rubrica Opinioni e Lettere al Direttore). E successivamente nel 2008 con l'impulso impresso dalla direzione di Luisa Cifarelli ben coadiuvata dal direttore editoriale Angela Oleandri e da una staff editoriale che da tempo si dimostra di prim'ordine.

Soprattutto l'impegno a livello europeo evidenziato ne "Il Nostro Mondo" e nelle "News" oltre che nelle rubriche portanti. Un esempio è dato dalle recenti testimonianze in occasione del 40º anniversario della fondazione della "European Physical Society": R. A. Ricci, vol. 24, n. 1-2 (2008) p. 88; A. Di Virgilio, vol. 24, n. 3-4 (2008) p. 89; A. Zichichi, vol. 24, n. 5-6 (2008) p. 77; vedasi anche L. Cifarelli, " The EPS. Historic sites: a series of success stories in Italy and across Europe", vol. 30, n. 1-2 (2014) p. 68). Il che permette di rendere omaggio a un grande Presidente della SIF fondatore e primo Presidente della EPS, Gilberto Bernardini (fig. 14) (cui sono seguiti altri tre presidenti italiani: A. Zichichi, R. A. Ricci e L. Cifarelli).

Non vorrei dimenticare, infine, quanto riportato nel NS in occasione dell'Anno Internazionale della Fisica, WYP2005: R. A. Ricci, "Un anno dedicato alla Fisica" vol. 20, n.1-2 (2004) p.10; E. Predazzi, N. Vittorio, Conferenza inaugurale dell'Anno mondiale della Fisica "Physics: from School to the Job Market", vol. 21, n..3-4 (2005) p. 5; F. Bassani, E. Predazzi, N. Vittorio, "2005, Anno della Fisica in Italia, Cerimonia conclusiva a Villa Mondragone", vol. 22, n.1-2 (2006) p. 5; R. Habel e R.A. Ricci, "Anno mondiale della Fisica: l'avventura continua" vol. 22, n. 3-4 (2006) p. 3. Né sono mancati altri riferimenti di tipo storico e artistico. Vedasi per esempio "Il Risorgimento e i fisici italiani" di M. Leon et al. vol. 27, n. 3-4(2011) p. 30, che può ricollegarsi a temi analoghi nel volume dei cent'anni; e "L'arte aiuta la scienza, la scienza ispira l'arte " di C. Bradaschia, vol. 29, n. 5-6 (2013) p. 73.

Fig. 13 Gilberto Bernardini nell'atto di firmare l'atto costitutivo della EPS.

Fig. 14 Copertina dell'ultimo numero del 2014.

Tutto ciò credo sia molto efficace, senza dimenticare una rubrica a mio parere importante, oggi denominata "In Evidenza" tenuta da Sandro Bettini e che ha preso il testimone dalla lunga serie di "Scelti per Voi" del compianto Sergio Focardi.

Trent'anni dal primo numero del 1985 all'ultimo del 2014 la cui copertina è riportata in fig. 15.

Nel ringraziare pertanto Presidente e Consiglio per l'affettuoso invito a scrivere questa rassegna e la staff editoriale per la collaborazione operativa, in particolare Angela Oleandri per l'assistenza continua, e nel ricordare tutti coloro che, nella veste di Vice-direttori o di membri di vari Comitati di redazione o Consigli scientifici, hanno contribuito in questi trent'anni a fare del Nuovo Saggiatore una bandiera della Società Italiana di Fisica, vorrei chiudere queste pagine con una nota di sano "divertissement": Si tratta del raffinato articolo di A. Rigamonti e A. A.Varlamov (vol. 20, n. 1-2 (2004) p. 54) dal titolo assai gustoso: "Nunc est bibendum: divertissement di fisici atorno a bicchieri di vino" che riporta la prova scientifica che il vino, se usato con intelligenza e moderazione, fa bene. Poiché ciò ha a che fare con il sano spirito conviviale dei fisici e della SIF, e il NS ne è testimone, beviamo dunque alla sua salute.

Buon Trentennale e cento di questi giorni!

Bibliografia

[1] Cfr. "*Gli Editoriali di Renato Angelo Ricci*", da *Il Nuovo Saggiatore* 1985-1997, Società Italiana di Fisica (Editrice Compositori, Bologna) 1999.

[2] A. Bertin, R. A. Ricci, A. Vitale (Editors), "*Fifty Years of Weak-Interaction Physics*", *Società Italiana di Fisica* (Editrice Compositori, Bologna) 1984, si vedano anche le citazioni e le foto pubblicate nel primo numero del NS e in "Cent'anni" numero speciale del NS dedicato ai cento anni della SIF, 14, n. 3-5 (1998).

[3] Vedasi ad esempio: R. Barbieri, *Il Nuovo Saggiatore*, 1, n. 5 (1985) 26; G. Giacomelli, *Il Nuovo Saggiatore*, 10, n. 2 (1994) 16; cfr. anche intervista a A. Zichichi, "*Physics World Millenium Survey*", *Il Nuovo Saggiatore*, 15, n. 3-4 (1999) 3; e l'articolo, antecedente alla scoperta dell'Higgs, di G. Tonelli, "*First physics News from the CMS experiment at the LHC*", *Il Nuovo Saggiatore*, 27, n. 3-4 (2011) 5.

[4] cfr. L. Maiani and R. A. Ricci (Editors) "*The Discovery of Nuclear Antimatter*" in *Conf. Proc.,* SIF, vol. 53 (Editrice Compositori, Bologna) 1996.

[5] M. Casolino, P. Paolini, R. Sparvoli, "*PAMELA: A high precision cosmic-ray observatory in space*", *Il Nuovo Saggiatore*, 25, n.5-6 (2009) 6; e comunicazione di P. G. Picozza e M. Ricci; F. Palmonari, "*Search for cosmic antimatter*", Il Nuovo Saggiatore, 25, n. 1-2 (2009) 13.

[6] R. A. Ricci, "*I 50 anni dei Laboratori di Legnaro: un pezzo di storia della Fisica dei Nuclei in Italia*", *Il Nuovo Saggiatore*, 28, n. 3-4 (2012) 45; v. anche l'articolo di M. Pignanelli "*Spettroscopia Nucleare: il Progetto Euroball* ", *Il Nuovo Saggiatore*, 11, n. 5-6 (1995) 50, che prelude al grande sviluppo della Spettroscopia Gamma in grandi collaborazioni europee, con particolare riguardo alla forte parteciazione italiana facente capo ai LNL. Per i Laboratori del SUD v. M. Lattuada e D. Vinciguerra, *Il Nuovo Saggiatore*, 20, n. 1-2 (2004) 34. Per la fisica degli ioni pesanti v. anche A. Moroni, "*Nuclei caldi e multiframmentazioni; qualche aspetto del complesso mondo delle reazioni nucleari con ioni pesanti*", *Il Nuovo Saggiatore*, 13 n.3 (1997) 5.

[7] E. Iarocci, "*ADA: Il successo di un'idea*", *Il Nuovo Saggiatore*, 27, n. 1-2 (2011) 17. Storicamente vedi anche C. Bernardini, "*Storia dell'Anello ADA*", *Il Nuovo Saggiatore,* 2, n. 6 (1986) 23 e "*Bruno Touschek*", 15, n. 3-4 (1999) 29. Per altri riferimenti ai Laboratori Nazionali di Frascati vedansi E. De Sanctis, "*Il Progetto JET Target su ADONE*", *Il Nuovo Saggiatore*, 6, n. 2 (1990) 47 ; e V. Valente, "*Una nuova macchina per Frascati*", *Il Nuovo Saggiatore*, 6, n. 3 (1990) 18.

[8] E. Recami, "*Ettore Majorana: l'opera scientifica edita e inedita*", *Il Nuovo Saggiatore*, 15, n. 3-4 (1999) 14; A. Zichichi, "*Ettore Majorana: Genius and mistery*", *Il Nuovo Saggiatore*, 22, n. 5-6, (2006) 35, in quest'ultimo articolo si fa riferimento all'evoluzione della fisica moderna in relazione ai contributi di Majorana e ai protagonisti di tale avventura.

[9] E. Amaldi, "*Ettore Majorana,a cinquant'anni dalla sua scomparsa*", *Il Nuovo Saggiatore*, 4, n. 1 (1988) 13 e "*Ricordo di Ettore Majorana*", *Giornale di Fisica,* 9 (1968) 300; e tutta la bibliografia sia scientifica che connessa con le considerazioni extrascientifiche.

[10] L. Gariboldi e P. Tucci, "*The scientific legacy of Beppo Occhialini*", *Il Nuovo Saggiatore*, 23, n. 3-4 (2007) 23; A. Zichichi, "*The Beppo Particle*", *Il Nuovo Saggiatore*, 13, n. 4 (1997) 5.

[11] P. Maffei, "*La cometa di Halley*", *Il Nuovo Saggiatore*, 1, n. 1 (1985) 55; C. Battalli-Cosmovici, "*Giotto,destinazione Cometa di Halley*", *Il Nuovo Saggiatore*, 1, n. 2 (1985) 25 e "*Missione Giotto: un grande successo per la scienza e la tecnologia spaziale europea*", 2, n. 2 (1986) 20; interessante ancheil terzo articolo di Cosmovici "*Prossimo il volo del primo astronauta italiano?*", 1 n. 3 (1985) 19. NOTA: sulle tecniche fotografiche usate per ossevazioni terrestri della cometa vedasi anche V. Formisano, G. Bellucci, G. Agnelli, S. Cristaldi, *Il Nuovo Saggiatore*, 2, n. 1 (1986) 27.

[12] R. A. Ricci "*Effetto Chernobyl*", Editoriale *Il Nuovo Saggiatore*, 2, n. 3 (1986) 3; con annesso l'estratto del rapporto preliminare dell'OMS del 6/5/1986 e la Risoluzione della Camera dei Deputati in merito alla Conferenza Nazionale sull'Energia.

[13] Vedasi F. Casali *et al.*, *Il Nuovo Saggiatore*, 2, n. 4 (1986) 40, E. Bellotti *et al.*, p. 65, S. Galassini *et al.*, p. 71 ; v. anche E. Fiorini *et al., Il Nuovo Saggiatore,* 16, n. 1-2 (2000) 44. A proposito di radioattività e salute e degli effetti a basse dosi vedasi l'intressante articolo recente di E. Fratini e D. Capace, "*Dalle basse dosi al silenzio cosmico*", *Il Nuovo Saggiatore*, 28, n. 5-6 (2008) 23.

[14] E. De Sanctis, "*Energia: una sfida per la fisica del XXI secolo*", *Il Nuovo Saggiatore,* 24, n. 3-4 (2008) 82, v. anche Intervista a Alessandro Clerici: "*Il Nucleare: Non è la soluzione ma fa parte della soluzione ai problemi energetici e ambientali*", *Il Nuovo Saggiatore*, 26, n. 5-6 (2010) 102.

A CLASSIC NEVER GETS OLD

MARCO LISCIDINI[1], J. E. SIPE[2]
[1] *Department of Physics, University of Pavia, Pavia, Italy*
[2] *Department of Physics, University of Toronto, Toronto; Ontario, Canada*

The Einstein relation between stimulated and spontaneous emission can be seen as the origin of quantum optics. Here we show that similar relations can be found in nonlinear optics, starting with the generation of photon pairs by parametric fluorescence. This result offers a new perspective on the physics unifying classical and quantum optics, and it also has important practical consequences. We will show that, by exploiting the relation between spontaneous and stimulated parametric processes, it is possible to characterize quantum correlations in photon pairs with a precision that goes well beyond the state-of-the-art of conventional tomographic approaches.

1 Introduction

The development of quantum mechanics in the first quarter of the twentieth century followed the abysmal failure of classical mechanics to describe the structure of matter, and indeed even its very stability. Quantum mechanics, including its generalizations such as quantum field theory, is in many ways an astounding success. It is arguably our most powerful view of the physical universe, treating phenomena ranging from the Higgs boson to the very biochemistry of life, and providing the foundation of almost all of modern science and technology. Yet a hundred years after its fundamental equations were laid down, controversy still rages as to how quantum mechanics should be understood, and what those equations really tell us about our world.

Early problems, such as why undoubtedly classical objects such as the Moon do not "appear" in superposition of states, each with its centre-of-mass in different positions of the sky (whatever "appear" would mean in this context!) [1], have been resolved. Decoherence theory [2], which addresses the interaction of a quantum system with its unmonitored environment, both explains how classical behavior can apparently arise in quantum systems, and addresses how certain particularly "quantum" features of quantum states can be preserved for application in quantum information processing tasks, if interaction with the environment can be eliminated or controlled [3].

Yet the difficulties facing "consistent history" or "decoherent history" interpretations of quantum mechanics [4] have led some to despair of any foundational importance for these decoherence effects [5]. Even with their inclusion it is not clear how quantum mechanics can be understood to describe what is "really going on" at a microscopic level in the universe, in the way that our predecessors in earlier centuries usually thought of classical mechanics as doing precisely that. Some seek an underlying determinism behind the probabilities of quantum mechanics, such as in Bohm-deBroglie interpretations [6], thinking of quantum mechanics as a kind of statistical theory that can only predict averages over many experiments, a theory in need of a more microscopic underpinning. But from this perspective the constraints imposed by the inequalities of John Bell [7] would seem to demand a disturbing, underlying nonlocality that must be present but that we seem incapable of accessing. Others adopt an operationalist stance, abandoning any attempt to extract from quantum mechanics a view of the microscopic "furniture of the world," but only relegating it to describing tasks in the laboratory [8]. Yet others, following the spirit of Heisenberg and Bohr – as did Landau [9] – argue that, despite the correspondence principle, the relation between quantum mechanics and its presumed limit of classical mechanics is unlike the relation of any covering theory to its approximations, such as special relativity to Newtonian mechanics, in that the very formulation of quantum mechanics requires the concepts of its approximate

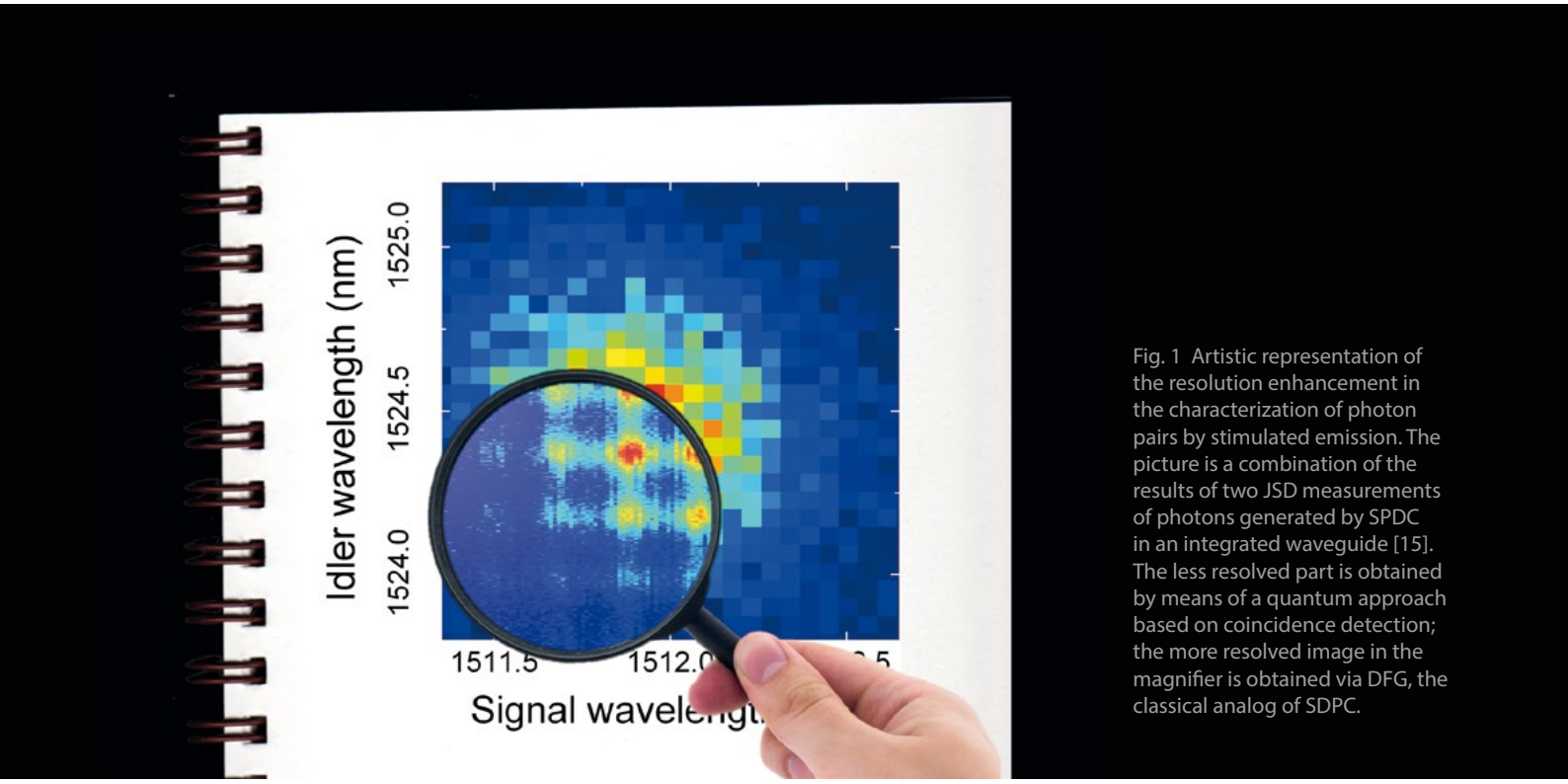


Fig. 1 Artistic representation of the resolution enhancement in the characterization of photon pairs by stimulated emission. The picture is a combination of the results of two JSD measurements of photons generated by SPDC in an integrated waveguide [15]. The less resolved part is obtained by means of a quantum approach based on coincidence detection; the more resolved image in the magnifier is obtained via DFG, the classical analog of SDPC.

limit of classical mechanics. In this view, when we arrive at the divide between classical and quantum, we are in truly foreign territory. The fundamental concepts we use in physics on a day-to-day basis, such as the presumed separation between experimenter and experimental system [10], are in need of modification.

To many, none of these strategies seem satisfactory. The situation is so dire that Steven Weinberg, who in his 1992 book Dreams of a Final Theory [11] wrote "[…] quantum mechanics may survive […] as a precisely valid feature of the final theory," now writes in his 2013 Lectures on Quantum Mechanics [12] that his "[…] own conclusion […] is that today there is no interpretation of quantum mechanics that does not have serious flaws, and that we ought to take seriously the possibility of finding some more satisfactory other theory […]".

At a purely formal level there are of course striking similarities between the equations of classical mechanics and those of quantum mechanics. In particular, the electric and magnetic fields in classical electromagnetism satisfy the same Maxwell equations that the corresponding operators satisfy in quantum electrodynamics. And certain processes such as absorption and stimulated emission, first described by the B coefficients of Einstein, seem to admit of a classical description. In modern parlance, if an atom is taken in a superposition of its ground state and an excited state the expectation value of its dipole moment oscillates in time, and if this classical-like oscillation is coupled to an electromagnetic field in the usual way emission or absorption can result, depending on the relative phase of the dipole moment and the applied field. Classical-like calculations here mirror the results of full quantum calculations. But if the atom is placed in its excited state there is no expectation value of a dipole moment, and classical arguments would suggest it should not radiate. Yet spontaneous emission occurs, first described by Einstein's A coefficient. Different interpretations of quantum mechanics give different descriptions of how this should be understood.

The Roman philosopher and orator Marcus Tullius Cicero famously said that "[…] knowledge of the universe […] would somehow be defective were no practical results to follow" [13]. To this a post-modernist might add: "Confusion about the universe would somehow be defective were no practical results to follow". In this spirit, we should try to put the confusion about quantum mechanics and its relation to classical mechanics to use. Can we take the kind of connection that exists between the classically understood stimulated emission and the apparently characteristically quantum-mechanical process of spontaneous emission – epitomized by the link between the Einstein *B* coefficient for stimulated emission and the *A* coefficient for spontaneous emission – and not just puzzle about how it exists and what it means but somehow get to "practical results"? In this paper we argue that this is possible (see fig. 1).

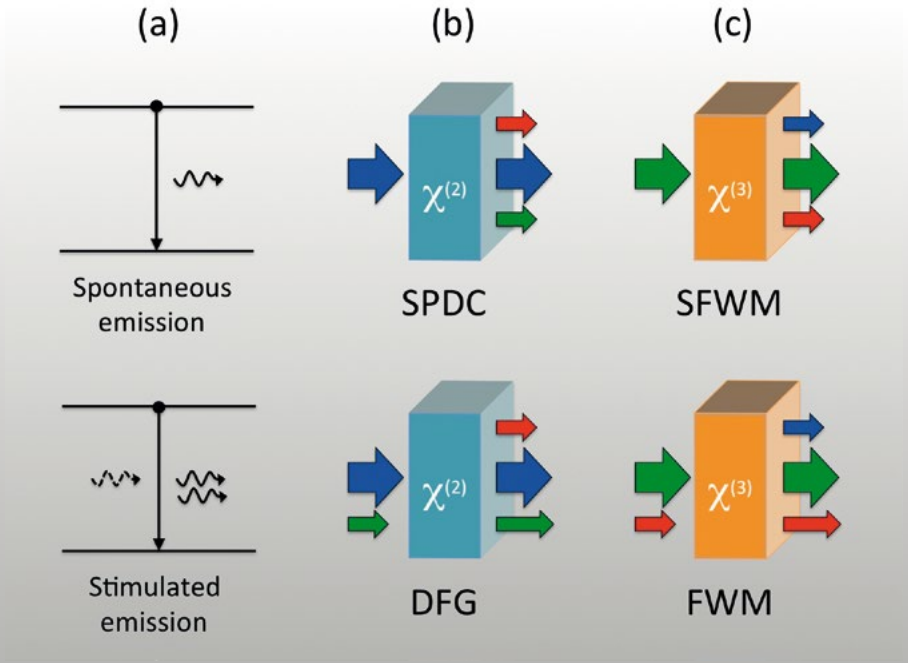


Fig. 2 Schematic of light generation by (a) spontaneous and stimulated emission in a two-level system; (b) spontaneous parametric down-conversion and difference frequency generation in a second-order nonlinear material; (c) spontaneous and stimulated four-wave mixing in a third-order nonlinear material. The processes in the first row can be described only in the framework of a quantum electromagnetic theory, while the processes shown in the second row can also be understood classically.

2 Spontaneous and stimulated emission

It is useful to begin by noting that the same interaction Hamiltonian is involved in stimulated emission and spontaneous emission. If the ground state of the atom is denoted by $|G\rangle$ and the excited state by $|E\rangle$, then the interaction Hamiltonian is

$$(|G\rangle\langle E|)a^{\dagger} + \text{h.c.} \tag{1}$$

The operator $|G\rangle\langle E|$ takes the atom from its excited state to its ground state, and the operator $a^{\dagger}$ creates a photon. Of course, we are being very schematic here. In practice there is a sum over many such terms involving the different radiation modes into which a photon can be emitted, and those terms are multiplied by the appropriate matrix elements. But for this initial discussion, the use of the "cartoon" interaction Hamiltonian (1) will suffice (see fig. 2a). It can lead to a derivation of both the *B* coefficient for stimulated emission and the *A* coefficient for spontaneous emission; the only difference is whether there are any photons originally present or not. Other apparently classical-like and characteristically quantum mechanical processes share the same interaction Hamiltonian, including stimulated and spontaneous Raman scattering.

Two other such examples involve quantum processes associated with the generation of quantum-correlated pairs of photons. The first is spontaneous parametric down conversion (SPDC) (for the readers' convenience a list of all the acronyms used in the text is given in table I). Here in the presence of a nonlinear optical medium a photon of frequency ω_P fissions into two photons, one of frequency ω_S (signal), and one of frequency ω_I (idler), such that $\hbar\omega_P = \hbar\omega_S + \hbar\omega_I$ (see fig. 2b). The interaction Hamiltonian governing this process can be schematically written as

$$a_S^{\dagger} a_I^{\dagger} a_P + \text{h.c.} \tag{2}$$

In the same way that the inherently quantum mechanical process of spontaneous emission has a classical-like "associate", stimulated emission, the inherently quantum

SPDC	Spontaneous Parametric Down Conversion
DFG	Difference Frequency Generation
SFWM	Spontaneous Four-Wave Mixing
FWM	(classical) Four-Wave Mixing
SET	Stimulated Emission Tomography
QST	Quantum State Tomography
JSD	Joint Spectral Density
CW	Continuous Wave

Table I Acronym table.

mechanical process of SPDC has a classical-like "associate", difference frequency generation (DFG), in which light is incident on a nonlinear medium at both ω_P and ω_S and light at $\hbar\omega_I = \hbar\omega_P - \hbar\omega_S$ (and more light at $\hbar\omega_S$) is produced. Both SPDC and DFG are second-order nonlinear processes that share the same interaction Hamiltonian (2); the difference is that for SPDC there is no light originally present at $\hbar\omega_S$, while for DFG there is.

Another example of a quantum process with a classical-like associate is spontaneous four-wave mixing (SFWM). This is a third-order nonlinear process where, in the simplest case, two photons at ω_P react in a nonlinear medium to form photons at different frequencies ω_S and ω_I, with $2\,\hbar\omega_P = \hbar\omega_S + \hbar\omega_I$ (see fig. 2c). Here the interaction Hamiltonian can be schematically written as

$$a_S^\dagger a_I^\dagger a_P a_P + \text{h.c.} \tag{3}$$

Two photons at ω_P are destroyed, and photons at ω_S and ω_I are created. The classical associate of this process is (classical) four-wave mixing (FWM), where light at ω_P and ω_S is injected, and light at ω_I (and more light at ω_S) is produced. Again, both SFWM and FWM share the same interaction Hamiltonian (3); and again the difference is that for SFWM there is no light originally present at ω_S, while for FWM there is.

In all, then, we have identified three quantum processes and their classical "associates", summarized in fig. 2. The processes at the top are inherently quantum mechanical, and require a quantum-mechanical description. The processes at the bottom, although described by the same quantum-mechanical Hamiltonian as those on the top, and which can of course be completely described by quantum mechanics, all admit of a simpler, classical description.

Einstein famously linked spontaneous and stimulated emission by writing down the relation between his *A* and *B* coefficients. Besides its deep fundamental significance, there is a practical importance here: The rate of spontaneous emission can be difficult to measure, in principle requiring (for example) the preparation of an atom (or a quantum dot, or whatever atom-like system is of interest) purely in an excited state, and the ability to detect the photon emitted. Stimulated emission is easier; classical fields can be employed, and single photon detection is not necessary. Einstein's relations allow for the "leveraging" of classical measurements of stimulated emission to deduce what would be measured in an experiment to detect spontaneous emission.

While not necessary in practice for determining spontaneous emission rates, where other strategies are possible, the analogies in fig. 2 suggest that such leveraging might be useful in quantum optics. Both SPDC and SFWM are used to generate pairs of photons of interest in quantum information processing, as we discuss below, but the rates of generation are typically small, and single photon detection is necessary to determine how often the generation occurs. On the other hand, DFG and FWM are classical processes that have been well-studied since the very beginning of nonlinear optics, and were studied in the laboratory long before single-photon detectors were available. If we have a prototype of a device of possible interest as a source for photons to be used in quantum information processing, this suggests that classical experiments could be used to characterize the rate at which quantum correlated photons would be generated in spontaneous experiments, relying on relations between SPDC and DFG – and relations between SFWM and FWM – that would be analogs of Einstein's relations between the *A* and *B* coefficients. Such relations have in fact been derived [14], and it has been shown experimentally that such a characterization of quantum optical devices can indeed be performed classically [15, 16], with the use of ordinary optical detectors that need not be able to respond at the single photon level. So the rate of pair generation in prototype quantum optical devices can indeed be evaluated by simple classical experiments. We give some examples in the sections below.

3 The biphoton wave function

But the analogies between SPDC and SFWM, and their classical associates DFG and FWM respectively, run much deeper. To discuss this more profound relationship we need to recall how the photons that are (or rather might be) generated by SPDC or SFWM can be described. With the two such photons quantum optics associates a "biphoton wave function," $\psi_{\nu\mu}(\boldsymbol{k}_1, \boldsymbol{k}_2)$, and as might be expected for a wave function of two particles, $|\psi_{\nu\mu}(\boldsymbol{k}_1, \boldsymbol{k}_2)|^2\, d\boldsymbol{k}_1, d\boldsymbol{k}_2$ is the probability that photon detection experiments would reveal photon 1 with polarization ν and wave vector within $d\boldsymbol{k}_1$ of $\boldsymbol{k}_1$ (that is, momentum close to $\hbar\boldsymbol{k}_1$), and photon 2 with polarization μ and wave vector within $d\boldsymbol{k}_2$ of $\boldsymbol{k}_2$. In general, only one of these quantities at a time (either of the photons' momenta or their polarizations) are of interest in quantum information processing. So in the simple description we give here we shall omit ν and μ, in the attempt of keeping a manageable notation and avoiding unnecessary complications; they can be imagined to be included in the $\boldsymbol{k}_i$, or indeed the $\boldsymbol{k}_i$ might be taken to refer to the polarization degrees of freedom themselves if only those are important and the momentum degrees of freedom are not.

Since photons are bosons, we have $\psi(\boldsymbol{k}_1, \boldsymbol{k}_2) = \psi(\boldsymbol{k}_2, \boldsymbol{k}_1)$, as one would have in a nonrelativistic theory of bosons, such as perhaps for treating rubidium atoms in an optical trap. An important difference is that for nonrelativistic particles a coordinate representation of the wave function can be

introduced, and is indeed usually introduced first, while for relativistic particles – and the photon is unreservedly relativistic, since it propagates at the speed of light! – the introduction of coordinate representation wave functions involves some subtleties. Nonetheless, the use of momentum representation wave functions, such as the ones we employ here, is unproblematic.

Although there are some nuances that arise and make a more rigorous formulation necessary for actual calculations, we continue to use the language of nonrelativistic (and even distinguishable!) particles for the introductory discussion we give here. Photons in a pair are said to be entangled if it is impossible to write $\psi(\boldsymbol{k}_1, \boldsymbol{k}_2)$ as a product of a function of $\phi(\boldsymbol{k}_1)$ and a function of $\phi(\boldsymbol{k}_2)$. That is, $\psi(\boldsymbol{k}_1, \boldsymbol{k}_2)$ is an entangled state if

$$\psi(\boldsymbol{k}_1, \boldsymbol{k}_2) \neq \phi(\boldsymbol{k}_1)\,\phi(\boldsymbol{k}_2) \tag{4}$$

for any ϕ. Photons that are part of an "entangled" pair do not have a "state of their own" it is only possible to talk about the state of the pair of photons, even if they become separated from each other by a vast distance. On the one hand, this entanglement serves as a resource in quantum information processing, allowing for the performance of tasks that would be impossible were only unentangled states available. On the other hand, unentangled pairs of photons have their use as well, in particular for the processing of heralding. If photons are unentangled and one is detected, the state of the other is known precisely, and the detection of one photon provides a herald of the presence of the other in a well-defined state; this resource can be advantageous for some applications of single-photon states.

4 Stimulated emission tomography

In any of the above-mentioned cases, the determination of the biphoton wave function of a pair of photons generated is obviously an important task in the characterization of any prototypical quantum optical device. A strategy of *quantum tomography* has been developed [14] to do this. Since the biphoton wave function itself (and not just $|\psi(\boldsymbol{k}_1, \boldsymbol{k}_2)|^2$) is desired, usually a whole set of experiments is involved, and the use of single-photon detectors is necessary. With the less-than-ideal efficiency of these detectors, and the typical low generation rate of pairs of photons in SPDC and SFWM, for sufficiently resolved biphoton wave functions this can sometimes require times longer than available before the ubiquitous drift that occurs in the laboratory equipment makes additional data collecting useless.

Can the quantum/classical links illustrated in fig. 2 be of use? Could we do classical experiments to extract biphoton wave functions that would be generated in spontaneous experiments? The answer is yes.

When SPDC (or SFWM) is to be employed, the interaction Hamiltonian describing the nonlinear phenomena act (initially) on a state with a large number of photons present in the pump pulse, but there are no photons in the signal or idler modes; typically there is a small probability that a pair of photons, described by the biphoton wave function $\psi(\boldsymbol{k}, \boldsymbol{k}')$ is generated. Actually, a classical-like pump field is almost always used, which is not an eigenstate of photon number but rather a state with a well-defined expectation value of the electric field, and can be thought of as an eigenstate of a_P; this is a "coherent state" and, although again there are some nuances, this can be thought of as the output of a laser.

To employ the analogies shown in fig. 2, consider a different experiment: Use the pump pulse that would be of interest in a spontaneous experiment, but in addition inject classical light with a well-defined $\boldsymbol{k}'$ and amplitude $\beta_{k'}$ into the device. This will stimulate light with different $\boldsymbol{k}$ and amplitude β_k, which can be calculated following the same quantum mechanical treatment as [14]

$$\beta_k = \sqrt{2}\gamma \int d\boldsymbol{k}'\psi(\boldsymbol{k}, \boldsymbol{k}')\,\beta^*_{k'}\,, \tag{5}$$

with $\psi(\boldsymbol{k}, \boldsymbol{k}')$ the biphoton wave function describing the pairs that would be generated by SPDC (or SFWM). For a realistic pump pulse and a reasonably strong classical field at $\boldsymbol{k}'$, the light generated at $\boldsymbol{k}$ (and indeed, generally over a wide range of $\boldsymbol{k}$) will actually be classical as well, again in the language of quantum optics a "coherent state." And in fact a good student of classical nonlinear optics without any background in quantum mechanics could easily calculate this result, as quantum mechanics is not required, for this corresponds to the case of DFG (or FWM). Yet another student, one familiar with quantum optics, could point out that the response of classical light generated by the pump and the injected light, and calculated completely classically, *could* be related by means of (5) to the biphoton wave function that describing the quantum correlated photons that *would instead* be generated in the spontaneous experiment with no stimulation.

Hence by doing a range of stimulated experiments, all with the pump pulse of interest in the spontaneous experiment and measuring the generated light, one can perform a kind of "virtual tomography" of the biphoton wave function $\psi(\boldsymbol{k}, \boldsymbol{k}')$. We have called this "stimulated emission tomography" (SET) [14], and it has now been performed in a number of experiments [15, 16, 17]. Importantly, SET can be implemented completely in the classical domain, without the need for single-photon detectors, where the characterization of the biphoton wave functions that would be produced in

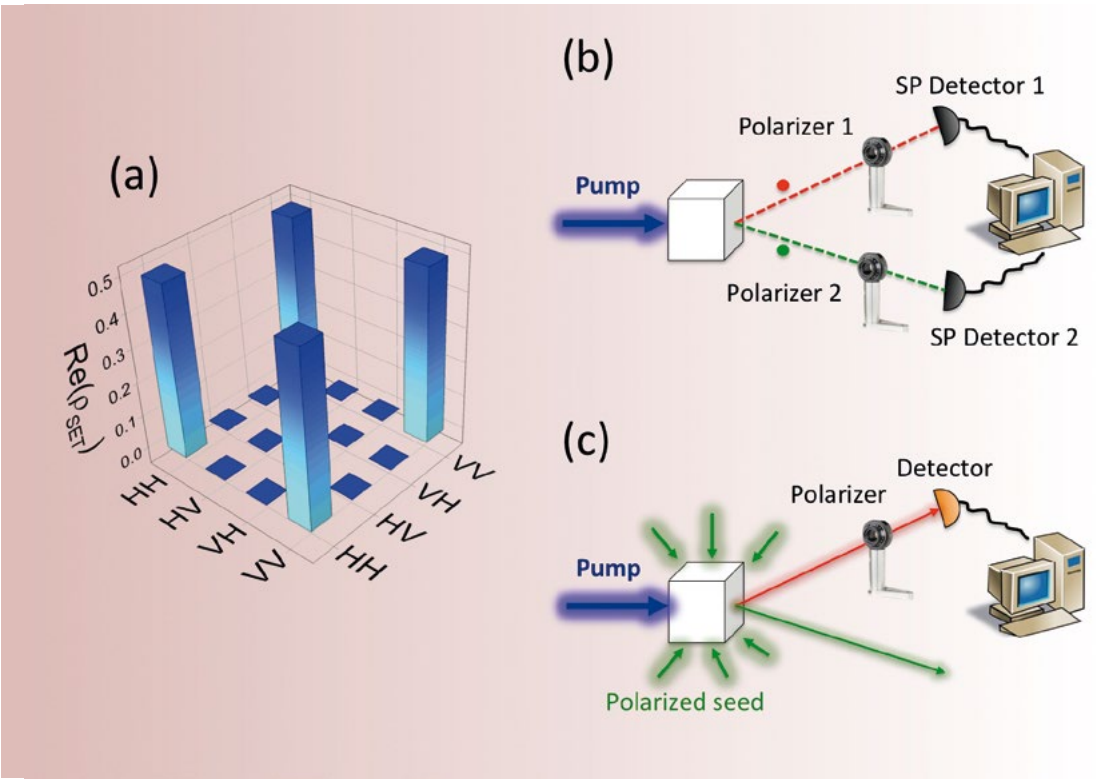


Fig. 3 (a) Real part of the density matrix of the entangled state; (b) scheme of the apparatus to perform polarization quantum state tomography based on coincidence measurements; (c) scheme of the apparatus for stimulated emission tomography.

the quantum regime can be done at unprecedented levels of precision. Thus, the analogies identified in fig. 2 can be used not only to identify the rates of spontaneous processes by means of their classical associates, but also quantum details of those processes as well. We illustrate this in the following section.

And so, despite the confusion in understanding how quantum mechanics reduces to classical mechanics – indeed some would claim that talking about such a reduction is itself nonsense, perhaps adding to the confusion! – the connections between classical mechanics and quantum mechanics, and in particular between classical nonlinear optics and quantum nonlinear optics, can be put to good use. In part motivated by this confusion, and an attempt to make something useful out of what is not yet understood, we see that classical nonlinear optics can be used to give us both a new perspective on fundamental processes of quantum nonlinear optics, and a new strategy to characterize those processes so they can be put to use in quantum information processing.

5 Examples and experimental results

In the study of two-photon states, light polarization is arguably the most studied quantity. One restricts the analysis of the biphoton wave function to the polarization Hilbert space, where each photon can be viewed as a two-level quantum-mechanical system, with the two levels corresponding to the polarization degrees of freedom. In this case, the relevant part of the biphoton wave function $\psi(\nu, \mu)$ depends only on discrete variables with ν and μ indicating the photons' polarization. This is analogous to the state of an electron pair in a magnetic field, with the spin taking the role of the polarization.

A generic quantum system can also be described by means of a matrix ρ (called the density matrix), which can be used to calculate the expectation value of any observable. In the case of two-level bipartite state a convenient basis for the representation of ρ is $\{|VV\rangle, |VH\rangle, |HV\rangle, |HH\rangle\}$ with V, H indicating, respectively, the vertical or horizontal polarization of each photon in the pair. Thus for this system we deal with a 4×4 complex matrix, but in fact there are only 15 independent real parameters. In fig. 3a we plot the real part of such a matrix for an entangled state. This kind of bipartite state is the basis of the development of several quantum computation and communication protocols.

Clearly, the determination of the density matrix is crucial in any of the above-mentioned applications, and a common experiment to do this is quantum state tomography (QST), in which one analyzes the state of a large ensemble of identical photon pairs by means of a coincidence experiment with an independent polarizer placed in front of each single photon detector (see fig. 3b). Varying the polarizers' configuration over an opportune set allows one to obtain the 15 independent measurements that are necessary to extract the elements of the density matrix. Thus, in QST the qubit is studied by following a statistical approach, where the density matrix is derived in the limit of a large number of collected

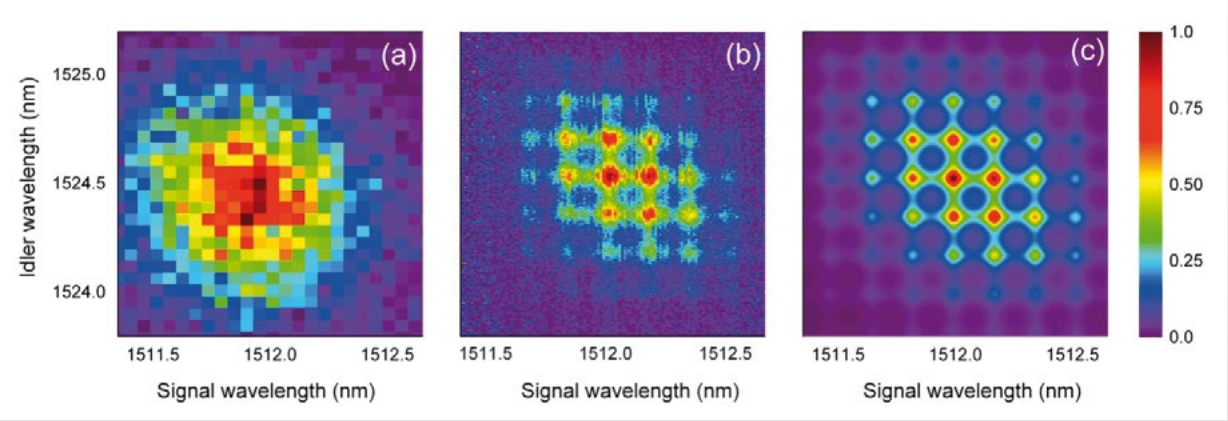


Fig. 4 (a) Experimental JSD obtained by SPDC-based measurements; (b) experimental JSD obtained by DFG-based measurements; (c) calculation of the SPDC photon pairs' JSD generated by the device under study. Reproduced with permission from Eckstein *et al.*, [18], ©2014, OSA.

events. Naturally, the accuracy of the result depends on the pair generation rate and the collection efficiency of the experimental apparatus.

In the previous section, we have seen that another approach is possible. Indeed, when the photon pairs are generated by SPDC (or SFWM) one can study their properties by exploiting either DFG (or FWM). In a polarization SET experiment a strong (classical) seed beam is input into the signal mode to stimulate the generation of an (classical) idler beam (see fig. 3c). By changing the polarization of the seed beam and measuring the polarization of the stimulated idler beam, one can obtain the number of pairs that would be detected in the corresponding QST experiment, and construct the density matrix of the state. Thus, one can use a classical experiment to investigate the quantum properties – such as entanglement – of the photons that would be generated through the spontaneous process. This has been demonstrated analytically [14] and verified experimentally [17].

Although the most studied quantum correlations of photon pairs are those involving their polarization, other correlations, such as those involving energy or momentum, are also important in quantum information applications. For such correlations the analysis of the systems is not simple, for energy and momentum are continuous variables, and we are no longer dealing with simple two-level systems. The experimental determination of the biphoton wave function $\psi(\boldsymbol{k}_1, \boldsymbol{k}_2)$, where $\boldsymbol{k}_1$ and $\boldsymbol{k}_2$ range continuously over all wave vectors, is then extremely challenging, and a statistical approach based on coincidence counting can result unpractical when high spectral resolution is required. For those studying such wave functions, the aim of most experiments has been simply the determination of the joint spectral density (JSD), which is the square of the biphoton wave function (*i.e.* $|\psi(\boldsymbol{k}_1, \boldsymbol{k}_2)|^2$), rather than the complete biphoton wave function.

Very recently, Professor Sara Ducci and her research group at the University of Paris Diderot have demonstrated that the JSD describing a photon pair that would be generated by SPDC in an AlGaAs ridge waveguide can be measured with unprecedented spectral resolution by exploiting DFG [15]. In fig. 4 we show these results, where the JSD obtained in a coincidence experiment is compared with that resulting from the stimulated process of DFG. In a first experiment, photon pairs are generated by SPDC one photon pair at a time, and they are collected and analyzed through a fiber spectrometer: when a signal and an idler photon originating from the same trigger pulse are revealed by the single-photon detectors, the corresponding pair of signal/idler arrival times is recorded. This arrival time depends on the optical properties of the fiber, which are different for different photon energies, so it is possible to retrieve the information about the energies of the two photons and reconstruct the JSD. In a second experiment the JSD is obtained using a DFG-based technique: one collects and analyzes the idler spectrum generated, under the same pumping condition, by sweeping a continuous wave (CW) seed beam over the signal bandwidth of the spontaneous process. From eq. (5) it follows that each idler spectrum is proportional to the slice of the JSD corresponding to the pairs that would be generated by SDPC with the signal photon having the wavelength of the CW seed.

The JSD obtained by SPDC is shown in fig. 4a. This is one of the most resolved measurements of this kind ever

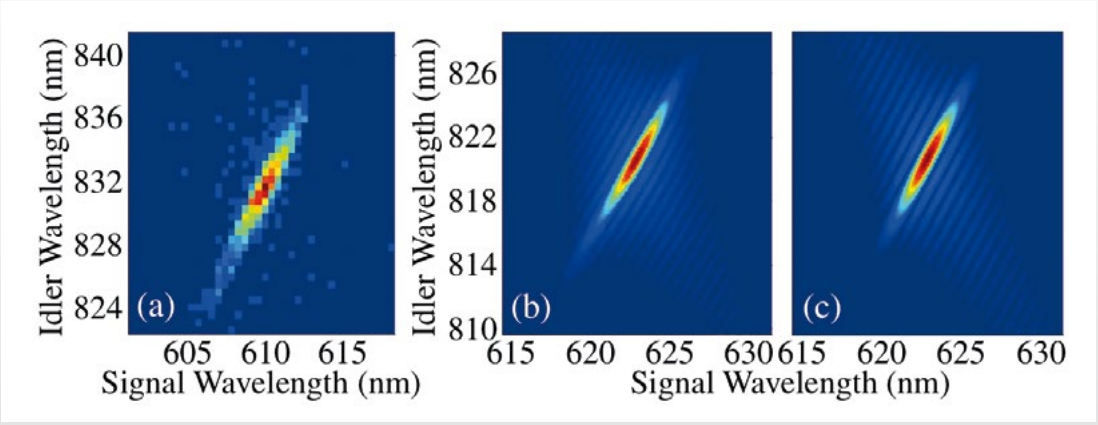


Fig. 5 (a) JSD measured by coincidence counting, provided by Smith *et al.* Opt. Express 17, 23589 (2009). (b) JSD measured by stimulated four-wave mixing, (c) numerical calculation of the JSD. Note the high resolution and low noise in (b) compared with (a). Also note that the measurements in (a) are taken for a fiber different from the one in (b), resulting in a generally different JSD. Reproduced with permission from Fang *et al.*, [16], ©2014, OSA.

reported in the literature! For the experts, the resolution is $\Delta\lambda_{SPDC} = 224$ pm, essentially limited by the temporal jitter of a single photon detection signal relative to the pump trigger signal. In fig. 4b we show the JSD obtained by stimulated emission. Here, the resolution is $\Delta\lambda_{DFG} = 20$ pm, limited only by the accuracy of the seed wavelength and the resolution of the optical spectrum analyzer. Finally, in fig. 4c, we show the calculation of the expected JSD. A visual comparison between fig. 4a and fig. 4c shows that the traditional quantum coincidence experiment is unable to satisfactory resolved the generated state due to a lack of resolution. Yet the result of the stimulated process shown in fig. 4b reveals features of the JSD that, although theoretically predicted years ago, have never been observed before. In particular, the characteristic grid pattern is the result of the modification of the vacuum energy fluctuations by the high index mismatch at the waveguide facets, which creates Fabry-Pérot interferences for both signal and idler modes. Thus, the final two-photon spectrum is shaped by the characteristic transmission functions of the signal and idler cavities. Not only do these results confirm that a classical experiment can be used to characterize a source of photon pairs, but they show that the classical approach does it better, opening the way to a new generation of experiments to explore hitherto unstudied aspects of nonclassical states of light.

The last example we want to discuss deals with the generation of photon pairs by SFWM in optical fibers. Clearly the generation, control, and manipulation of non-classical light in these systems is particularly relevant in the view of the development of secure quantum communication protocols operating in fibers, which are already an important part of our communication infrastructure. Professor Virginia Lorentz and her group at the University of Delaware have demonstrated the possibility of exploiting stimulated emission to measure the JSD of photon pairs generated in birefringent optical fibers. This result confirms that the relation between spontaneous and stimulated parametric emission is very general, and holds also for a third-order nonlinear phenomena.

In fig. 5 we show the JSD measured by coincidence in a fiber spectrometer and that obtained exploiting the classical "associate" of the spontaneous process (SFWM), stimulated four-wave mixing [16]. Finally, we also show the expected theoretical result. There are essentially two features that make fig. 5b quite remarkable: First there is the high level of details of the image, which is almost identical to the one predicted by the theory; second, the whole stimulated measurement has been performed in less than 10 minutes, rather than the more usual time of hours necessary in the coincidence measurements of spontaneous process, where the generation rate of photon pairs is usually pretty low. The ability to quickly determine JSDs with high resolution is of great help as an experimental feed-back for the efficient design and control of structures to produce quantum correlated photons with the desired properties.

6 Conclusions

The United Nation General Assembly has proclaimed 2015 the International Year of Light and Light-based Technologies to raise "the global awareness about how light-based technologies promote sustainable development and provide solutions to global challenges in energy, education, agriculture and health", recognizing that "Light plays a vital

role in our daily lives and is an imperative cross-cutting discipline of science in the 21st century".

In these few pages we have tried to illustrate how light is also central to the study of physics, and crucial for understanding the deep relation between classical and quantum mechanics. Light has been already a powerful tool for demonstrating and studying many of the theoretical concepts developed in the first part of the last century. Some of these concepts are now finding technological applications, promising revolutions in the fields of communication and computation.

Quantum linear and nonlinear optics would provide the foundation for such revolutions. Yet we have shown that the deep connection between stimulated (classical) and spontaneous (quantum) processes can itself lead to important practical results. More importantly, this relation points out that the know-how of classical nonlinear optics, gained over more than half a century, can be a guide to understanding new and old phenomena in quantum optics, demonstrating that indeed a classic never gets old!

References

[1] D. Wick, "*The Infamous Boundary*" (Copernicus, Springer-Verlag, New York) 1995.
[2] D. Guilini, E. Joos, C. Kiefer, J. Kupsch, I.-O. Stamatescu, and H.D. Zeh, "*Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory*" (Springer, Berlin) 1996.
[3] M.A. Nielsen and I.L. Chuang, "*Quantum Computation and Quantum Information*" (Cambridge University Press, Cambridge) 2000.
[4] R.B. Griffiths, "*Consistent Quantum Theory*" (Cambridge University Press, Cambridge) 2002.
[5] L. Smolin, "*Three Roads to Quantum Gravity*" (Basic Books, New York) 2001.
[6] P.R. Holland, "*The Quantum Theory of Motion*" (Cambridge University Press, Cambridge) 1995.
[7] J. Bell, "*Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*" (Cambridge University Press, Cambridge) 1987.
[8] A. Peres, "*Quantum Theory: Concepts and Methods*" (Kluwer Academic Publishers, New York) 1998.
[9] L.D. Landau and E.M. Lifshitz, "*Quantum Mechanics (Nonrelativistic Theory)*", Third revised edition (Elsevier Ltd., Oxford) reprinted 2005.
[10] H.J. Folse, "*The Philosophy of Neils Bohr*" (North-Holland, Amsterdam) 1985.
[11] S. Weinberg, "*Dreams of a Final Theory*" (Pantheon Books, New York) 1992.
[12] S. Weinberg, "*Lectures on Quantum Mechanics*" (Cambridge University Press, Cambridge) 2013.
[13] Marcus Tullius Cicero, "*De Officiis*", I, 153. `http://www.thelatinlibrary.com/cicero/off1.shtml`
[14] M. Liscidini and J.E. Sipe, "*Stimulated Emission Tomography*", *Phys. Rev. Lett.*, 111 (2013) 193602.
[15] A. Eckstein, G. Boucher, A. Lemaıtre, P. Filloux, I. Favero, G. Leo, J. E. Sipe, M. Liscidini, S. Ducci, "*High-resolution characterisation of two photon states*", *Laser Photon. Rev.*, 8, (2014) L76.
[16] B. Fang, O. Cohen, M. Liscidini, J.E. Sipe, and V. Lorenz, "*Fast and highly-resolved capture of the joint spectral density of photon pairs*", Optica 1 (2014) 2334.
[17] M. Liscidini, L.A. Rozema, C. Wang, D. Mahler, A. Hayat, A.M. Steinberg, and J.E. Sipe, CLEO: QELS_Fundamental Science (CLEO-QELS) 2014 paper: FTh4A.8
[18] A. Eckstein, G. Boucher, A. Lemaıtre, P. Filloux, I. Favero, G. Leo, J. E. Sipe, M. Liscidini, S. Ducci, CLEO: QELS_Fundamental Science (CLEO-QELS) 2014 paper: FTh4A.2
[19] B.J. Smith, P. Mahon, O. Cohen, J. S. Lundeen and I. A. Walsmsley "*Photon pair generation in birefringent optical fibers*", *Opt. Express,* 19 (2009) 23589.

Marco Liscidini

Marco Liscidini received the PhD degree in Physics from the University of Pavia (Italy) 2006, working in the group of Prof. Lucio Andreani, with a dissertation entitled "Nonlinear optical properties of planar microcavities and photonic crystal slabs". From 2007 to 2009, he was Postdoctoral Fellow in the group of Prof. J. E. Sipe at the Department of Physics of the University of Toronto, Canada. He is currently tenure-track Assistant Professor at the Department of Physics of the University of Pavia. Since October 2011 he is Professor of Photonics. His research activity is focused on the theoretical study and modeling of the light-matter interaction in micro and nano-structures. He works in several areas of photonics, including classical and quantum nonlinear optics, spontaneous emission, plasmon and QW-exciton polaritons, optical sensing and bio-sensing, and photovoltaic effects. His theoretical research activity is in strong collaboration with experimental groups and in the framework of national, European, and Canadian research programs.

J. E. Sipe

John E. Sipe is a Professor in the Department of Physics at the University of Toronto, where he received his PhD. He is a theorist who works on problems in optical and condensed matter physics. His current research focuses on optical properties of ring resonators and other artificially structured materials, and their use in quantum and nonlinear optics; coherent control and transport of carriers, spins, currents, and spin currents in bulk and nanostructure semiconductors; application of structures with optical resonances to problems in biosensing; foundational problems in quantum mechanics. He is a Fellow of the American Physical Society, the Optical Society of America, and the Royal Society of Canada.

CAMERE A PIANI RESISTIVI: RIVELATORI PER LA SCIENZA, RIVELATORI PER LA VITA

MARCELLO ABBRESCIA
Dipartimento Interateneo di Fisica, INFN Sezione di Bari, Bari, Italia

Nel luglio 2012 le collaborazione ATLAS e CMS hanno annunciato la scoperta del bosone di Higgs, la particella forse più cercata dell'ultimo secolo. Questa scoperta non sarebbe stata possibile senza sofisticati rivelatori in grado di individuare gli elusivi prodotti del suo decadimento. Tra questi rivelatori, le Camere a Piani Resistivi (RPC, dal loro acronimo in inglese) hanno giocato un ruolo di primo piano; si tratta di oggetti che hanno visto la nascita ed il loro sviluppo in Italia e che poi sono stati esportati in tutto il mondo. Il loro ruolo non si ferma all'ambito della fisica delle alte energie: gli RPC sono usati in esperimenti innovativi e con forti connotazioni di outreach, come il progetto Extreme Energy Events, e in applicazioni per la sicurezza, di tipo medico o ambientalistico. E adesso una nuova generazione di RPC per la fase ad alta luminosità del Large Hadron Collider è già all'orizzonte.

1 Le ragioni di un successo

È difficile descrivere l'entusiasmo, l'eccitazione, la pura felicità che si respiravano nei laboratori di tutto il mondo quando, il 4 luglio del 2012, veniva annunciata la scoperta del bosone di Higgs, sicuramente la particella più cercata negli ultimi cento anni. Tale scoperta è stata resa possibile da un'eccezionale collaborazione fra migliaia tra fisici, ingegneri e tecnici che nell'arco di quasi venti anni hanno realizzato la macchina acceleratrice più complessa al mondo, il Large Hadron Collider (LHC) al CERN di Ginevra, e i rivelatori di particelle in grado studiare con efficacia le collisioni incredibilmente complesse che avvengono al suo interno (fig. 1).

Di fatto, i progressi nel campo della fisica delle particelle sono sempre andati di pari passo con quelli compiuti studiando e sviluppando rivelatori capaci di scoprire e misurare le proprietà di questi oggetti microscopici via via con maggiore efficacia e precisione. Esistono molti tipi di rivelatori, e normalmente esperimenti complessi come quelli ad LHC sono una combinazione di rivelatori con diverse caratteristiche, ciascuno dedicato ad un compito particolare. Attorno alla regione di interazione – nel caso di LHC si tratta di collisioni tra protoni – vi sono i rivelatori di vertice a stato solido, caratterizzati da una grande precisione spaziale nel tracciamento delle particelle, anche quando la densità di tracce è molto elevata. Poi i calorimetri elettromagnetici ed adronici, che hanno la funzione di misurare energia e posizione di particelle leggere, come elettroni e fotoni i primi, o, appunto, adroni, come protoni, neutroni, pioni, particelle K i secondi. All'esterno vi sono i sistemi di rivelazione per le uniche particelle che attraversano quasi indenni il tracciatore centrale e i due calorimetri, cioè i muoni che, grazie alla loro relativa facilità di individuazione ed al fatto che sono presenti in molti canali importanti di decadimento, rappresentano un efficace mezzo per lo studio di particelle altrimenti difficili da investigare.

Sia in ATLAS che in CMS, le Camere a Piani Resistivi (RPC dall'acronimo della loro denominazione in inglese, e cioè Resistive Plate Chamber) hanno giocato un ruolo di primo piano, proprio perché hanno avuto il delicato compito di fornire il segnale di trigger per i muoni, aiutando ad individuare quelle poche collisioni – tra parecchi miliardi – in cui era avvenuta la produzione di un bosone di Higgs ed il suo successivo decadimento. I sistemi per i muoni

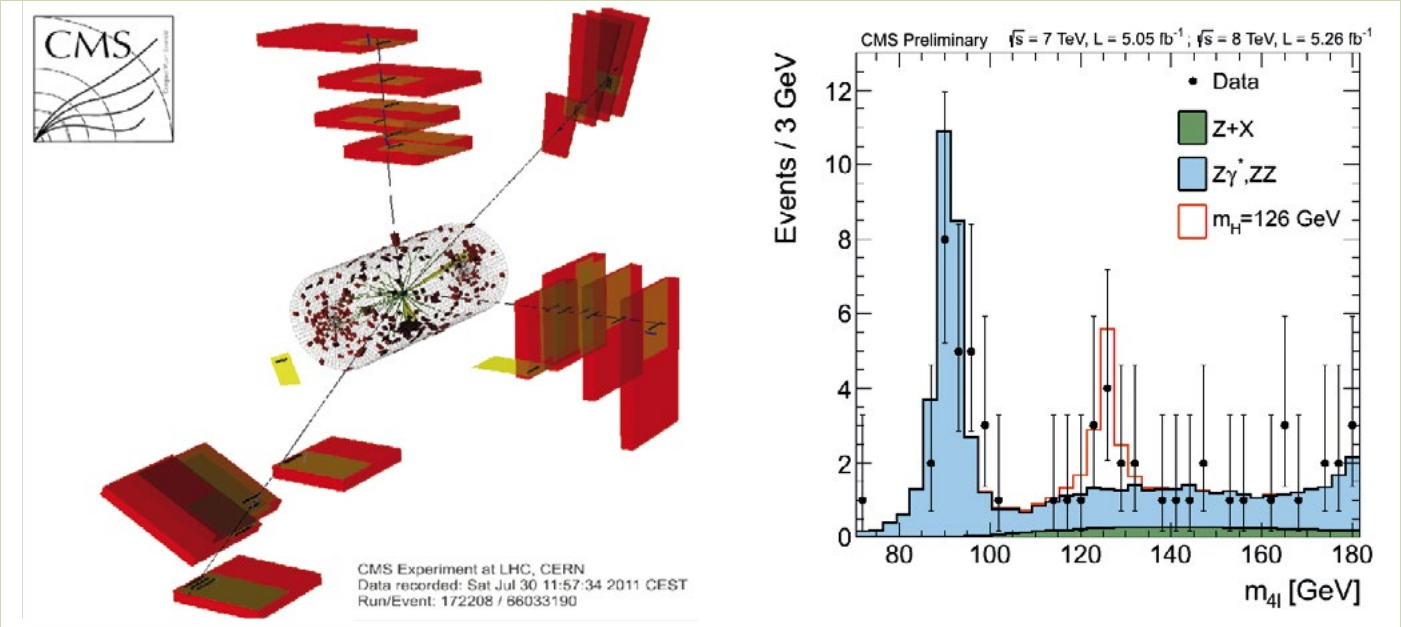


Fig. 1 A sinistra: Un evento registrato dall'esperimento CMS ad LHC. Dalla regione di collisione provengono quattro muoni che vengono rivelati dal sistema degli RPC, messi in evidenza in questa ricostruzione al computer dell'evento. Eventi di questo genere hanno portato alla scoperta del bosone di Higgs. A destra, plot della massa invariante ZZ → 4 leptoni, con una chiara evidenza della presenza della nuova particella, indicata dal picco in rosso attorno ad una massa di circa 125 GeV. (Fonte: CMS collaboration).

degli esperimenti LHC coprono migliaia di metri quadrati di superficie sensibile, e per la loro realizzazione è stato fondamentale mettere assieme idee, competenze e strutture sparse in diverse nazioni, in uno sforzo collaborativo coordinato che ha rappresentato l'elemento vincente per conseguire questo eccezionale risultato.

2 Le idee di base: la lunga storia degli RPC

I rivelatori a gas – e quindi anche gli RPC – si basano tutti sul fenomeno di ionizzazione che avviene quando una particella carica attraversa uno strato di una miscela opportuna di gas, e sulla successiva amplificazione del segnale se nel gas è presente un campo elettrico sufficientemente intenso. Dal punto di vista storico, i primi rivelatori a gas erano basati su una geometria cilindrica, in cui gli elettroni di ionizzazione venivano raccolti da un filo centrale, nei pressi del quale si verificavano fenomeni di moltiplicazione a valanga. Si tratta di una famiglia di rivelatori sviluppata all'inizio del '900 che ha avuto estremo successo, ed è usata tutt'ora, ed infatti ancora adesso nei sistemi a muoni di tutti gli esperimenti ad LHC vi sono rivelatori a gas basati su geometria cilindrica.

Gli RPC, tuttavia, sono rivelatori basati su una geometria planare, e rivelatori di questo genere sono stati sviluppati relativamente tardi, attorno alla fine degli anni '40: i primi oggetti di questi tipo di cui lo scrivente è a conoscenza sono le camere a piani paralleli sviluppate da Keuffel [1], e subito dopo quelle di Madanski e Pidd [2]. In seguito ricercatori italiani, tra cui Conversi, Franzinetti e Bella, furono molto attivi in questo campo realizzando interessanti applicazioni del concetto base [3].

La differenza principale tra un rivelatore con un filo centrale ed un rivelatore a geometria planare è che nel primo caso il campo elettrico diminuisce in maniera inversamente proporzionale alla distanza dal filo centrale, mentre nell'altro questo è uniforme. Quando il campo elettrico è sufficientemente intenso ($> 10^6$ V/m, intendendo questo valore come ordine di grandezza, che dipende essenzialmente dal tipo di gas usato), nel gas avvengono fenomeni di ionizzazione a valanga, cioè gli elettroni delle coppie primarie possono acquisire abbastanza energia da ionizzare a loro volta altri atomi o molecole del gas, e così via, in un processo, appunto, a valanga. Quindi la conseguenza è che se i fenomeni di moltiplicazione in un rivelatore a filo centrale possono avvenire solo a distanze molto piccole dal filo stesso (perché il campo elettrico altrimenti è sotto soglia), nell'altro caso tutto il volume a disposizione è utile per la moltiplicazione.

Questo fatto ha una conseguenza importante: in un rivelatore a filo centrale la ionizzazione primaria può essere prodotta in un punto qualsiasi del rivelatore, e quindi la sua risoluzione temporale è essenzialmente limitata dalle fluttuazioni del tempo di deriva necessario agli elettroni

primari per muoversi dal punto di ionizzazione alla piccola regione in cui avvengono processi a valanga attorno al filo. Viceversa, in una geometria planare un evento di ionizzazione primaria dà origine ad una valanga, in media, entro la prima lunghezza di libero cammino medio, e ciò riduce drasticamente l'incertezza dovuta alle fluttuazioni sul tempo di deriva sopra brevemente descritte. In altre parole, rivelatori a geometria piana sono gli unici nella famiglia di rivelatori a gas, a poter raggiungere risoluzioni temporali migliori del nanosecondo; il record in questo campo è detenuto da un RPC a multi-gap, con una risoluzione attorno ai 35 ps!

Dal punto di vista storico, la necessità di sviluppare rivelatori a gas con risoluzione temporale migliore di quella assicurata, per esempio, dai contatori di Geiger-Muller (il prototipo dei rivelatori a filo centrale) o di quelli derivati fu una considerazione determinante per introdurre rivelatori a geometria piana.

Tuttavia, nei rivelatori a geometria piana una scarica innescata dal passaggio di una particella ionizzante tende a perdurare fin quando la tensione esterna applicata agli elettrodi per creare il campo all'interno del gas non viene in qualche modo rimossa. Gli elettrodi usati nei primi rivelatori di questo tipo, infatti, erano metallici, e quindi una valanga all'interno del gas tenderà a propagarsi lungo ed all'esterno della sua linea di sviluppo principale, intensificandosi fino a diventare una vera e propria scarica grazie all'energia ed alla carica presente sui due elettrodi. Questi rivelatori, difficili da costruire e necessariamente dotati di una sofisticata – per l'epoca – elettronica in grado di rimuovere la tensione subito dopo il passaggio della particella ionizzante, avevano un tempo di vita dell'ordine di qualche mese. Inevitabilmente l'operatività del contatore terminava con la formazione di un punto sugli elettrodi da cui originava sempre una scintilla.

La grande idea, arrivata alla fine degli anni '70 e dovuta a Pestov, fu di usare, in luogo di uno dei due elettrodi metallici, un elettrodo di vetro, cioè un materiale resistivo, caratterizzato da costanti di tempo – che si dimostrano essere proporzionali, appunto, alla resistività del materiale – molto maggiori (attorno a 0,1 s) delle durate tipiche di una scarica nel gas (tipicamente di circa una decina di ns). In questo intervallo di tempo l'elettrodo si comporta come un isolante, il campo elettrico all'interno del gas scende a zero, e la scarica si estingue naturalmente senza bisogno di circuiti di autospegnimento esterni [4].

Benché con ottime prestazioni i rivelatori di Pestov (che lui chiamava Planar Spark Chambers) erano difficili da costruire ed usare (per esempio, funzionavano ad una pressione di circa 10 atm), ed in particolare il vetro doveva essere lavorato finemente, usando addirittura tecniche interferometriche, per evitare micro-punte che dessero origine a scariche continue. Fu all'inizio degli anni '80 che un gruppo dell'Università di Roma utilizzò dei contatori a piani paralleli resistivi fatti con materiale impregnato di resina fenolica (comunemente chiamata bakelite), che furono i primi a funzionare a pressione atmosferica e a non richiedere processi complessi di preparazione delle superfici [5].

Tutte le idee di base erano state applicate ad un singolo rivelatore: geometria planare (con i conseguenti vantaggi sulla risoluzione temporale), materiale resistivo (che consentiva un autospegnimento del rivelatore dopo la generazione di un segnale associato al passaggio di una particella), semplicità di costruzione ed utilizzo (che permetteva l'uso di questi rivelatori su superfici estese). Erano nati gli RPC.

3 Andare più veloci: il problema della "rate capability"

Gli RPC hanno avuto un incredibile successo nel mondo della fisica delle particelle. A partire dalla metà degli anni '90 sono stati utilizzati sempre di più negli esperimenti di fisica delle alte energie. Si contano NADIR, FENICE, E771, WA92, MINI, L3 a LEP, e BABAR, giusto per citarne alcuni. In tutti questi esperimenti gli RPC venivano usati per rivelare muoni che attraversavano l'apparato, e spesso per dare il segnale di trigger o di veto.

Il primo esperimento ad essere completamente implementato con RPC è stato ARGO-YBJ. Si tratta di un apparato per lo studio dei raggi cosmici – in particolare per l'astronomia gamma – posizionato a circa 4300 m sul livello del mare, in Tibet, sulla catena montuosa dell'Himalaya. Consiste di un tappeto centrale quadrato di RPC, senza soluzione di continuità, che copre una superficie di circa 7000 m^2; l'esistenza di una superficie completamente coperta da rivelatori (il che implica che, almeno nella zona centrale, non vengono usate tecniche di campionamento, molto comuni negli esperimenti per lo studio dei raggi cosmici) ha come conseguenza la caratteristica di poter fornire una fotografia completa e dettagliata del fronte degli "sciami" prodotti da una particella primaria interagente nell'atmosfera quando questi arrivano a livello del suolo. L'altitudine elevata è necessaria per rivelare sciami prodotti da un'energia del primario relativamente bassa, e cioè attorno ai 100 GeV. Grazie a questa caratteristica, ARGO ha prodotto una serie di risultati di estrema rilevanza nell'ambito dell'astronomia gamma, portando ad un notevole progresso nel campo. Inoltre, ARGO-YBJ ha ricoperto un ruolo di particolare rilievo, perché è stato il primo banco di prova significativo delle tecniche di produzione su larga scala necessarie per la costruzione di un apparato così grande.

Per l'uso negli esperimenti ad LHC, allora in preparazione, era tuttavia necessario un ulteriore passo avanti. In tutti gli esperimenti sopra citati il flusso di particelle incidenti sugli RPC era relativamente basso, al massimo attorno a qualche

decina di Hz/cm^2. La soluzione proposta per rendere i rivelatori a geometria piana affidabili, robusti e semplici da usare – cioè, appunto, l'uso di elettrodi resistivi – poneva infatti un limite intrinseco al loro utilizzo. Poiché il campo elettrico all'interno del gas scende a zero attorno alla zona interessata dalla scarica per un periodo di tempo dell'ordine della costante di tempo degli elettrodi, un'altra eventuale particella incidente nello stesso punto non sarebbe rivelata. In altre parole, vi è un limite alla frequenza di particelle ("rate capability") che è possibile rivelare. La rate capability, in altre parole, risulta essere inversamente proporzionale alla resistività del materiale impiegato per la costruzione degli elettrodi. Ridurre la resistività oltre un certo limite ha come effetto di aumentare la frequenza di particelle rivelabili, ma l'inconveniente di rendere il rivelatore meno stabile perché le scariche non vengono spente in maniera efficace.

È stata necessaria l'introduzione di un'elettronica di front-end abbastanza sofisticata per risolvere il problema: si è scelto di ridurre l'amplificazione nel gas – con conseguente diminuzione del tempo e dell'area morta dopo ciascuna scarica – e di trasferirne parte all'elettronica. In questa maniera si è riusciti a raggiungere una rate capability attorno al centinaio di Hz/cm^2, cioè quella richiesta per gli esperimenti ad LHC.

4 Gli RPC negli esperimenti ad LHC ed oltre

Durante il primo periodo di run LHC ha fatto collidere protoni ad un'energia nel centro di massa da 900 GeV – nella fase iniziale – fino ad 8 TeV, con una luminosità di picco, raggiunta nel novembre del 2012, di circa $7{,}7 \times 10^{33}$ cm^{-2}s^{-1}; si tratta di valori che non erano mai stati raggiunti in precedenza, e rappresentano un incremento molto significativo rispetto a quelli raggiunti da tutte le macchine acceleratrici precedenti. In corrispondenza dei quattro punti in cui avvengono le collisioni, gli esperimenti ATLAS, CMS, ALICE ed LHCb sono a loro volta degli strumenti eccezionali composti da rivelatori di particelle adatti a funzionare nelle difficili condizioni che si vengono a creare al loro interno. Tre di questi esperimenti usano RPC, con caratteristiche leggermente differenti gli uni dagli altri.

In ATLAS, gli RPC sono posizionati nella parte centrale (il cosiddetto "barrel") del sistema dei muoni, sistemati in tre strati concentrici – ciascuno ospitante due camere RPC – attorno alla linea di fascio a distanze da questo tra i 7 ed i 10 m circa. Si tratta in totale di circa 3600 camere, che coprono una superficie di 3650 m^2, lette da circa 370 000 canali di elettronica.

In CMS, gli RPC sono usati sia nel barrel che negli endcap (cioè alle due estremità dell'apparato); vi sono in totale 912 camere (480 nel barrel e 432 negli endcap), per un'area attiva complessiva di 3500 m^2 e circa 110 000 canali di elettronica di front-end (fig. 2). A differenza degli RPC di ATLAS, gli RPC di CMS sono a doppia-gap, cioè sono costituiti da due moduli elementari con delle strip di lettura comuni posizionate nel mezzo. In questo modo il segnale indotto dalle valanghe nei due rivelatori si somma analogicamente, con ovvi vantaggi per quanto riguarda il rapporto segnale-rumore, e la

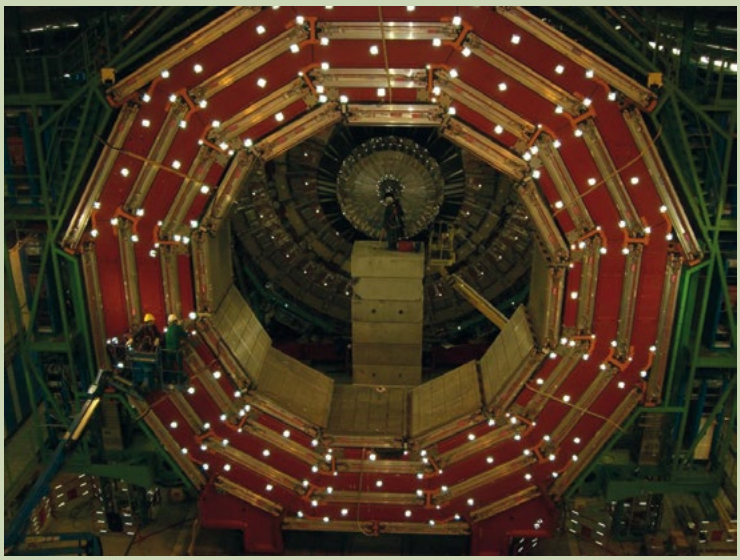


Fig. 2 Parte del sistema dei muoni dell'esperimento CMS, con in evidenza le camere ad RPC, posizionate nei tramezzi del giogo ritorno del magnete (in rosso). Qui è mostrata solo una delle cinque ruote (a cui si aggiungono tre endcap per ciascun lato) che costituiscono l'esperimento; l'uomo al centro dà un'idea delle dimensioni dell'apparato. (Fonte: CERN).

robustezza intrinseca del rivelatore.

In entrambi i casi le superfici coperte sono enormi, e per la costruzione e la messa in funzione di questi sistemi sono stati necessari anni di lavoro. Inoltre, la produzione delle varie componenti delle camere è avvenuta in diverse parti del mondo (includendo Corea, Pakistan e India, per esempio), e ciò ha richiesto uno sforzo logistico ed organizzativo incredibile per arrivare alla fase dei test finali al CERN prima dell'assemblaggio coordinato con gli altri sottorivelatori nei rispettivi apparati sperimentali. Si prevede che i sistemi installati non verranno sostituiti per l'intera durata del periodo di funzionamento di LHC, il che significa che dovranno funzionare per più di quindici anni, molto più della vita di tutti gli esperimenti che hanno usato RPC in precedenza.

Gli RPC sono usati anche in ALICE, il terzo, per dimensioni, tra gli esperimenti ad LHC; in questo caso, oltre ad RPC molto simili a quelli usati in CMS ed ATLAS, vengono usati RPC più sofisticati. La risoluzione temporale di questo tipo di rivelatore, infatti, dipende in maniera critica dalla distanza fra gli elettrodi; riducendo tale distanza a valori attorno a 2–300 μm si può raggiungere una risoluzione temporale dell'ordine di qualche decina di picosecondi (quella citata all'inizio), vicina alla massima mai raggiunta. Per spessori così piccoli, tuttavia, la probabilità che una particella ionizzante attraversi lo strato di gas senza creare una coppia primaria ione-elettrone è relativamente alta, e quindi è necessario usare una sequenza di molti strati (elettrodo-gas-elettrodo) per combinare nello stesso oggetto un'efficienza ed una risoluzione temporale molto elevate. Si parla, in questo caso, di RPC a multi-gap (o MRPC) che, nel caso dell'esperimento ALICE, sono realizzati in vetro.

Mentre in ATLAS e CMS gli RPC vengono sfruttati essenzialmente per fornire il segnale di trigger sui muoni agli esperimenti – cioè per segnalare quando uno o più muoni hanno attraversato alcune delle camere del sistema – gli MRPC di ALICE, grazie alla loro eccezionale risoluzione temporale, vengono sfruttati nel sistema del Tempo di Volo (Time of Flight, TOF). Essenzialmente, particelle di massa diversa impiegano tempi diversi per percorrere la stessa distanza, e questo può essere sfruttato per identificarle. Riuscire a capire, tra le migliaia di particelle prodotte in una collisione ad LHC, se quelle che stiamo osservando sono particelle leggere – come elettroni o positroni – o un po' più pesanti – come quelle chiamate particelle π o K – è un compito difficile che richiede infatti strumenti dedicati. È esattamente questo – assieme ad altre strumentazioni altrettanto sofisticate – il delicato compito affidato agli MRPC.

5 Oltre la fisica delle alte energie: il mondo "reale"

Gli RPC hanno applicazioni anche al di fuori del campo della fisica delle alte energie. Ciò è dovuto non solo al loro costo, relativamente contenuto, ma sopratutto alla loro intrinseca semplicità di costruzione e di utilizzo (fig. 3).

Diversi sono gli utilizzi proposti per gli RPC in campi di tipo applicativo. Uno di questi è lo screening di grandi volumi alla ricerca di materiali potenzialmente pericolosi, come per

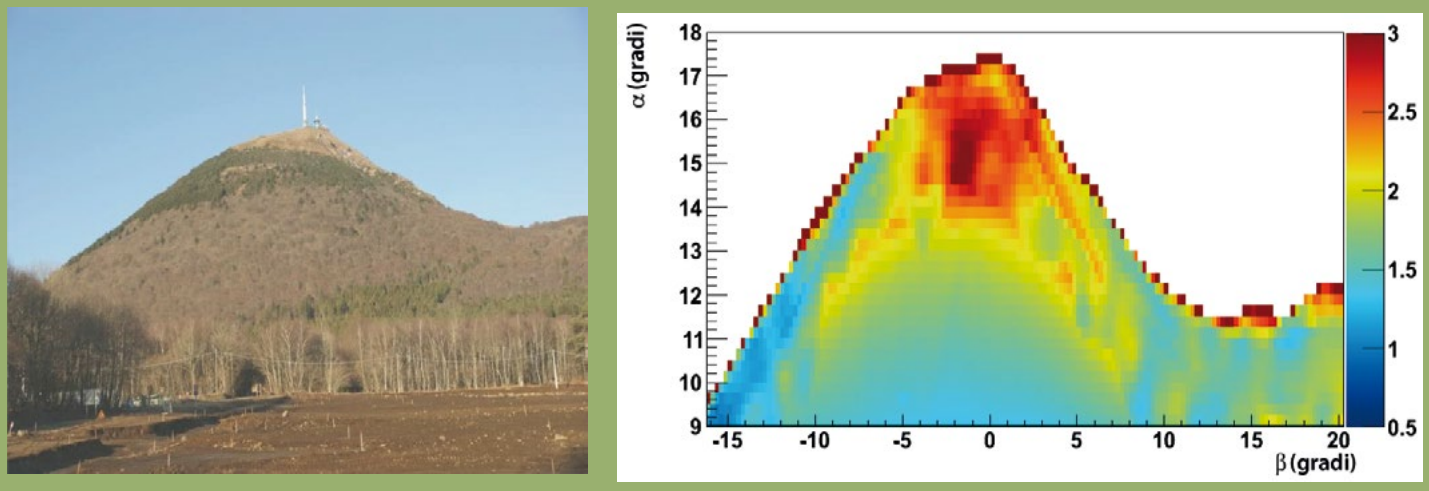


Fig. 3 Gli RPC sono usati anche come strumento per indagini di tipo geologico. A sinistra: il Puy du Dome, un vulcano nell'Auvergne francese; a destra: come lo stesso vulcano appare tramite una radiografia in trasmissione con muoni cosmici, realizzata con una serie di RPC alla base del vulcano. In prossimità della cima vi è evidenza di una struttura sotterranea. (Fonte: ToMuVol collaboration).

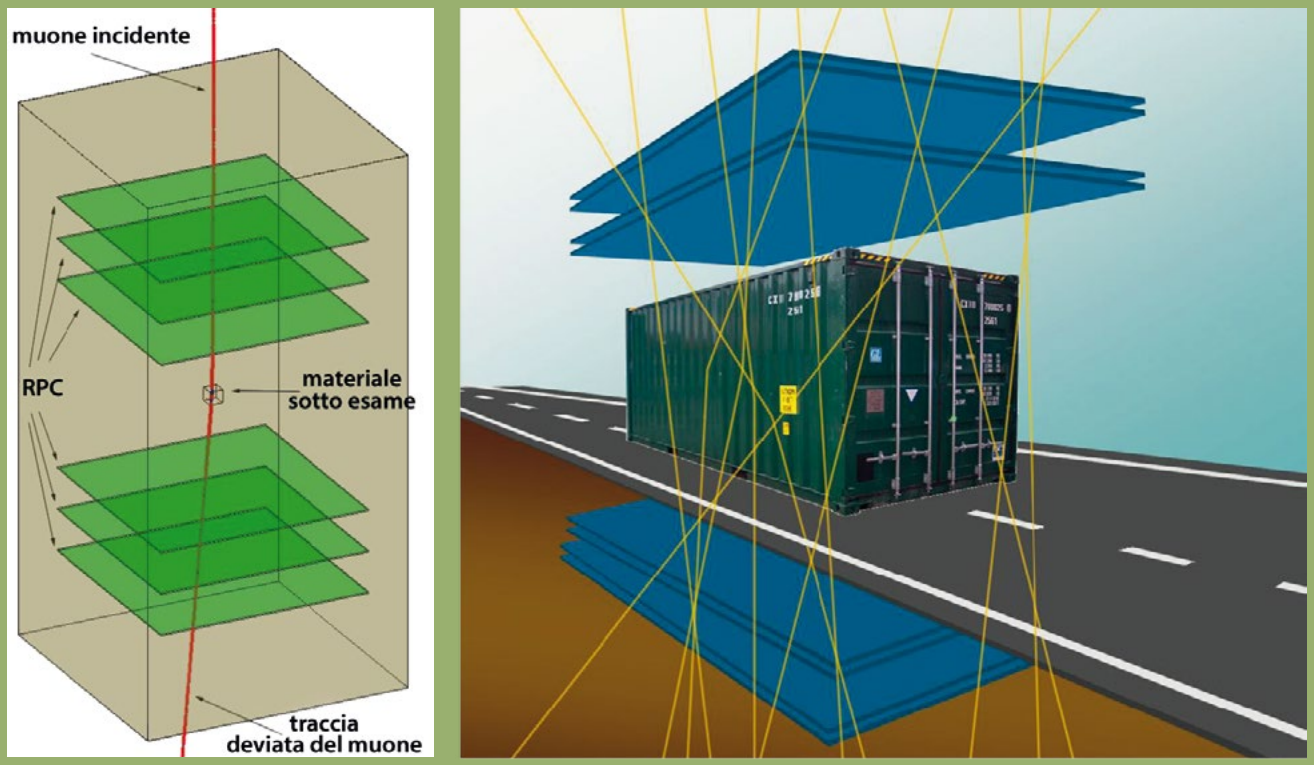


Fig. 4 I muoni cosmici subiscono scattering multiplo coulombiano, cambiando in maniera anche rilevante la loro traiettoria, quando attraversano materiali molto densi. Questo fenomeno può essere utilizzato per effettuare screening di container ed individuare materiali potenzialmente pericolosi nascosti al loro interno. A sinistra: schema di concetto del principio della tomografia muonica; a destra: vista d'artista del sistema finale.

esempio materiali fissili. L'idea è di far sostare brevemente il volume da esaminare (per esempio un container caricato su un camion) tra due telescopi ad RPC, posizionati uno sopra e l'altro sotto di esso. Il telescopio superiore avrà il compito di tracciare in tempo reale i muoni cosmici che incidono sul container, e quello inferiore di misurare l'eventuale deviazione del muone cosmico una volta attraversato il volume sotto esame. Tale deviazione dipende essenzialmente dal peso atomico medio del materiale attraversato dal muone cosmico, e quindi una percentuale elevata di tracce deviate di un angolo maggiore di qualche grado è un indizio forte di presenza di materiale ad alto *Z*, quali, appunto, materiali fissili (fig. 4). Dopo prototipi su scala ridotta, che hanno efficacemente assolto il loro compito, sono attualmente in corso diversi studi per realizzare i primi sistemi a grandezza naturale in grado di effettuare uno screening di container in tempi ridotti.

MRPC in vetro, di tipo molto simile a quelli usati per il sistema del Tempo di Volo (Time of Flight, TOF) dell'esperimento ALICE a LHC, sono poi impiegati per il progetto Extreme Energy Events (EEE). Si tratta di una array di rivelatori per muoni cosmici diffuso su tutto il territorio italiano con la caratteristica peculiare che tali rivelatori sono ospitati in edifici scolastici. In effetti, la stessa costruzione degli MRPC avviene al CERN, da parte di gruppi di studenti e docenti delle scuole interessate al progetto; in seguito i rivelatori vengono portati negli edifici scolastici e lì vengono allestiti i telescopi.

La superficie molto estesa su cui sono posizionati i telescopi – essenzialmente tutta l'Italia – fa sì che sia possibile studiare eventi dovuti a raggi cosmici di energia molto elevata ("estrema" appunto), ed in particolare maggiore di 10^{18} eV, per i quali questioni come lo spettro in energia, la composizione, ed i meccanismi di accelerazione sono ancora irrisolte. L'esperimento ha già prodotto rilevanti risultati di fisica, come, per esempio, l'osservazione di coincidenze tra siti lontani associate a sciami estesi, e lo studio di diminuzioni (dette "diminuzioni Forbush") nel flusso dei raggi cosmici correlate a periodi di intensa attività solare. In particolare questo studio è stato –per la prima volta in assoluto – effettuato al di fuori di laboratori "professionali" per la fisica dei raggi cosmici, con risultati assolutamente comparabili a questi, presentati a conferenze internazionali e pubblicati su riviste del settore.

EEE, tuttavia, non è un esperimento innovativo solo nell'ambito prettamente scientifico, ma lo è anche dal

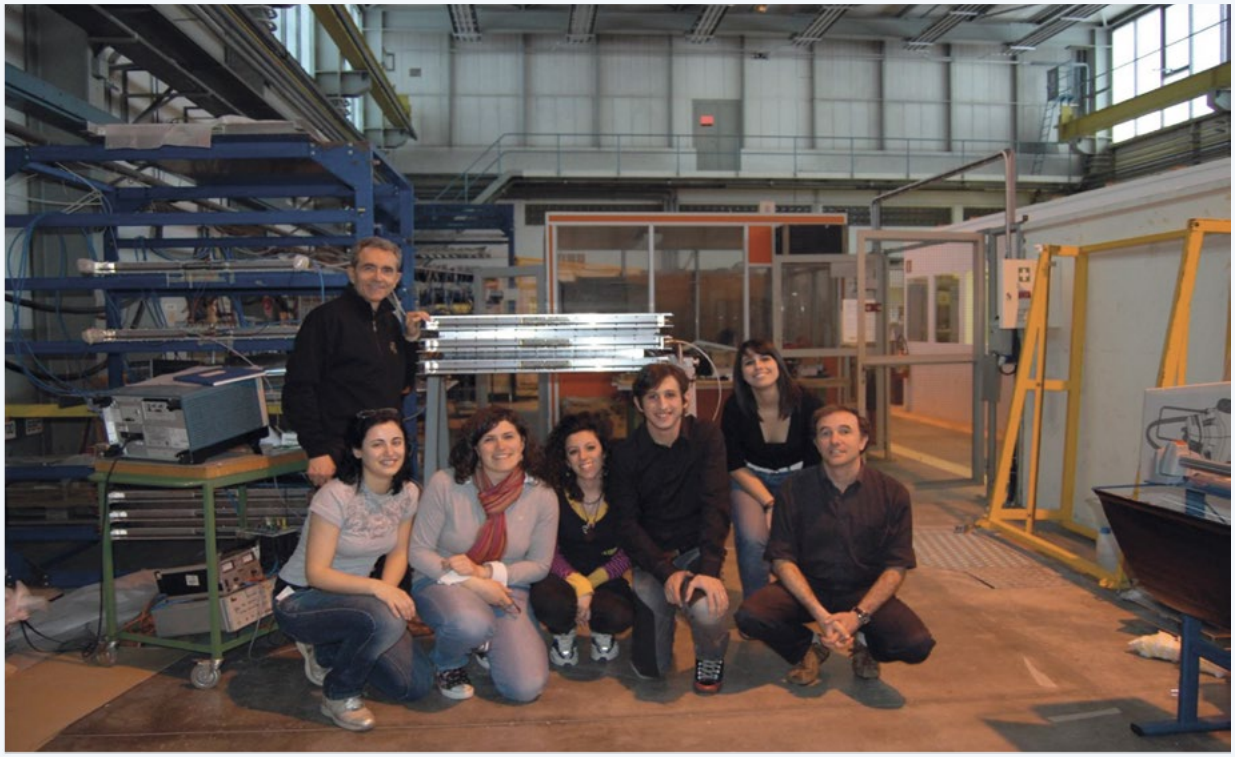


Fig. 5 La costruzione delle camere dell'esperimento Extreme Energy Event avviene al CERN, da parte di team di docenti e studenti degli istituti coinvolti coadiuvati da personale tecnico e scientifico. Qui il team che ha costruito le camere per il telescopio dell'Istituto "S. Staffa" di Trinitapoli. (Fonte: Prof. G. Di Staso.)

punto di vista della comunicazione scientifica. Il fatto che i rivelatori vengano costruiti direttamente dagli studenti – in un ambiente internazionale ed estremamente stimolante come il CERN – e che poi gli stessi studenti partecipino alla presa dati ed alla successiva analisi, fa sì che l'apprendimento da parte loro non avvenga in maniera passiva, come durante una lezione. Al contrario, gli studenti vengono incoraggiati a partecipare attivamente a tutti le fasi del progetto e vengono sviluppate capacità – come il problem solving, o l'attitudine a lavorare in gruppo – che altrimenti non verrebbero stimolate. Il risultato sono gruppi di studenti e docenti entusiasti del loro lavoro e di partecipare ad un vero esperimento scientifico [6] (fig. 5).

L'uso degli RPC non si ferma qui. Con un elettrodo interno ricoperto di ossido di gadolinio gli RPC sono stati proposti ed utilizzati per la rivelazione di neutroni termici, per applicazioni nel campo dello sminamento umanitario o per il monitoraggio dei flussi di radiazione nelle centrali nucleari. I neutroni, infatti, sono intrinsecamente difficili da rivelare perché non essendo carichi, non producono effetti di ionizzazione in materiali gassosi o solidi. Il gadolinio, tuttavia, è un materiale caratterizzato da un'alta sezione d'urto ai neutroni termici, e produce un elettrone, cioè una particella ionizzante, in una percentuale significativa (che dipende dall'isotopo di Gd considerato) delle volte in cui un neutrone interagisce con un nucleo di Gadolinio. I neutroni possono quindi essere rivelati indirettamente. Gli RPC in cui la superficie interna di un elettrodo è stata ricoperta di ossido di gadolinio hanno raggiunto un'efficienza di rivelazioni ai neutroni termici – cioè quelli di energia attorno ai 25 meV – molto elevata (il massimo per rivelatori con convertitori a stato solido).

RPC di questo tipo, facili da far funzionare e poco costosi da costruire, sono stati proposti per l'individuazione di piccole mine antiuomo, difficili da individuare altrimenti a causa del loro basso contenuto di metalli. L'idea è avvicinare al terreno da bonificare una piccola sorgente di ^{252}Cf, che emette neutroni con energia di qualche MeV. Tali neutroni, penetrando nel terreno, vengono in parte termalizzati, ed il processo di termalizzazione è particolarmente efficace in presenza dei tipici elementi contenuti negli esplosivi. Quindi, un improvviso aumento di neutroni termici provenienti dal terreno è un forte indizio della presenza di materiale sospetto, e gli RPC resi sensibili a neutroni di tale energia con strati di Gd sono rivelatori ideali per questo scopo.

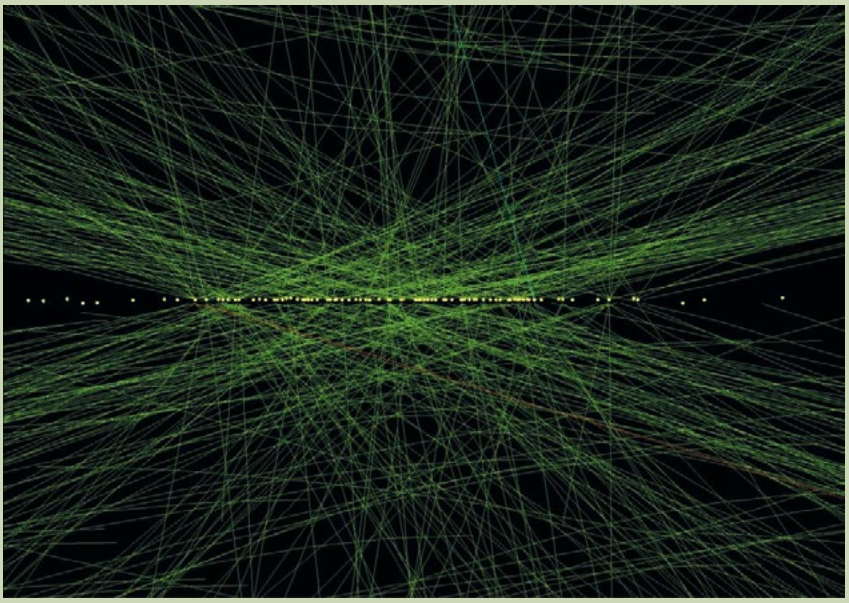


Fig. 6 Lo studio delle collisioni durante la fase ad alta luminosità di LHC (HL-LHC) porrà problemi sempre più complessi. Qui è riportato un evento in cui 78 vertici primari di interazione sono stati riconosciuti; nel periodo HL-LHC si prevede che il numero di eventi primari sarà mediamente circa il doppio. (Fonte: CMS Collaboration.)

6 E adesso? I nuovi sistemi di muoni degli esperimenti LHC

Nella primavera del 2015, al termine del Long Shutdown 1 (LS1), LHC riprenderà a funzionare con fasci di protoni caratterizzati da un'energia nel centro di massa e una luminosità istantanea ancora maggiori di quelle attuali, che verranno gradualmente aumentate negli anni a seguire per arrivare, al termine del Long Shutdown 3 (LS3), previsto per il 2023-24, a valori di circa 14 TeV e 5×10^{34} $cm^{-2}s^{-1}$, rispettivamente. Si avvierà quindi la cosiddetta High-Luminosity phase di LHC (HL-LHC), destinata a durare circa dieci anni, e cioè fino al raggiungimento di una luminosità integrata di 3000 fb^{-1}, quella necessaria per studiare in dettaglio le proprietà del bosone di Higgs e di possibili altre particelle che possano essere eventualmente scoperte nei prossimi anni.

In queste condizioni, la complessità degli eventi che gli esperimenti LHC dovranno registrare ed analizzare sarà senza precedenti; ad esempio, si prevede che il pile-up (cioè il numero di collisioni elementari per bunch crossing) sarà attorno a 140, con punte non infrequenti di 180 (fig. 6). Ciononostante, i dati raccolti dovranno essere di una qualità tale da permettere l'individuazione di quei pochi eventi che, da soli, potrebbero essere l'indizio di una "nuova" fisica, cioè segnali che permettano di individuare modelli più raffinati del Modello Standard che possano aiutare a spiegare questioni al momento irrisolte. Inoltre, ci si troverà ad affrontare la fase più difficile di presa dati con apparati sperimentali già più vecchi di un decennio, con gli ovvi problemi conseguenti.

Perciò tali esperimenti, fin da ora, stanno dando avvio ad intensi programmi di R&D che porteranno allo sviluppo di rivelatori di nuova generazione in grado di operare in queste condizioni, ed integrare, e a volte rimpiazzare, i rivelatori attualmente esistenti. Gli RPC sono fra questi.

Nuovamente, il problema più rilevante da affrontare è un incremento della rate capability. CMS, infatti, sta valutando la possibilità di costruire due stazioni aggiuntive, instrumentate con RPC, in entrambi gli endcap, che aumentino le capacità di trigger e la ridondanza in quelle regioni importanti per molti canali di fisica. ATLAS intende costruire una stazione all'interno del barrel attualmente esistente, che vada ad aggiungersi alle tre già esistenti e permetta, anche in questo caso, un rilevante aumento della copertura e dell'efficienza di trigger. In entrambi i casi, la rate capability richiesta è attorno ad 1– 2 kHz/cm^2, e le camere dovranno essere capaci di sostenere questa rate per circa dieci anni.

C'è un ampio ventaglio di soluzioni che sono state proposte. Si va dall'uso di un nuovo tipo di elettronica, che trasferisca un'altra parte rilevante dell'amplificazione necessaria dal gas all'elettronica di front-end (in maniera analoga a quanto fatto all'inizio degli anni '90), ad un cambiamento della geometria del rivelatore che preveda la riduzione degli spessori degli elettrodi e della gap, all'uso di configurazioni a multi-gap, o infine all'uso di materiali caratterizzati da una resistività minore di quella attualmente in uso.

La scelta della soluzione ottimale verrà effettuata al termine di un'intensa serie di test, previsti durare almeno per tutto il 2015, in cui le performance dei vari rivelatori costruiti verranno messe a confronto in identiche condizioni sperimentali. A tal fine si sta equipaggiando un'area sperimentale dedicata, denominata GIF++ (un

upgrade della precedente Gamma Irradiation Facility), dove i rivelatori saranno sottoposti ad un flusso intenso di fotoni, che simulerà il background previsto durante HL-LHC, e contemporaneamente le prestazioni dei rivelatori potranno essere misurate facendo uso di un fascio di muoni proveniente dall'SPS.

Un altro punto importante da affrontare è il fatto che i gas usati finora negli RPC (in particolare il tetra-fluoroetano $C_2H_2F_4$ e l'esafluoruro di zolfo SF_6) sono caratterizzati da un valore del Global Warming Potential (GWP – cioè la capacità di contribuire all'effetto serra) troppo elevato rispetto agli standard attuali. Assunto come valore di riferimento il GWP dell'anidride carbonica $GWP(CO_2) = 1$, risulta che il $GWP(C_2H_2F_4) = 1430$ e il $GWP(SF_6) = 23600$. Seguendo le prescrizioni del protocollo di Kyoto, la Comunità Europea ha diramato direttive che prevedono la progressiva dismissione di questi gas, e, sebbene i laboratori scientifici ne siano esplicitamente esclusi, la comunità scientifica, conscia dell'importanza dell'argomento, si è assunta il compito di trovare dei sostituti. Non è un compito semplice, in quanto il gas usato all'interno di un rivelatore a gas, è il "cuore" di tale rivelatore.

L'aspetto rilevante di questo studio è che si è deciso fin da subito di portarlo avanti in maniera trasversale rispetto agli esperimenti, cercando di sfruttare al massimo le possibili sinergie ed ottimizzare le limitate energie disponibili. Questo approccio si sta estendendo anche a problemi di carattere più generale, come l'ottimizzazione dei rivelatori –non solo gli RPC- per le difficili condizioni previste durante HL-LHC. L'European Committee for Future Accelerators (ECFA) ha recentemente realizzato due workshop con l'obiettivo specifico di incrementare tali sinergie e creare un approccio strategico il più possibile unitario a tali problemi. Per gli RPC gli obiettivi proposti sono migliorarne le prestazioni non solo in termini di rate capability, ma anche di risoluzione temporale e spaziale, e di resistenza all'invecchiamento.

In definitiva, siamo di fronte ad un'occasione quasi irripetibile per sviluppare una nuova generazione di rivelatori a gas con prestazioni di molto superiori a quelle attuali. È questa l'eccitante – e difficile – sfida dei prossimi anni.

Lista di riferimenti bibliografici

La bibliografia relativa agli RPC conta diverse centinaia di articoli pubblicati sulle riviste specializzate. Qui vengono riportati solo alcuni articoli "storici" sull'argomento, o che possano dare l'idea dell'uso di questi rivelatori in particolari applicazioni

[1] J. W. Keuffel, Phys. Rev. 73 (1948) 531.
[2] L. Madanski e R.W.Pidd, "*Some Properties of the Parallel Plate Spark Counter I*", *Phys. Rev.*, 75 (1948) 1175.
[3] M. Conversi e A. Gozzini, The "*Hodoscope Chamber": a new instument for Nuclear Research*", Nuovo Cimento, 2 (1955) 189.
[4] Yu N. Pestov, "*Status and future developments of spark counters with a localized discharge*", *Nucl. Instr. and Meth., Phys. Res.*, 196 (1982), 45.
[5] R. Santonico and R. Cardarelli, "*Development of Resistive Plate Counters*", *Nucl. Instrum. Meth., Phys. Res. A*,187 (1981) 377.
[6] Tutto il materiale su EEE, compresi gli articoli pubblicati e le presentazioni alle conferenze, può essere trovate sul sito web della collaborazione: `eee.centrofermi.it`

Letture di approfondimento

Due ottimi testi recenti sulla fisica dei rilevatori a gas, che danno una panoramica completa anche di questo tipo di rivelatore, sono:

F. Sauli "*Gaseous Radiation Detectors, Fundamentals and Applications*", (Cambridge University Press) 2014.

E. Nappi, V. Peskov "*Imaging gaseous detectors and their applications*" (Wiley-VCH) 2013.

Ogni due anni si svolge un workshop su "Resistive Plate Chambers and related detector", continuando una tradizione nata nel 1991 a Lecce, e poi proseguita a Roma, Pavia, Napoli, Bari, Coimbra, Clermot-Ferrand, Seoul, Mumbai, Darmstadt, Frascati e Beijing. Le informazioni più recenti possono essere trovate consultando le presentazioni effettuate in queste occasioni, generalmente reperibili sui relativi siti web, l'ultimo dei quali è all'indirizzo: `http://net.tsinghua.edu.cn/rpc2014/`

Marcello Abbrescia

Marcello Abbrescia è Ricercatore presso il Dipartimento Interateneo di Fisica "M. Merlin" di Bari, dove si è laureato nel 1990 ed ha conseguito il Dottorato di Ricerca. Si è occupato fin dall'inizio della sua carriera scientifica di rivelatori a piani resistivi, contribuendo alla progettazione del sistema RPC dell'esperimento CMS, del cui upgrade per la fase ad alta luminosità di LHC è attualmente responsabile. Ha contribuito all'R&D necessario per rendere questi rivelatori così diffusi nell'ambito della comunità delle alte energie, anche sviluppando un modello matematico che descrive il loro comportamento. È membro della collaborazione Extreme Energy Events, facendosi latore del messaggio "portare la scienza nel cuore dei giovani", che è il motto di questo esperimento.

MEDIEVAL ISLAMIC ACHIEVEMENTS IN OPTICS

SAMEEN AHMED KHAN*
Engineering Department, Salalah College of Technology, Salalah, Sultanate of Oman

The United Nations have declared 2015 as the International Year of Light and Light-based Technologies. The yearlong celebrations are aimed at stimulating worldwide interest in light and related sciences and technologies. The year 2015 marks the 1000th anniversary since the appearance of the remarkable seven-volume treatise on optics written by the great Arabic scientist Ibn al-Haytham. This article covers the medieval Arab and Islamic contributions to optics and related sciences. The impact of the Medieval Arab sciences on the European renaissance is also covered briefly.

1 Introduction

The pursuit to understand the mechanism of vision and the nature of light date back to antiquity. On the very basic level it provides us vision. On the most fundamental level through photosynthesis (mostly in the green leaves of the plants), light is necessary to the existence of life itself. In human skins, the sunlight induces the synthesis of the essential vitamin D. When harnessed, the light-based technologies can promote sustainable development and provide solutions to global challenges in energy, education, agriculture, health and well-being. Hence, the United Nations proclaimed 2015 as the International Year of Light and Light-based Technologies (IYL2015). In this article, we shall focus on the Medieval Arab achievements in optics during the Islamic Golden Age (eighth to thirteenth centuries). In order to comprehend the development of science in the aforementioned period, it is essential to have a brief review of the ancient Greek contributions to optics and their translations into the Arabic language. The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 investigates the origins of optics in ancient Greece, which provided a lead to the medieval Arab scientists. Section 3 provides the history of translations notably from Greek to Arabic and then from Greek to Latin. Section 4 has a fairly detailed account of the Medieval Islamic Achievements in Optics. Section 5 has our concluding remarks.

* E-mail: rohelakhan@yahoo.com, http://SameenAhmedKhan.webs.com/

2 Greek optics

There is more to celebrate in the International Year of Light than meets the eye. Indeed the year marks the numerous anniversaries in optics from the last two centuries. The year 2015 marks the 1000th anniversary since the appearance of the remarkable seven volume treatise on optics Kitab al-Manazir (Book of Optics) written by the great Arab scientist Ibn al-Haytham. Ibn al-Haytham's influence on experiment and theory in optics is truly remarkable, and he is considered the father of modern optics, ophthalmology, experimental physics and scientific methodology. There were also other great works in optics by the Medieval Islamic scholars, during the Islam's magnificent Golden Age in the 8th-13th centuries. This period brought about major advances in medicine, mathematics and other sciences. The Arabic language held sway in an age that created Algebra, elucidated principles of optics, established the body's circulation of blood, named stars and created universities. The Arab legacy in sciences is

'1001 Inventions and the World of Ibn Al-Haytham' is a global educational campaign launched as part of the UNESCO's led 'International Year of Light 2015' that celebrates the 11th century scientist Ibn Al-Haytham. Image courtesy of 1001 Inventions.

best understood by going back further in time and examining the Greek contributions to sciences.

Light and vision have fascinated humans from time immemorial. The earliest known lenses were made from polished crystal, often quartz, and have been dated as early as 700 BC for Assyrian lenses such as the Layard Nimrud lens. There are many similar lenses from ancient Egypt, Greece and Babylon. The ancient Romans and Greeks filled glass spheres with water to make lenses. The Greek works on optics can be classified into three distinct traditions: extramission, intromission and a combination of the two. The third had to do with the anatomy of the eye [1]. The extramission theories required some sort of illuminating particles to be emitted by the eye. Intromission theories required the object being viewed to continuously emit the particles that travel to the eye of the observer. Aristotle and his followers were strong advocates of the intromission theories. The mathematician Euclid is associated with the extramission theory. Euclid developed the theory of geometric perspective based on the supposition that a cone of rays emanates from the eye of an observer in the direction of the visible object. Although there are obvious flaws in the basis of the extramission theory, it gives the right geometry with one-to-one correspondence between point on the object and points on the eye. Intromission theories though correct could not explain all the optical phenomena known at that time. Plato was a proponent of a hybrid theory, which combined both the intromission and extramission theories. Euclid analyzed mirrors and stated the equal-angles law of reflection. What is remarkable is that Euclid laid down the rules of locating the images formed by reflection. The mathematical aspects of optics developed by Euclid were later used by the astronomer Claudius Ptolemy in his studies of refraction.

While the intromission theory of light was concerned with the nature of light and the extramission theory was concerned with the mathematical aspects, the anatomy of the eye was addressed by the physician and surgeon Galen from the second century CE (Common Era). Galen had provided a very detailed description of the eye and the optic pathways. Galen paid particular attention to the crystalline humor (or lens). He described the crystalline humor as a round lens in the middle of the eye, which was the sensitive or photoreceptive portion of the eye. He had concluded that the crystalline lens is the principal instrument of vision. Galen subscribed to the intromission view.

3 History of translations

By the sixth century CE, the scientific traditions of Ancient Greece had largely petered out, but the Greeks left behind important scientific and philosophical texts. We shall examine some of these texts later. In the seventh century the Arabs conquered Asia Minor, Persia, North Africa and Spain. By the ninth century the Arab civilization was dominant in the Mediterranean region. Cities such as Cordoba, Baghdad, Damascus and Samarkand became centres of lucrative trade and learning. These cities also boasted of amenities which did not become available in other parts of the world for centuries to come. For instance, the streets of Cordoba were paved and lit by lamps!

The real glory of Baghdad was not in her wealth but her intellectual creativity. The royal court attracted numerous scholars of the highest caliber. Science and arts were patronized by the caliphs to the extent that they built hospitals, observatories, universities, libraries and notably the bureaus of translation. The bureaus accomplished the task of translating every major scientific work into Arabic from Greek, Sanskrit, Pahlavi, Syriac and other languages. This mammoth effort of translation was supported by the Abbasid dynasty, centred in Baghdad for about two centuries from 750 to 950. The enlightened caliphs filled their courts in Baghdad with visiting scholars from near and far. The caliphs understood the crucial importance of scholarship to their ambitions of expanding the empire. Such an expertise was essential in order to derive both practical and intellectual benefits from the knowledge acquired through translations. A generally tolerant and pluralistic Islamic culture allowed Muslims, Christians and Jews to create new works of science together. It should be emphasized that the translations into Arabic were done by the subject experts and not by the linguistics alone. The need of high-quality translations was stimulated by the ongoing research of that time. This also resulted in the creation of new technical vocabulary in Arabic to express new thoughts and ideas and concepts acquired from Greek and other sources. Arabic translations of scientific works of those and earlier times gave the Arabs the sources to develop sciences to an admirably high degree. The era of translation lasted for about two centuries and paved the way for composition and innovation. This period from eight to thirteenth centuries was the most creative period in the history of Arab science and learning. The Arabs made tremendous original contributions to all the sciences then known.

Hunayn Ibn Ishaq (809-873) was an outstanding translator who rendered into Arabic the complete medical and philosophical works of Galen as well as of Aristotle. His many students completed the translation of Plato, Hippocrates, Ptolemy, Euclid, and Pythagoras into Arabic, and also made great original discoveries in mathematics, particularly in the integral calculus and spherical astronomy. Ibn Ishaq also wrote "Ten Treatises on the Eye", giving a detailed account based on Galen's "On the Usefulness of the Parts of the Body" [1]. The Greek works spanning six centuries, Aristotle (384-322 BC), Euclid (fl. 300 BC), Ptolemy (fl. 125-150 CE) and Galen (129-216 CE) were available to the Medieval Arabs [1].

The Arabic reservoir of knowledge created with both translations into Arabic and original contributions covered virtually all of science — medicine, chemistry, astronomy, mathematics and physics. The "western" science of the latter centuries originated from the study of these Arabic texts into Latin. In Western Europe, the work of translation from Arabic to Latin started in the 12th century. Spain, then under the Muslim rule, played the leading role in transmitting the Arabic reservoir of knowledge to Western Europe. Toledo served as the cultural capital. The impact of this activity was decisive. Many universities were created in Europe during this period, such as Bologna (founded 1088), Salamanca (1218), Padova (1222), Paris (1150), Montpellier (1289), Oxford (1096) and Cambridge (1209). These universities were structurally very similar to the Arab institutions. The universities in the European libraries stocked the books in Arabic along with their Latin translations. The curricula were directly influenced by the Arab science. For instance, the Arab medical textbooks were used in Padua, Parma and Oxford.

Ancient science and philosophy preserved in the Greek, Sanskrit, Pahlavi and Syriac languages would have been lost forever had the scholars centred around Baghdad during the 8th-12th

centuries not translated them into Arabic. A comprehensive and a very detailed account of the history of translations into Arabic and then into the European languages is provided by Zakaria Virk in [2]. The contributions of the Arab world to science during the above centuries are to be understood in this background.

From a historical perspective, it is relevant to have a closer look at the Arabic manuscripts from the Golden Age of Islamic contributions. This has been done by the contemporary science historians including Abdelhamid Ibrahim Sabra and Roshdi Hifni Rashed. Sabra carried out a long and very arduous work for the critical edition of most of Ibn al-Haytham's seven volumes of Kitab al-Manazir (Book of Optics), and provided an English translation and commentary [3-5]. Roshdi Rashed edited, commented and translated into French all the Arabic translations of the ancient Greek works in mathematics. He also translated the works of several unknown Muslim mathematicians from medieval times. He discovered four Arabic translations of Diophantus' Arithmetica (also lost in Greek) written in the third century CE. The analysis of these has shed new light into the works of later mathematicians both in the Arab world and in Europe. This enabled Roshdi Rashed to reconstruct the history of the theory of numbers leading to major conclusions. For instance, the work on elementary arithmetic functions was done prior to 1320 CE and that Ibn al-Haytham had attempted to prove the perfect number theorem now known after Leonhard Euler (1707-1783). He also edited, translated and commented on the works of several Arab mathematicians including Nasir al-Din al-Tusi (1201-1274) and Omar Khayyam (1048-1131). He also studied the role of mathematics in the optics of the Medieval Arab scholars. In the process, he discovered the book, "On the Burning Instruments", by Abu Said al-Ala Ibn Sahl, which we shall see in fair detail in this article. These findings of Roshdi Rashed have provided new insights into the Medieval Arab contributions to optics, particularly the works of Ibn Sahl, Ibn al-Haytham and Kamal al-Din al-Farisi. For his insightful studies, Roshdi Rashed was awarded the 2007 King Faisal International Prize [6]. Contemporary translations of the Arabic manuscripts from antiquity into English and French have shed new light on the Arab contributions to sciences and optics in particular.

4 Medieval Islamic achievements in optics

The medieval Arab contributions to optics need to be revisited in the light of the historical discoveries made in the 1990's by R. Roshed. Otherwise, one has an account with fewer names such as Al-Kindi (801-873), Ibn al-Haytham (965-1040), Al-Farisi (1267-1319) and wide gaps, as is customary [1]. During the first two centuries of the Islamic Golden Age (eighth to thirteenth centuries) the intellectual activity in the Arab world went through two stages in tandem: translations accompanied with original contributions. Both the stages enjoyed an official patronage. The phenomenon of reflection of light was understood by the Greeks prior to Archimedes who had tried to burn the Roman fleet approaching Syracuse using reflection of light. Among the vast literature translated into Arabic were Ptolemy's Optics and the Conic Sections of Apollonius. Applications of parabolic mirrors for burning instruments, first described by Anthemius of Tralles (about 474- before 558 CE), were also known to the Arabs in Iraq. In 1990, Roshdi Rashed brought to light the historical discovery that the geometric study of the refraction, hitherto attributed to Snell, Descartes, and/or Fermat in its sine law form, was known and written upon by Abu Said al-Ala Ibn Sahl (940-1000) working in the Abbasid court in Baghdad [7-14].

Ibn Sahl had translated Greek books on optics including Ptolemy's Optics. Ibn Sahl succeeded in stating the law of refraction of light with a diagram. The explanation of the Ibn Sahl diagram, the related geometric constructions with the conserved quantity and its equivalence with the familiar sine law form are available in [7, 9, 11]. It had long been known that Ibn Sahl wrote on burning mirrors; it is cited in the works of Ibn Haytham among others. Libraries in Damascus and Tehran contain antique manuscripts bearing this title. Based on the catalogue information, these were perceived to be copies of the same book till 1990, when Roshdi Rashed took the task

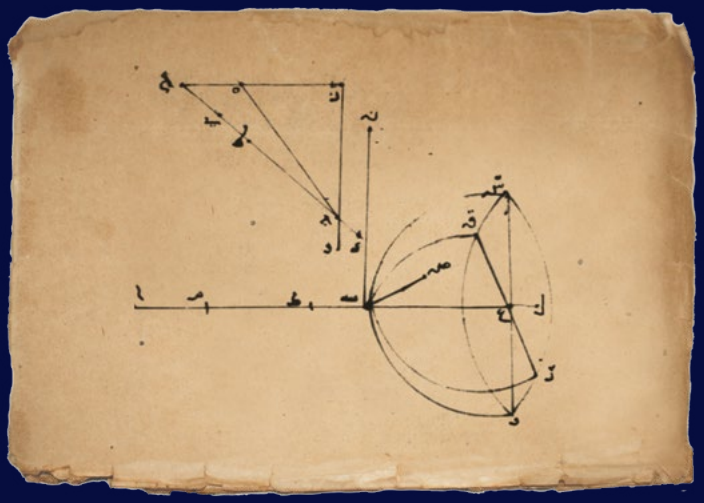


Fig. 1 Ibn Sahl's diagrams for refraction and the plano-convex lens from Ibn Sahl's treatise, "On the Burning Instruments", written in 984 CE. From Milli MS 867, folio 7r; Milli Library Tehran, Iran.

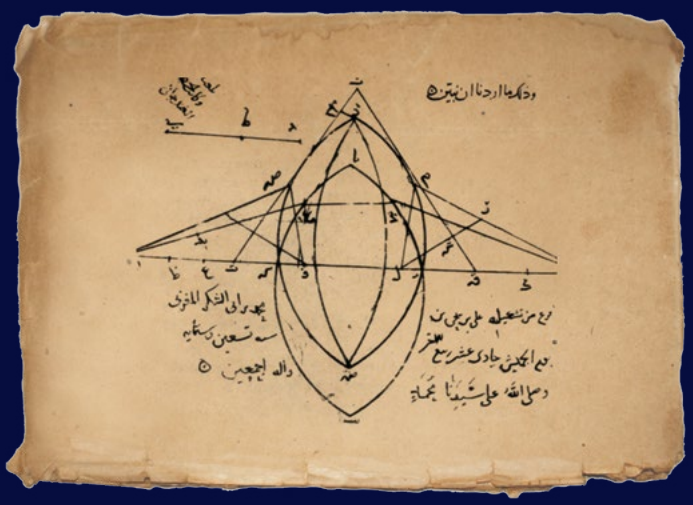
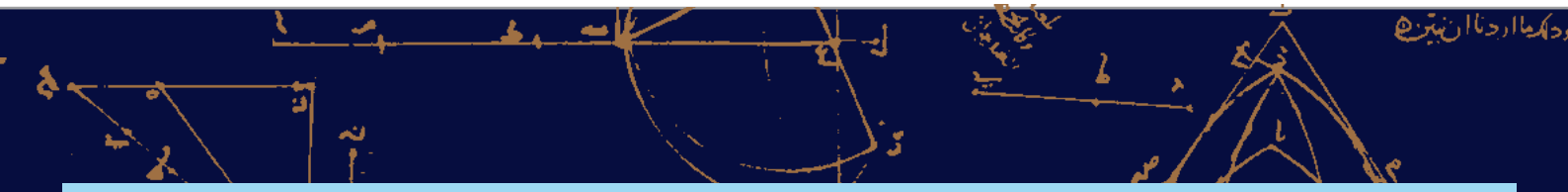


Fig. 2 Ibn Sahl diagram for a biconvex hyperbolic lens from Ibn Sahl's treatise, "On the Burning Instruments", written in 984 CE. From Milli MS 867, folio 26r; Milli Library Tehran, Iran.

to organize and study them. The pages turned out to be parts of the same dishevelled manuscript, pages mixed and some lost, unnumbered, but providentially containing the key results and revealing the overall structure of the work. This is the Ibn Sahl's book, "On the Burning Instruments", written in 984. Roshdi Rashed reassembled it, translated it, and published it [7]. Ibn Sahl's book is both experimental and theoretical. He provides the mechanical means to draw the conic sections. In this book, he describes the law of refraction with a diagram (fig. 1).

In his book Ibn Sahl analyzed burning mirrors, both parabolic and ellipsoidal; he considered hyperbolic plano-convex lenses and hyperbolic biconvex lenses. He develops the geometry of refraction as the Greeks did for reflection. His expertise is evident in the abstract lines in his diagram of the biconvex hyperbolic lens that concentrates the light of a near source at a point (fig. 2). He succeeded in stating the law of refraction of light (commonly known as the Snell's law after the Dutch scientist, Willebrord Snellius, 1580-1626) long before Snellius himself [7, 9, 11]. This treatise, "On the Burning Instruments", makes Ibn Sahl the first mathematician known to have studied lenses and further shows that in the first half of the tenth century catoptricians were actively working on refraction [7]. (For a detailed explanation of fig. 1 and 2 see the Insert by A. Bettini.)

Ibn Sahl was well known among his colleagues and students. His most famous student was Abu Ali al-Hasan Ibn al-Haytham (965-1040), known as Alhacen Alhazen, the Latin transliteration of his first name al-Hasan. Ibn al-Haytham wrote several books on optics acknowledging his mentor Ibn Sahl [7, 8, 11, 15]. Ibn al-Haytham was born in Bassorah (Basra), Iraq in 965. He started his carrier in Bassorah which was the chief centre of translations and scientific activities then. Later he migrated to Egypt, and worked in Cairo, which was under the reign of the Fatimid Caliph al-Hakim, a patron of sciences. Ibn al-Haytham had proposed to the Caliph a hydraulic project to control the flow of the river Nile, which was refused by the Caliph! Ibn al-Haytham continued to live in Cairo in the neighbourhood of the famous al-Azhar University, until his death after 1040. Al-Azhar University was then the epicentre of academic enquiry. Ibn al-Haytham wrote prolifically on subjects as diverse as poetry and politics. He made experimental contributions of the highest order [1, 15]. The "1001 Inventions" is an award-winning, British-based organisation that creates international educational campaigns and engaging transmedia productions aiming to raise awareness of the contributions to science, technology and culture from the Golden Age of Muslim Civilisation. This organization is one of the founding partners of the International Year of Light and is playing a key role during IYL2015 to promote and celebrate the tenth century pioneer Ibn al-Haytham [16]. On this occasion a bust of Ibn al-Haytham was commissioned by "1001 Inventions" (fig. 3).



Insert: Explanation of the Ibn Sahl figures

This insert gives an explanation of figs. 1 and 2, which are the diagrams of Ibn Sahl for the lens limited by a plane and a hyperboloid, and two hyperboloids, respectively. As his interest is burning, the source is on the axis, at infinite and finite distance, respectively.

Following R. Rashed [7] the explanation of fig. 1 is the following. It contains two parts. The upper one is used to establish the tools for the following analysis, including the law of refraction. Figure 1a is redrawn from fig. 1, labelling the points as in [7].

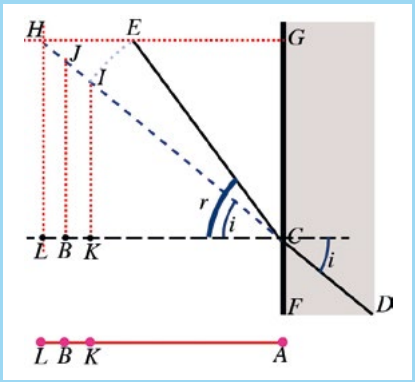


Fig. 1a

The plane *FG* is the interface between a crystal on the right and air on the left. In modern language be n the refractive index of the crystal. The incident ray, in the crystal, is *DC*, the refracted ray is *CE*, while *CH* is the continuation of the incident ray in the air. The angles of both rays with the normal *CG*, *i* and *r*, are also shown. The normal to the interface in an arbitrary point *G* cuts the refracted ray and the continuation of the incident one in *E* and *H* respectively. Consequently, the ratio *CE/CH* is

$$\frac{CE}{CH} = \frac{\operatorname{cosec} r}{\operatorname{cosec} i} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n}$$

Ibn Sahl does not define the refraction index nor uses the trigonometric functions. However, he considers the ratio *CE/CH* as independent of the incident angle. This is implicitly equivalent to the Snell law.

As the next step, let *I* be the point on the line *CH* such as *CI=CE*. Then also

$$\frac{CI}{CH} = \frac{1}{n}$$

is a constant. Finally, be *J* the point on the same line such that *HJ=JI*, a definition needed for the following study. In conclusion, the relative distances of the points *C, I, J, H* on the same line characterise the refraction properties of the crystal. Finally, Ibn Sahl projects these points and *C* on the line *LBKA* to gain independence from the incident angle. The constant ratio, which will be used in the calculations, is now

$$\frac{AK}{AL} = \text{const}$$

The second part of fig. 1 is the diagram used to prove that the plano-hyperbolic lens converges rays from the infinite parallel to the axis in its focus. Once more, it is redrawn with the labels of ref. [7] in fig. 1b.

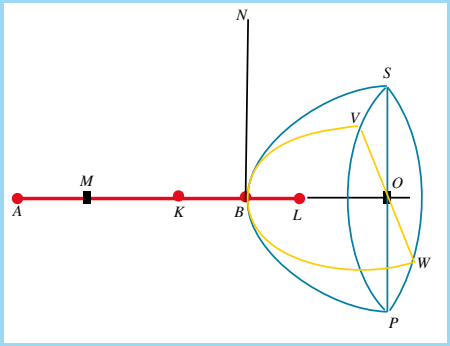


Fig. 1b

We start from the basic line *LBKA* (in red, from right to left). Then let *M* be between *A* and *K* such that *AM = BK*. We take the normal to the line in B and consider the point *N* on it such that *BN×BM = 4 BL×LM*. The curve *SBP* is the hyperbola of vertex *B*, axis *BM*, and latus rectum *BN*. We now rotate the arc *BS* about the axis *AB* generating a hyperbolic surface, which is the concave surface of the lens. In the rotation, the point *S* describes a circle with centre *O* in a plane which is the other surface of the lens. It is drawn in perspective in fig. 1b.

Ibn Sahl goes on with his geometric demonstration of the proposition: "Solar rays parallel to *OB* and passing through this solid are refracted at the hyperbolic surface, and the refracted rays converge at *A*". One finds the full development in ref. [7]. To do that one needs to consider also the section labelled as *VBWO* obtained by rotating *SBPO*, drawn in yellow in perspective in fig. 1b.

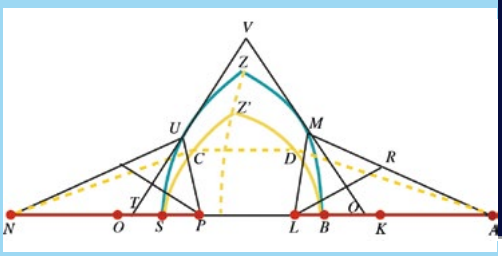


Fig. 2a

Figure 2 of the paper shows the geometry for the lens limited by two hyperboloids. In fig. 2a we redraw it, only its upper half for simplicity. Ibn Sahl uses the *LBKA* structure associated with the arc *BMZ* of the hyperbola with vertex *B* and focuses *A* and *L*, and the analogous *PSON* with associated arc *SUZ* of the hyperbola of vertex *S* and focuses *P* and *N*. The two hyperbolas are the traces of the surfaces of the lens. He proves that rays from a source in the focus *N* of one hyperbola converge in the focus *A* of the other hyperbola. In doing so he uses twice the refraction law as

$$\frac{NO}{NP} = \frac{AK}{AL} = \text{const}$$

In fig. 2a the yellow arcs *SCZ'* and *BDZ'* are shown in perspective, being obtained by rotating *SUZ* and *BMZ*, respectively, out of the plane of the rest of the figure. It is used to study the geometry of a generic ray entering in *D* and exiting in *C*. The demonstration [7] needs also the segments shown in fig. 2a.

A. Bettini

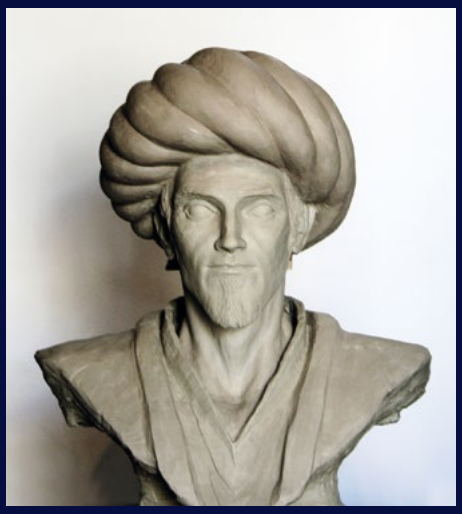


Fig. 3 Creative representation bust of Ibn al-Haytham made by artist Ali Amro and commissioned by 1001 Inventions for the UNESCO International Year of Light 2015. Courtesy of 1001 Inventions (www.1001inventions.com, www.ibnalhaytham.com)

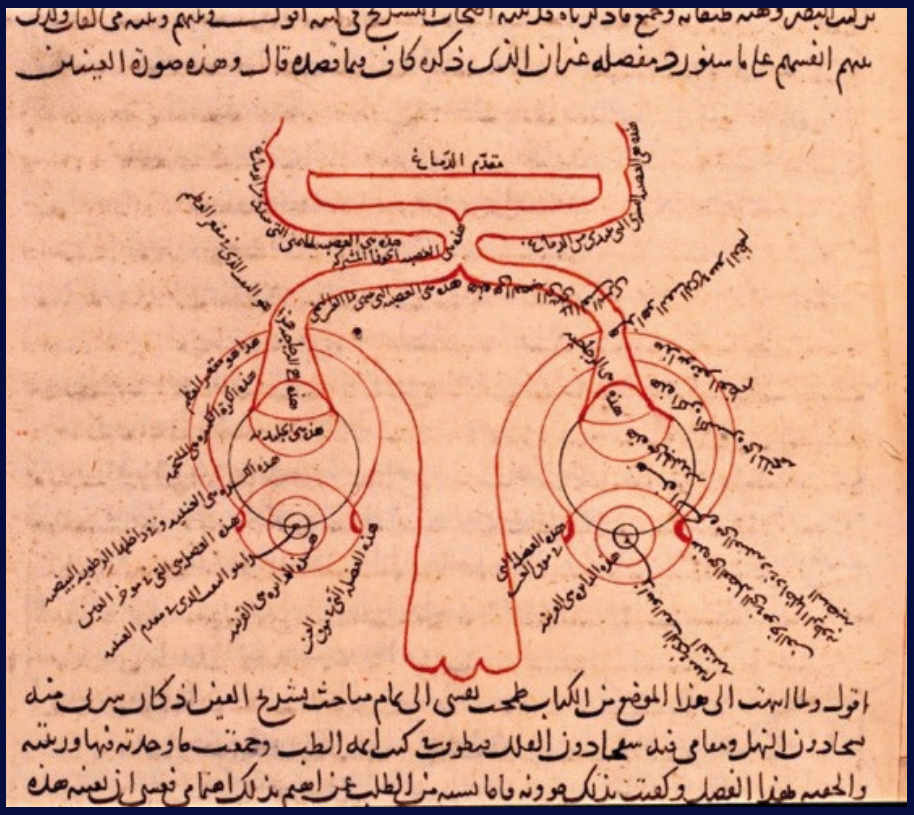


Fig. 4 Ibn al-Haytham's description of the human visual system from Kitab al-Manazir From MS 3340, folio 16a; Topkapi Palace Museum Library, Ahmed III, Istanbul, Turkey.

The works of Ibn al-Haytham have been extensively cited by later generations of Arab and European scholars. Based on the ancient bibliographies, it is found that there are at least 96 scientific titles under his name of which half of them have survived [15]. Half of them are on pure mathematics. Twenty-three titles are related to astronomy. He authored fourteen books on optics alone. His magnum opus, the seven-volume "Kitab al-Manazir" (Book of Optics) earned him the apt title of "father of optics". Volumes 1 to 3 are devoted to the physiology of the eye and the theory of perception (fig. 4). Volumes 4 to 7 cover geometrical and physical optics.

Ibn al-Haytham changed the course of optics by establishing experiments as the norm of the proof of the field. His optical theories rested on qualitative laws and quantitative rules derived from experiments, which he performed with an instrument that he designed and built himself. In order to settle the long-standing debate over how vision worked, Ibn al-Haytham pioneered an experimental set-up of surprising simplicity: the pinhole camera (*camera obscura*). The pinhole camera became a standard method for generations of physicists after Ibn al-Haytham. Isaac Newton, for example, used it to conduct his famous prism experiment in which he analysed the decomposition of white light into basic colours. The pinhole camera is the basic principle behind all photography from the earliest to modern-day digital cameras. Here, Ibn al-Haytham decisively distinguished the study of optics (both physical and geometric) from that of visual perception, experimentally establishing optics and more generally physics as an independent science. This was the first time that the vision was understood treating the eye as an instrument. Ibn al-Haytham's achievement was to come up with a theory which successfully combined parts of the mathematical ray arguments of Euclid, the medical tradition of Galen, and the intromission theories of Aristotle.

Ibn al-Haytham also discovered spherical aberration. He developed mathematical equations to explain the reflection of light from curved mirrors. He also examined the double refraction in a sphere and related problems (double refraction occurs in certain crystals in which the velocity of light rays is not the same in all directions). His expertise in experiments and mathematical modelling provided the right tools to tackle many optics-related problems. He could conclude that light travelled with different speed in different materials. Ibn al-Haytham enunciated that "a ray of light, in passing through a medium, takes the path which is the easier and quicker". In this he was anticipating Fermat's Principle of

Fig. 5 Two views of the frontispiece of the first edition of the Latin translation of Ibn al-Haytham's book "Kitab al-Manazir" (Book of Optics) as "Opticae Thesaurus Alhazeni"; Courtesy Posner Memorial Collection at Carnegie Mellon University, USA.

Least Time by many centuries [17, 18]. The beginning of the analogy between geometrical optics and mechanics, usually attributed to Descartes, can be traced back to Ibn al-Haytham [19]. In passing, we note that now Hamilton's opto-mechanical analogy has been extended into the wavelength-dependent regime [20-24]. He studied a variety of optical phenomena such as dispersion of light into constituent colours, rainbows, shadows and eclipses. He introduced the concept of atmospherics refraction, twilight and the Moon illusion (Moon appears bigger on the horizon than when it is higher in the sky). Ibn al-Haytham went against the accepted wisdom by arguing that light has a finite speed.

The voluminous "Kitab al-Manazir" was first translated into Latin as "De Aspectibus" sometime prior to the 1230s, and the proposals contained within it were used in the optics manuscripts "Perspectiva" by Roger Bacon (1265), "Perpectiva" by Witelo (1275) and "Perpectiva Communis" by John Pecham (1290). These scholars viewed optics in the context of vision motivated by religious beliefs and hence their approach was that of theologians [25-26]. It was translated again into Latin in 1270 as "Opticae Thesaurus Alhazeni" (fig. 5). The Latin translation is available online from [27]. The other book which was extensively translated was "On Parabolic Burning Mirror".

Few mathematical and scientific writings in the Middle Ages have been as influential as those of Ibn al-Haytham, whose works were translated into Latin, Italian, and Hebrew. These two titles alone provided the basis of research in optics for centuries. His mathematical works influenced Roger Bacon (1214-1292), Frederick of Fribourg, Johannes Kepler (1571-1630), Snell (1580-1626), René Descartes (1596-1650), Christiaan Huygens (1629-1695) and many others. Ibn al-Haytham's work was republished in Latin in 1572, after the advent of the printing press, and is explicitly referenced in the writings on optics by Johannes Kepler, Snell, Fermat (1601-1665) and several others. Other scientists such as Leonardo da Vinci (1452-1519) and Isaac Newton (1643-1727) also benefited from his theories in optics and other fields [7-8, 10, 13-15, 25-26].

Ibn al-Haytham not only had direct influence on the development of European science, theology and literature, but also an indirect influence on art as revealed in recent discoveries [25-26]. To date, an asteroid has been named as asteroid 59239 Alhazen in his honour. As well as the crater Alhazen on the Moon, which lies near the eastern rim of the Moon's near side (Latitude: 15.9°N and Longitude: 71.8°E).

The medieval Islamic contributions to optics laid the

foundation for the development of microscope and telescope. Based on the detailed descriptions in the Medieval Arab texts, it has been possible to reconstruct the numerous instruments such as astrolabes (instrument used for solving problems relating to time and the position of the Sun, Moon and stars in the sky), scalpels and clocks. A notable effort in this enterprise is that of the Turkish academic, Fuat Sezgin, who has displayed over a thousand instruments in the Institute for the History of Arabic-Islamic Science at the University of Frankfurt [28].

Three centuries after Ibn al-Haytham, the Persian physicist Kamal al-Din al-Farisi (1267-1319) wrote an important commentary on the Ibn al-Haytham's Book of Optics, in which he set out to explain many natural phenomena. For example, by modelling a water drop using Ibn al-Haytham's study of the two refractions in a sphere, he gave the first correct explanation of the rainbow. Al-Farisi also proposed the wave nature of light [29]. By contrast, Ibn al-Haytham had modelled light using solid balls in his experiments on reflection and refraction. Thus the question was proposed: is light wave-like or particle-like?

In our narration, we have mainly focused on Ibn Sahl and Ibn al-Haytham in fair detail. There are several other prominent scientists, who had worked on optics. The list includes: Yaqub Ibn Ishaq Ibn Sabah Al-Kindi (801-873); Hunayn ibn Ishaq (809–873); Abu Sahl Waijan Ibn Rustam Al-Quhi (940-1000); Qutb Al-Din Al-Shirazi (1236-1311); and Kamal Al-Din Al-Farisi (1267-1319). Fitting them in this short note would have been difficult. The reader is referred to the exhaustive works in [30-32].

5 Concluding remarks

We have briefly reviewed the ancient Greek contributions to optics. We have further seen how these historic works reached the Arab scholars during the 8th-10th centuries, through the route of translations. There are two aspects to be emphasized at this point. Firstly, there was a large-scale effort to gather Greek and other scholarly works and then translate them into Arabic. This gigantic endeavour was under a royal patronage of the enlightened caliphs spread over a period of more than two centuries. Such a sustained patronage is remarkable. This enabled the preservation of the scientific tradition, which is a shared heritage of the human race. This preservation alone would have provided the Medieval Arabs a special place in the history of science. Secondly, the exercise of translation and preservation enabled the scholars of that era to learn from diverse sources and prepare a fertile atmosphere for original contributions.

The original contributions of the Medieval Islamic scholars were of the highest calibre. Their achievements had a profound influence on the renaissance of science in Europe. European scholars also took very similar footsteps and translated the encyclopaedic knowledge of the Islamic scholars from Arabic to Latin and other European languages.

It is high time to recognize the Medieval Islamic achievements in optics and other sciences and give the due credit, which they rightly deserve. There have been numerous conferences on Arab Contributions to Science [33-35]. But this era of golden history is yet to find a mentionable place in school textbooks. The International Year of Light with its numerous outreach programmes is an excellent platform to convey the history of optics and science in general to those who are not fully aware of it. At the same time it is time for the Arab and Islamic countries to reflect on the decline of science in their nations and look forward to turning a new leaf. These countries should seriously consider investing generously in research (both basic and applied).

Acknowledgements

I am grateful to the Società Italiana di Fisica for offering this opportunity to present a historical account of Islamic achievement in sciences.

References

[1] D. C. Lindberg, "*Medieval Islamic Achievement in Optics*", *Opt. Photon. News*, 14 (7) (2003) 30; Akhlesh Lakhtakia, "*Optics in Medieval Islam*", *Opt. Photon. News*, 14 (9) (2003) 6.

[2] Z. Virk, "*Europe's Debt to the Islamic World*", *Rev. Relig.*, 98 (7) (2003) 36.

[3] A.I. Sabra (Editor), "*The Optics of Ibn al-Haytham, Books I-II-III: On Direct Vision*". The Arabic text, edited with Introduction, Arabic-Latin Glossaries and Concordance Tables. (National Council for Culture, Arts and Letters, Kuwait) 1983.

[4] A.I. Sabra (Translator), "*The Optics of Ibn al-Haytham. Books I-II-III: On Direct Vision*". English Translation and Commentary, 2 volumes, in "*Studies of the Warburg Institute*", vol. 40 (The Warburg Institute, University of London, London)1989.

[5] A.I. Sabra (Editor), "*The Optics of Ibn al-Haytham. Edition of the Arabic Text of Books IV-V: On Reflection and Images Seen by Reflection*", 2 volumes (The National Council for Culture, Arts and Letters, Kuwait) 2002.

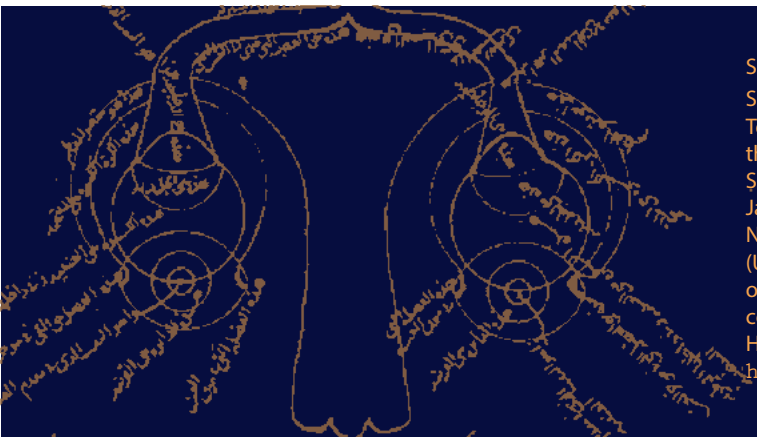
[6] S. A. Khan, "*Science Historian Roshdi Hifni Rashed Awarded the King Faisal International Prize for 2007*", *Europhys. News*, 38 (2) (2007) 7.

[7] R. Rashed, "*A Pioneer in Anaclastics: Ibn Sahl on Burning Mirrors and Lenses*", *Isis*, 81(1990) 464 and `http://press.uchicago.edu/ucp/journals/journal/isis.html`

[8] R. Rashed, "*Géométrie et Dioptrique au Xe siècle: Ibn Sahl, al-Quhî et Ibn al-Haytham*" in "*Collection Sciences et Philosophie Arabes, Textes et Études*" (Les Belles Lettres, Paris) 1993. `http://www.lesbelleslettres.com/`

[9] K. B. Wolf and G. Krötzch, "*Geometry and dynamics in refracting systems*", *Eur. J. Phys.*, 16 (1) (1995) 14.

[10] A. Kwan, J. Dudley and E. Lantz, "*Who really discovered Snell's Law?*", *Physics World*, 15 (4) (2002) 64. http://physicsworldarchive.iop.org/full/pwa-pdf/15/4/phwv15i4a44.pdf.
[11] K. B. Wolf, "*Geometric Optics on Phase Space*" (Springer) 2004, pp. 8-9 and pp. 57-58,.
[12] A. M. Smith, "*What is the History of Medieval Optics Really about?*", *Proc. Am. Philos. Soc.*, 148 (2), (2004) 180.
[13] S. A. Khan, "*Medieval Arab Understanding of the Rainbow Formation*", *Europhys. News*, 37 (3) (2006) 10. http://www.europhysicsnews.org/articles/epn/pdf/2006/03/Whole_issue.pdf.
[14] S. A. Khan, "*Arab Origins of the Discovery of the Refraction of Light; Roshdi Hifni Rashed Awarded the 2007 King Faisal International Prize*", *Opt. Photon. News*, 18 (10) (2007) 22. http://www.osa-opn.org/Content/ViewFile.aspx?id=10890.
[15] R. Rashed, "*A Polymath in the 10th Century*", *Science*, 297 (2002) 773. http://dx.doi.org/10.1126/science.1074591
[16] Website of 1001 Inventions, http://www.1001inventions.com/
[17] A. Salam, in "*Ideals and Realities*", edited by C. H. Lai and Azim Kidwai, third edition (World Scientific, Singapore) 1989, pp. 283
[18] A. Salam, in "*Renaissance of Sciences in Islamic Countries*", edited by H. R. Dalafi and M. H, A. Hassan (World Scientific, Singapore)1994, p.31.
[19] D. Ambrosini, A. Ponticiello, G. Schirripa Spagnolo, R. Borghi, and F. Gori, "*Bouncing light beams and the Hamiltonian analogy*", *Eur. J. Phys.*, 18, (1997) 284.
[20] R. Jagannathan, R. Simon, E.C.G. Sudarshan and N. Mukunda, "*Quantum theory of magnetic electron lenses based on the Dirac equation*", *Phys. Lett. A*, 134, (1989) 457.
[21] R. Jagannathan, "*Quantum theory of electron lenses based on the Dirac equation*", *Phys. Rev. A*, 42 (1990) 6674.
[22] M. Conte, R. Jagannathan, S.A. Khan and M. Pusterla, "*Beam optics of the Dirac particle with anomalous magnetic moment*", *Part. Acc.*, 56 (1996) 99.
[23] R. Jagannathan and S. A. Khan, "*Quantum theory of the optics of charged particles*", Chapter 4 in "*Advances in Imaging and Electron Physics*", edited by P. W. Hawkes, B. Kazan and T. Mulvey, vol. 97 (Academic Press, San Diego) 1996 pp. 257-358, http://dx.doi.org/10.1016/S1076-5670(08)70096-X
[24] S. A. Khan, "*The Foldy-Wouthuysen Transformation Technique in Optics*", Chapter 2 in "*Advances in Imaging and Electron Physics*", edited by Peter W. Hawkes, vol. 152 (Elsevier) 2008, pp. 49-78. http://dx.doi.org/10.1016/S1076-5670(08)00602-2
[25] C. M. Falco, "*Ibn al-Haytham and the Origins of the Modern Image Analysis*", in "*Proceedings of the 9th International Symposium on Signal Processing and its Applications*", 12-15 February 2007, Sharjah, United Arab Emirates (IEE, Digital Library) 2007.
[26] D. Hockney, J.T. Spike, S. Grundy, R. Lapucci, F. Camerota, C.M. Falco and C. Pernechele, "*Ibn al-Haytham's Contributions to Optics, Art, and Visual Literacy*", in *Painted Optics Symposium*, 7-9 September 2008, Florence, Italy (Fondazione G. Ronchi, Firenze) 2009.
[27] The Latin Translation of "*Kitab al-Manazir*" as "*Opticae Thesaurus*" is available in the online Posner Memorial Collection at Carnegie Mellon University, http://posner.library.cmu.edu/Posner/books/book.cgi?call=535_A17O_1572
[28] A. Abbott, "*Rebuilding the Past*", *Nature*, 432 (2004) 794. The Museum Website, http://web.uni-frankfurt.de/fb13/igaiw/
[29] M. Salih, M. Al-Amri and M. El-Gomati, "*The Miracle of Light*", *A World of Science*, 3 (4) (2005) 2. http://www.unesco.org/science/infocus_full_oct_05.shtml; "*Natural Science Quarterly Newsletter*", UNESCO Publication No. 385 (February 2006), (Foundation for Science Technology and Civilization, UK, http://www.fstc.org.uk/).
[30] M. Zghal, H.-E. Bouali, Z. Ben Lakhdar and H. Hamam, "*The first steps for learning optics: Ibn Sahl's, al-Haytham's and Young's works on refraction as typical examples*", in "*Proceedings of The Education and Training in Optics and Photonics Conference (ETOP) 2007*", 3-5 June 2007, Ottawa, Canada (OSA, Washington DC) 2008. http://spie.org/Documents/ETOP/2007/etop07fundamentalsII.pdf
[31] J. Al-Khalili, Pathfinders: "*The Golden Age of Arabic Science*" (Penguin Books) 2010.
[32] T. Padmanabhan, "*Dawn of Science 6. The Arab Legacy*", *Resonance*, 15 (11), (2010) 1009. http://www.ias.ac.in/resonance/Volumes/15/11/1009-1015.pdf; The Dawn of Science is a series of articles running into 24 parts: during June 2010 and June 2012. All parts: Resonance, Vol.15: p. 498, p. 590, p. 684, p. 774, p. 870, p. 1009, p. 1062; Vol.16: p. 6, p. 110, p. 274, p. 304, p. 446, p. 582, p. 663, p. 770, p. 854, p. 950, p. 103; Vol.17: p. 6, p. 106, p. 230, p. 324, p. 436 and p. 532. Monthly Publication of the Indian Academy of Sciences, Copublished with Springer.
[33] S. A. Khan, "*Report of the First International Conference on Arabs' and Muslims' History of Sciences*", 24-27 March 2008, University of Sharjah, Sharjah, United Arab Emirates, *Am. J. Islam. Soc. Sci.*, 25 (3) (2008) 158.
[34] Sameen Ahmed Khan, "*Report of the Second International Conference on Arabs' and Muslims' History of Sciences*", 8-11 December 2014, University of Sharjah, Sharjah, United Arab Emirates, *BaKhabar*, 8 (1) (2015) 11.
[35] S. A. Khan, "*Report of the Second Arab-American Frontiers of Sciences, Engineering, and Medicine Symposium*", 13-15 December 2014, Muscat, Sultanate of Oman, *BaKhabar*, 8 (1) (2015) 3.



Sameen Ahmed Khan

Sameen Ahmed Khan is Assistant Professor of Physics at the Salalah College of Technology, Salalah, Sultanate of Oman. He obtained a PhD on the Quantum theory of charged-particle beam optics, from the Institute of Mathematical Sciences, Chennai, India, under the supervision of Prof. Ramaswamy Jagannathan. He did post-doctoral research at the Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Padova, Italy and Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Cuernavaca, Mexico. He has developed a matrix formulation of light optics using quantum methodologies. He has presented his work at several conferences and has authored four book chapters and about 50 publications. He has over 160 publications on science popularization. Further details at http://SameenAhmedKhan.webs.com/

RADIOCHEMICAL SOLAR NEUTRINO EXPERIMENTS: DOOR OPENER FOR MODERN ASTROPARTICLE PHYSICS

TILL A. KIRSTEN*
Department of Astroparticle Physics, Max-Planck Institut für Kernphysik, Heidelberg, Germany

Solar energy generation through hydrogen fusion produces abundant low-energy neutrinos that can act as messenger particles about the real-time status of the solar interior. Their flux and spectrum can serve to test the solar model predictions. At the same time, the superior baseline of 150 million kilometres for the Sun-Earth distance allows to search for manifestations of tiny non-zero neutrino masses in form of neutrino flavour oscillations.
Solar neutrino detection is a formidable experimental challenge because of the extremely small interaction cross sections. This narrative describes the development of the hunt for solar neutrino detection that lasts now for more than 50 years, with emphasis on the first 35 years from 1962 to 1997. This path making period is marked by "radiochemical" experiments with very large Chlorine and Gallium detectors that were installed in deep underground laboratories for suppression of background reactions. The encouraging results from the radiochemical experiments intensified the later development of modern super-sized real-time detectors. Neutrino astrophysics is now a flourishing field, competitive and complementary with accelerator particle physics. Long forgotten, this was triggered by radiochemical experiments.

1 How it all started

Neutrinos are the most abundant elementary particles in the universe, even more abundant than photons. Notwithstanding, for long they remained mysterious because of their elusive properties: seemingly massless, without electric charge, and without any strong interaction with matter. To begin with, they were not even discovered but just postulated by Wolfgang Pauli in 1930 to account in a hypothetical way for the missing energy in the continuous spectra of radioactive nuclei that emit electrons (Beta-particles). Such beta decays are the major manifestation of the Weak Force, the least familiar of the four fundamental interactions that rule our world (the others being gravity, electromagnetism, and the strong nuclear force, that governs alpha radioactivity, fission and nuclear reactions). It is in these Beta processes that neutrinos come into being by virtue of weak interactions.

A hypothetically invented particle longs for experimental detection, but with no manifest interactions, this wish seemed to be an illusion. Following Enrico Fermi's theory of Beta decay, the cross section of a MeV neutrino beam with matter was estimated to be so small – $O(10^{-44}\text{cm}^2)$ – that it could penetrate the whole Earth or the whole Sun without any measurable absorption. However, in 1946 Bruno Pontecorvo (fig. 1) overcame the resignation of hopelessness for neutrino detection by suggesting that the signal rate in an attempted experiment could be greatly enhanced by not looking for the individual interactions but using a detection scheme that is based on inverse Beta decay in a huge detector where the small individual reaction cross section is (at least in part) compensated for by a very large number of target nuclei. Inverse

* E-mail: till.kirsten@mpi-hd.mpg.de

Fig. 1 Bruno Pontecorvo and Till Kirsten at Selinunte Temple, 1989

Beta decay implies that a target nucleus with *Z* protons absorbs a neutrino and forms, with the emission of an electron, a product nucleus *Z*+1. In the same paper, Pontecorvo made a very practical suggestion for the case of taking ^{37}Cl as the target: ^{37}Cl (ν, e^-) ^{37}Ar .

The historical quote in the famous 1946 "Chalk River Report" [1] reads:

"The experiment with Chlorine, for example, would consist in irradiating with neutrinos a large volume of Chlorine or Carbon Tetra Chloride, for a time of the order of one month, and extracting the radioactive Ar37 from such volume by boiling. The radioactive argon would be introduced inside a small counter… "

^{37}Ar has a half life of 34 days. If one follows its decay for a few months in a counter with very low background ("Low-Level-Counter"), the neutrino-induced production rate can be determined.

This defined once and forever the principles of what became later known as the "Radiochemical Method" of rare event detection. The accumulation of interaction products during a rather long collection time lowers the detection limit dramatically. The prize to pay for this is the loss of the kinematic details of the individual events. It is then mandatory to exclude disturbing backgrounds and side reactions that could mimic the rare reaction under study (*e.g.* neutrino capture). This crucial aspect is already considered in the Chalk River report.

Pontecorvo's intention was to experimentally assure the questionable existence and the fundamental properties of the neutrino, whether it exists at all, and what is its role in the overall scheme of elementary particles. Astrophysical objects appeared on the scene as potentially strong neutrino sources in experiments to investigate neutrino properties. It was well known since the works of Sir Arthur Eddington that stars (like our Sun) produce most of their energy by nuclear fusion reactions. If neutrinos existed at all, this would make stars very intense neutrino sources. Other than photons, neutrinos would freely escape the stellar core where they were produced, testimonial about the conditions at their origin – a real time look into the stellar centre!

In 1946, for the detection of neutrinos Pontecorvo considered primarily a nuclear reactor as neutrino source, but since the conception of lepton number conservation (the distinction between neutrino and antineutrino) was not established at the time, he also considered the possibility to use the Sun as a neutrino source for detection. However, he dismissed this possibility because of inappropriate flux and cross section estimates. Notwithstanding, the fascinating idea of looking directly into the solar core and to experimentally verify hydrogen fusion as the prime source of stellar energy initiated closer examinations by H.R. Crane from Caltech and – in particular detail – by Luis Walter Alvarez from Berkeley University [2]. Many questions remained open, both concerning theoretical principles and very uncertain production rate predictions. In spite of this, in 1958 Raymond Davis jr. at the Chemistry Department of Brookhaven National Laboratory (BNL) started the first experimental realizations of the ^{37}Cl-^{37}Ar detection scheme with a 1000

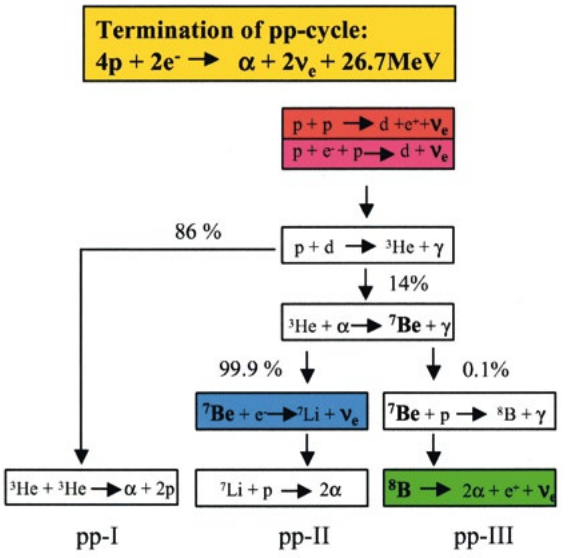


Fig. 2 Solar fusion reaction chains.

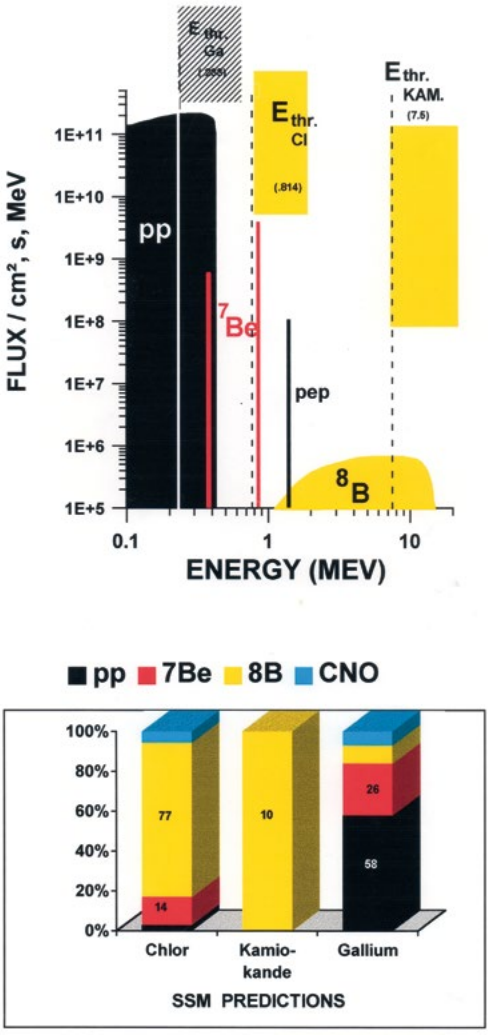


Fig. 3 Top: Solar neutrino spectrum expected from the Standard Solar Model (SSM). Bottom: Expected percentage participation of neutrino types to the expected signal without propagation effects in key solar neutrino experiments.

gallons perchlorethylen (C_2Cl_4) experiment that he exposed at the Savannah River power reactor plant, with discouraging results. But the experiment defined the prerequisites that needed to be addressed: working in deeply shielded underground laboratories, hyper purity for consequent background reduction and ultimate low level techniques.

2 Feasibility of a solar neutrino detector

Main sequence stars like our Sun produce neutrinos while they generate their energy through slow hydrogen burning over billions of years. A first estimate of the expected pp-neutrino flux comes from the well-known solar luminosity. In each fusion chain $4H \rightarrow {}^4He$ that is completed in the solar core, 26.73 MeV of energy and 2 neutrinos are generated. The core temperature T_c is 15.8 million K. On average, 0.59 MeV escape with neutrinos; 26.14 or 13.07 MeV per pp-neutrino make the Sun luminous. Dividing the solar luminosity by 13.07 MeV yields the total pp-neutrino flux. At the Earth, 150 million km away from the source, this flux is $6 \times 10^{10} cm^{-2} s^{-1}$ [3]. It depends only moderately on the central temperature ($\sim T_c^{-1}$).

In spite of this very high flux, for a long time a solar neutrino experiment seemed unrealistic because of the extremely small cross sections. In addition, the low energy of pp-neutrinos (maximum 420 keV) excluded altogether the option to detect them with a ^{37}Cl-^{37}Ar detector since its energy threshold is 814 keV. There remained the vague possibility to settle for the higher energetic ^8B neutrinos from the rare PPIII side branch of the solar fusion reaction network (see fig. 2), but their flux is much lower, less well predicted and the contribution of this branch to the solar luminosity is negligible.

Against all odds, two scientists did not give up but rather devoted their further scientific carrier to this outrageous task, Ray Davis as experimentalist and John Bahcall as theoretical astrophysicist at the Princeton Institute for Advanced Studies.

First of all, a reliable prediction for the expected solar neutrino fluxes had to be deduced from the best available solar model (Standard Solar Model, SSM).

Various specific reaction chains produce a neutrino spectrum in the energy range of $O(10^{-1} – 10)$ MeV (fig. 3). The most important chain, the pp-chain, produces three kinds of neutrinos:

(1) PPI: $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu$.

The endpoint energy of the continuous pp neutrino energy spectrum is 0.42 MeV. pp-neutrinos can not be detected with a Chlorine detector (threshold 814 keV).

As already mentioned, more energetic neutrinos are produced in the two other branches of the pp-chain:

(2) PPII: $^{7}Be + e^{-} \rightarrow {}^{7}Li + \nu$,

(electron capture of ^{7}Be formed from ^{3}He + ^{4}He). These monoenergetic neutrinos (0.86 MeV) are only marginally detectable with the Chlorine detector. The expected flux of ^{7}Be-neutrinos is ~5 x 10^{9} $cm^{-2}s^{-1}$, it depends strongly on T_c (~T_c^8).

(3) PPIII: $^{8}B \rightarrow {}^{8}Be + e^{+} + \nu$,

(positron decay of ^{8}B formed from ^{7}Be+p). The endpoint energy of ^{8}B-neutrinos is 14.1 MeV. The expected flux is ~5×10^{6} $cm^{-2}s^{-1}$. It depends excessively on the central temperature (~T_c^{18}) hence the exact value of this very low flux is rather model dependent. Nevertheless, as already mentioned in principle it is possible to detect ^{8}B neutrinos with a Chlorine detector.

In addition, some neutrinos are also produced in the CNO cycle but in stars of one solar mass their fluxes are rather low, other than in hotter more massive stars.

In order to deduce expected production rates in a potential solar neutrino detector, John Bahcall also scrutinized the detector capture cross sections (*ft*-values for inverse beta decay) for the candidate target nuclides and estimated possible detection efficiencies for the product nuclides [2]. All partial neutrino branches, *i*, above threshold contribute to the signal as $S = \Sigma S_i = \Sigma \langle \Phi_i \sigma_i N_t \rangle$, where Φ_i is the neutrino flux, σ_i the cross section and N_t the number of target nuclei.

To obtain say 1 event per day, tens of thousand tonnes of material are needed, depending on the specific reaction. The appropriate unit for such minute production rates is the Solar Neutrino Unit (SNU): 1 SNU = one reaction per 10^{36} target atoms per second.

Concerning a Chlorine detector, the result was that even the weak ^{8}B neutrino channel could produce a few ^{37}Ar atoms per day in *O*(100 t) of ^{37}Cl.

There was also the question whether other astrophysical neutrino sources besides solar neutrinos that arrive at the detector could disturb the measured solar neutrino signal. However, this is not the case for the following reasons:

- Since the Sun is so much closer to the Earth than all other stars, the background in a solar neutrino experiment expected from fusion neutrinos of other stars in our Galaxy is completely irrelevant because of the power of $1/r^2$ scaling.
- A huge number of "Cosmological neutrinos" – with a flux of *O*(10^{14} $cm^{-2}s^{-1}$) on Earth – was produced in the Big Bang; yet their energy of *O*(10^{-3} eV) is so low that they are undetectable and can be disregarded as potential background in solar neutrino experiments (in this range, the cross sections scale quadratically with the neutrino energy).
- Collapsing stars in the Galaxy that produce an intense neutrino burst with energies of *O*(10 MeV) are of course exciting research objects in their own, yet the Supernova-neutrinos contribute no background in solar neutrino studies since the collapses are rare and transient (typically lasting only for seconds). The $1/r^2$ effect also excludes any interference from the universal Supernova neutrino background.
- High Energy Cosmic Ray interactions in the upper Earth atmosphere produce high energy – *O*(GeV) – neutrinos (coined "atmospheric") that could eventually disturb measured solar neutron signals because of their higher interaction cross section. Yet their integral flux – *O*(1 $cm^{-2}s^{-1}$) – is so low that their disturbance potential in spite of their high energy is at most marginal (<1%). Of much more practical concern in the context of radiochemical solar neutrino experiments are the cosmic rays themselves (nucleons, also as secondaries from deeply penetrating muons). They must be shielded to avoid (p,n) reactions on the target nuclide, a process that would mimic neutrino capture. Consequently, solar neutrino experiments must be accommodated in subterranean mines or mountain tunnels which are shielded by as much overlying rock as possible (thousands of meters). This rock should be low in natural radioactivities (U,Th,^{40}K) to prevent competing alpha or neutron-induced side reactions in the target.

It was not by chance that Bruno Pontecorvo had suggested the Cl-Ar scheme, because there were not many alternatives. For the radiochemical method to be applicable in practice, many prerequisites exist: The threshold has to be low, the lifetime of the product must not be overly short for effective accumulation (>few days) and not overly long to create enough specific activity (< few months). The isotopic abundance of the target nucleus must by sufficiently high. The chemical separation of the product from the target must be feasible with a separation factor of *O*(10^{30}). Ideal is Ar, a non-reactive volatile rare gas. A viable low-level counting method for the product nuclide must exist. Last but not least, multi-tons of the target element in sufficient purity must be accessible and affordable. A ^{71}Ga-^{71}Ge-Experiment (11.43 days half life of ^{71}Ge) was very desirable since the low threshold of 233 keV makes it sensitive to pp-neutrinos. However, in the early years the chances of realization for a Gallium experiment have been very bad because there was no worked out Ga-Ge separation procedure, no applicable counting technique for ^{71}Ge, and, in particular, no gallium. Tens of tons of the rare metal (twice the annual world production) were neither available nor payable.

On the experimental side, Ray Davis had operated a test experiment with 3800 liters of perchlorethylene (C_2Cl_4) close to the Savannah River Reactor and tested a He-purging

Fig. 4 The Homestake Chlorine Detector.

technique to quantitatively extract ^{37}Ar from large amounts of C_2Cl_4, admix it to the argon/methane counting gas and fill it into a gas proportional counter. The whole gas volume was kept below 1 cm^3. This allowed to miniaturize ultrapure gas proportional counters in order to lower the intrinsic counter background by orders of magnitude. The absence of a ^{37}Ar signal provided strong evidence for the difference between reactor (anti)neutrinos and solar neutrinos. The significant zero result encouraged Davis to conclude that the solar neutrino signal of a handful of ^{37}Ar atoms could in principle be detected and that backgrounds need not be prohibitive if the experiment were carried out in a laboratory deep underground.

In 1964, Bahcall and Davis published back to back two short notes in "Physical Review Letters" in which they summarized the status of their work up to this time [4]. From there on, solar neutrino detection changed from utopia to a feasible possibility.

In 2015, we celebrate the 50th anniversary of this landmark. The painful and joyful detail that followed was full of surprises. Skepticism of the scientific community remained dominant for a long time, yet at the end this new field of research led to fundamental insights far beyond the initial goal, namely the experimental proof that the life of the Sun is sustained by nuclear energy and continues to do so today. It culminated in the Nobel Prize that was awarded to Ray Davis in 2002. In this context personal reflections of mine on his personality and working style are presented in [5].

3 The Homestake Chlorine Experiment

It was clear that the detector had to be very big in order to produce at least a few neutrino induced ^{37}Ar atoms per month. At the same time, competing background reactions would demand preventive measures with very large depression factors. After a difficult search for a suitable site, Davis arranged with the management of the active Homestake Gold mine in Lead (South Dakota) the construction of an underground laboratory (fig. 4) shielded by 1480 m of rock, corresponding to 4200 m of water equivalent (m.w.e.). At that depth, the residual cosmic ray muon flux is reduced to ~4 muons/(d m^2). 380 000 liter of perchlorethylene (C_2Cl_4) were exposed in a single tank. This corresponds to 133 t of ^{37}Cl (the isotopic abundance of ^{37}Cl is 24.2%). For 5 SNU, one would expect that solar neutrinos produce about one ^{37}Ar atom/d, >10 times the known

backgrounds to be expected. An exposure lasted typically for 2-3 months. Then, ^{37}Ar is flushed from the target in a helium stream together with some inactive carrier argon to trace the recovery. The argon is then collected at a charcoal trap, purified from non-inert gases and prepared for counting. For many years, Davis had tediously developed his ultra low background gas proportional counter ("Davis counter"). Special preparation techniques and extreme radiopurity of the counter materials led to backgrounds as low as <1 count per month in the ^{37}Ar signal acceptance window. After counter filling, counting lasted for 6–12 months in order to characterize also the counter background after the ^{37}Ar has decayed.

The signature of ^{37}Ar decay by electron capture back to ^{37}Cl is 2.8 keV Auger electrons. Rise time analysis of the point-like decay pulses is used to distinguish them from extended Compton-like background pulses.

Data taking with the Homestake detector started in 1968 and continued till 1995, results from 108 exposure periods ("runs") were collected. The overall result for this period was 0.48 ± 0.04 ^{37}Ar atoms per day. This corresponds to 2.56 ± 0.22 SNU (1σ), after subtraction of ~15% production due to known side reactions [5].

One should recognize that it is the statistics of more than 25 years of tedious operations that finally resulted in such a precise result, whereas the statistical significance of a single run is very close to zero. This is why this whole period of Homestake data taking was accompanied with claims of temporary fluctuations or periodicities that discredited the meaning of the results and therefore of the credibility of the questioned experiment altogether. Preoccupied super experts were just not willing to accept the fundamentals of the statistics of small numbers. Skepticism was frequent because of the unusual new experimental technique and the subtle nature of the signal, "playing billiard with a few atoms". In this critical phase, the institutional support or encouragement that Ray Davis received by BNL and, consequently, by DOE was rather limited.

Without the generous help of Ken Lande from Pennsylvania University, the Chlorine experiment would probably have come to an untimely early end. Consequently, Davis' working attitude was that of a lone wolf. In side experiments he could disprove virtually most intelligent and all not so intelligent suspicions. Unfortunately however, the plans to perform the ultimate performance test by exposing the Cl-detector to a suitable intense ^{65}Zn neutrino source did not materialize, mainly because of the above-mentioned problems and because of reactor-technological restrictions.

4 The Solar Neutrino Problem

The observed ^{37}Ar production rate of ~ 2.6 SNU made it highly probable that solar neutrinos had been observed for the first time. However, compared to the predicted rate of ~8 SNU, the observed rate corresponds to only ~1/3 of the expectation. This difference became known as the "Solar Neutrino Problem" (SNP). It seemed to indicate that the standard solar model does not fully describe the Sun and modifications are required that lower the ^{8}B-neutrino flux via a lower central temperature of the Sun.

Until ~1990, most attempts to explain this problem focused on details of solar physics. After 1990, the emphasis shifted from solar physics to particle physics as another possible cause of the missing electron neutrinos. This alternative interpretation was the possibility that we deal here with a propagation phenomenon in which something happens to the neutrinos on their way from the solar core to the detector on the Earth. On the way, they would in part change their identity so that they escape detection with the radiochemical detector.

It was already known that neutrinos come in three families (flavours) ν_e, ν_μ and ν_τ that are associated with electron, muon und tauon, respectively (in symmetry with the three existing quark families).

At the origin, solar neutrinos are electron neutrinos (ν_e) and radiochemical detectors are sensitive to ν_e only. As long as all neutrinos were massless, the flavours would not interact and a lepton number conservation law could exist for each flavour separately. However, if the flavour eigenstates had different masses, their flavour could oscillate during propagation along a travel path because of the velocity differences among the contributing mass eigenstates.

The principal conception of neutrino oscillations goes initially back to Bruno Pontecorvo, actually in that early stage he considered it for the case of neutrino-antineutrino oscillations. Going back to flavour oscillations, for long the preoccupation was that masses and mixing amplitudes should be – if not zero – then at least very small. Very small mass differences correspond to astronomical oscillation lengths, such as the Sun-Earth distance of 150×10^6 km. In 1978 it was recognized by Lincoln Wolfenstein, theoretician at the Carnegie-Mellon University in Pittsburgh, that high electron densities (*e.g.*, in the solar core) affect the mixing through coherent forward scattering of ν_e via charged currents. In 1984, Stanislav Mikheyev and Alexey Smirnov pointed out that the mixing amplitudes could be resonantly enhanced up to maximum mixing (level-crossing) in media of changing electron densities, even if they were small in vacuum ("MSW-effect").

This scenario exactly applies to our case: the solar neutrino beam propagates in a number of distinct environments: first the dense solar core, next the region of decreasing densities towards the solar surface, third the long distance in "vacuum", and finally the interior of the Earth (if the detector is at the night side). So the Sun is a very strong low-energy neutrino source that is well suited to test neutrino flavour oscillations and thereby to establish a non-vanishing neutrino mass. In short, the open question was whether the Solar Model or the neutrino mass is at the root of the Solar Neutrino Problem [2].

With the advent of the "Solar Neutrino Problem", a true symbiosis between neutrino particle physics and neutrino astrophysics appeared at the horizon. Nowadays, Astroparticle Physics has become a booming discipline and competes at the frontier line of particle physics on equal terms with high energy accelerator physics. The key question boiled down to whether there is a non-vanishing mass of neutrinos. This would imply that the Standard model of particle physics and interactions is not complete but "New Physics" is appearing at the horizon. The Solar Neutrino Problem started it all. The Chlorine experiment gave hints in this direction, but the uncertainties of the ^{8}B neutrino flux predictions and the missing neutrino source calibration made it impossible to allow a claim of such fundamental consequences. However, the hunt was on!

5 The GALLEX experiment

Detection of the most abundant but low-energy pp-neutrinos should lead to a clear distinction between the astrophysical and the particle physics solution of the SNP. The pp-neutrino flux is so accurately predicted from first principles explaining the well-known solar luminosity that an undisputed significant experimental deficit would make electron neutrino disappearance between Sun and detector the only viable explanation. The only (semi)practical option to measure pp-neutrinos was the possibility to use the reaction $^{71}Ga(\nu_e, e^-)^{71}Ge$ with a threshold energy of 233 keV. However, a realistic experiment would require 10–100 t of gallium. In the late seventies and eighties of the last century, this demoralizing condition slowly changed from impossible to being a financial problem because of the boom of the aluminum industry in the eighties of the last century. Gallium occurs as trace element at the ppm level in bauxite, the principle ore for aluminum production. In such low concentration, it does not affect the metallurgical properties of aluminum and is not normally removed in the aluminum production process. However, if the aluminum industry had found it financially attractive to extract the gallium traces from the bauxite before aluminum production, theoretically there would have been now enough raw material to produce a few tens of tons of gallium within a few years. However, this would require the construction of specific gallium plants for the separation, the prize estimate for high purity gallium was in the range of 1–2 million dollars per ton, with all risks on the customer. There were many open questions concerning the realization of such a project:

- Could industry achieve the required radiopurity of the product?
- Would it be possible to develop a functioning Ge-Ga separation technique with a separation factor of $>10^{30}$? (in this respect, Cl-Ar separation is child´s play)
- Could one develop a Low-Level-Counting procedure for ^{71}Ge counting?
- Could one establish a committing international network of top scientists with the respective expertise and support by their agencies?
- Was there a suitable underground laboratory?
- Before all these questions are answered, could one dare to ask for funding of order 100 million dollars?

From 1966 onwards, the author of this narrative (Till Kirsten) was a postdoc and young Research Associate at the Chemistry Department of Brookhaven National Laboratory and worked with Ray Davis and Oliver Schaeffer on single atom detection of radioactive and stable atoms that were produced in natural cosmic-ray-induced reactions in extraterrestrial meteorites and, for interpretation, in the accelerator irradiation of specific target elements to determine high energy proton-induced spallation production yields. These data were wanted to interpret the time variation of cosmic rays from the records of their "cosmogenically" produced interaction products (radioactive and stable) in

Fig. 5 Ray Davis and Till Kirsten.

freshly fallen meteorites. While the author´s main expertise came from the mass spectrometric detection of extremely small quantities of stable rare gas isotopes (*e.g.* ^{128,130}Xe and ^{82}Se for Double Beta Decay Detection; ^{3}He, ^{36,38}Ar, ^{20,21,22}Ne for cosmogenic nuclide production), Ray Davis devoted all his efforts to push down the background level of gas proportional counters and to develop a low level counter to measure ^{3}H (tritium) and ^{37}Ar, clearly with solar neutrinos in the back of his mind. From there on he addicted me to the solar neutrino hunt (fig. 5). This was at the root of a life long lasting collaboration between BNL and the Heidelberg Max-Planck Institute for Nuclear Physics (MPIKH). The next few years were dominated by our institutes engagements in the NASA Apollo Lunar Sample Analysis Program in which our experimental capabilities of low level counting and determination of minute quantities of stable rare gas isotopes by mass spectrometry were urgently requested. We did our lunar job rather well, yet clearly Ray Davis considered this only as a training phase for a Chlorine detector. In my case I asked myself: "if men can go to the Moon and bring back samples that we analyze, why can't we get these damned 30 tons of gallium?"

So in 1979, we investigated the technical, fiscal and practical possibilities for a joint MPI/BNL Gallium experiment in the Homestake mine (fig. 6). Unfortunately, these efforts failed in all logistic aspects:

- The funding efforts at DOE failed in spite of John Bahcall´s influential help, most probably because the whole conception of radiochemical neutrino experiments had the image of being exotic, at best. More often, it triggered late party amusement at conference banquets.
- There was no additional space and infrastructure at Homestake. Quite understandably the much cheaper Chlorine experiment was closer to the heart of Ray Davis. In this situation, he chose to operate "low key" together with very few collaborators, primarily Bruce Cleveland and Keith Rowley.

A similar approach was out of question for a Gallium experiment. It was clear that a large international collaboration would be indispensable to produce and fund the required gallium and to solve all technical problems. This started our efforts to perform the Gallium experiment in Europe (fig. 7). This decision has never disturbed the friendly and fruitful cooperation between Heidelberg and Brookhaven during all coming years, Brookhaven's radiochemists Robert Hahn and Keith Rowley have been important members of the GALLEX collaboration from early on.

Tests, pilot experiments and feasibility studies concerning ^{71}Ge low level counting in Heidelberg had already started in 1979. With great support from Antonino Zichichi, Nicola Cabibbo, Enrico Bellotti and Luciano Paoluzi, INFN set aside the required space and provided infrastructure in the Gran Sasso Underground Laboratory (LNGS), the first large underground facility that was exclusively devoted to fundamental research. GALLEX was the first experiment to operate there.

On commercial terms, Rhone Poulenc constructed the factory to produce 30 t of gallium after funding was assured by the Max-Planck Society and by the Alfried Krupp von Bohlen and Halbach Foundation.

Fig. 6 Planning the BNL-MPI Gallium Experiment at BNL in 1979: clockwise from left: Ray Davis, Gerhard Friedlander, John Bahcall, Maurice Goldhaber, Israel Dostrovsky, N.N., Seymour Katcoff, Jerry Hudis, Till Kirsten, Ken Lande.

Fig. 7 GALLEX International Collaboration (France, Germany, Italy, Israel, USA).

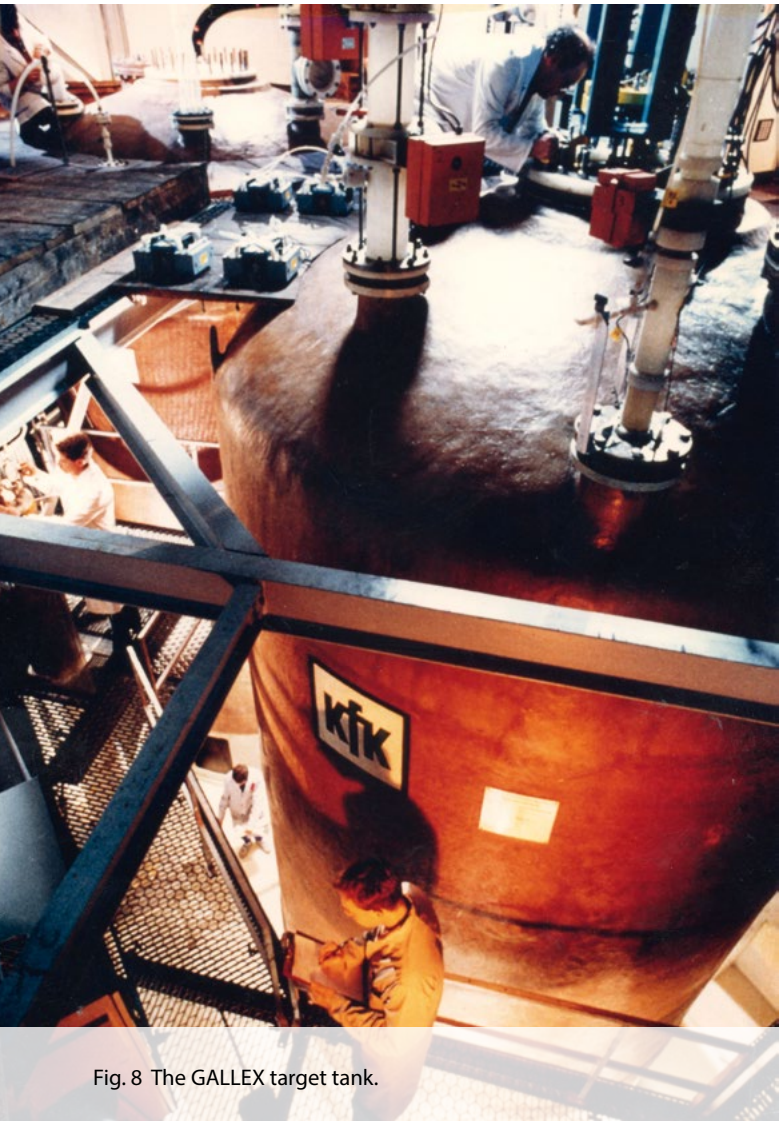


Fig. 8 The GALLEX target tank.

Klaus Ebert and Edmund Henrich from FZK Karlsruhe contributed the large scale chemical engineering for the Ge-Ga separation under the difficult condition of radiochemical hyperpurity. It was decided to use the target in form of an aqueous solution of 8 molar gallium chloride (100 t, containing 30.3 t of gallium). In this highly acidic medium, the neutrino produced ^{71}Ge together with some inactive Ge carrier forms volatile germanium tetrachloride ($GeCl_4$) that is purged with nitrogen from the target solution. Later, the sample is chemically converted in GeH_4 that has favorable properties for gas proportional counting (in analogy to methane, the most preferred counting gas). In a large group effort at MPIK Heidelberg, Wolfgang Hampel and Gerd Heusser had developed the specific low level techniques for ^{71}Ge proportional counting at world record low background rates[3].

Construction and test operations in the LNGS lasted from 1986 to 1991. On May 14, 1991 the first Solar Neutrino recording started [3, 6, 7].

The GALLEX target tank (fig. 8) contained 100 t of 8 molar gallium chloride solution, equivalent to 30.3 t of gallium. This mega-sized teflon lined plastics tank was a technological novelty at the time. During 16 years of heavy operation, not a single drop of acidic liquid has ever leaked out. The tank was still fully intact when its further use was terminated by a spill elsewhere. This was an important experience for engineering in the chemical industry worldwide.

The production rate expected from the SSM was 130 SNU, corresponding to 1.16 ^{71}Ge atoms per day. This expected rate (see lower part of fig. 3) is the sum of 75 SNU from pp-neutrinos (PPI), 34 SNU from ^{7}Be neutrinos (PPII), 12 SNU from ^{8}B neutrinos (PPIII), and 9 SNU from neutrinos produced in the CNO cycle.

The 11.43 day half-life of ^{71}Ge defines about a month as the appropriate exposure time to approach saturation. At the end of each monthly exposure the tank was flushed with 3000 m^3 of ultrapure nitrogen gas for 12 hours to wash out the volatile germanium chloride for later clean lab bench chemistry and counting. These exposures lasted from May 1991 till January 1997, altogether 65 runs were executed. Figure 9 displays the continuous reduction of the statistical error of the GALLEX result during these 6 years, compared with the results of SAGE (see below).

Extremely important for the credibility of the GALLEX data was the verification of the whole experimental procedure by inserting a Mega Curie ^{51}Cr-neutrino calibration source into the GALLEX tank (fig. 10) and to perform ^{71}Ge-runs in full analogy to solar runs. When ^{51}Cr decays by electron capture with 28 d half-life in ^{51}V it emits a 746 keV neutrino. It can be produced by neutron activation of ^{50}Cr, but the production of a Mega Curie source was a formidable technological challenge. Rudolf Mößbauer from the Technical University

Munich (TUM) had joined the GALLEX Collaboration already in 1984. He used his good relations with the Kurchatov Institute in Moscow to arrange for the acquisition of 40 kg of chromium isotopically enriched in ^{50}Cr to 38.6% (the natural isotopic abundance of ^{50}Cr is 4.35% only).

The French CA Saclay group led by Michel Spiro and Michel Cribier took responsibility to neutron activate this enriched chromium at the SILOE reactor in Grenoble and to produce the GALLEX Mega Curie ^{51}Cr-neutrino calibration source, the strongest neutrino source ever produced. Two ^{51}Cr neutrino source Gallium irradiation experiments were performed in 1994 and 1995 and verified the proper operation of GALLEX. An additional performance verification ("^{71}As-test") was done in 1997 by adding a few hundred atoms of ^{71}As to the gallium chloride target, where they decayed into ^{71}Ge and were subsequently measured.

In 1998 the GALLEX collaboration changed to a new organizational structure in order to adapt to a more routine-like Gallium Neutrino Observatory (GNO). This was mainly an administrative adjustment whereby the essential experimental conditions remained basically unchanged. GNO data taking lasted from May 1998 to April 2003. Altogether, GALLEX and GNO have collected 10 years of neutrino data in 108 runs.

The historical *first* observation of pp-neutrinos was announced at the Neutrino 92 conference in the Alhambra gardens of Granada based on the first 15 runs. The result, 83 ± 21 SNU (1σ) implied a definite contribution from pp-neutrinos and thus, their discovery [7]. This converted "what nobody doubted to know about how stars produce their energy" into an experimental fact. Alvaro De Rújula, the summarizer of the conference quoted that the "solar pp-neutrino fusion bomb detonated over Granada by TK at 6.15 p.m. June 8th, 1992 ". In the foreword of the conference proceedings, Angel Morales judged that "the first GALLEX results will mark a cornerstone in Neutrino history. The participation in it of various historic scientists of neutrino Physics will prevail in our memory". This included Fred Reines who was the first to detect a neutrino, Bruno Pontecorvo who was overjoyed to see his visions come true, David Schramm, and many other celebrities.

Ironically, this positive observation of pp-neutrinos (an everlasting cornerstone of modern astronomy) became overshadowed by non-objective wishful thinking of many to prematurely interpret the deficit relative to the SSM expectation value (83 ± 21 SNU *vs.* 127 ± 20 SNU) as matter of fact indication of neutrino mass. A neutrino shortage from either pp or ^{7}Be neutrinos was evidently indicated, but the significance was <2σ. The GALLEX collaboration discussed the issue in depth [7] but refrained from a respective claim in the professional spirit that claims of seminal importance must be >3σ at least. In the following years GALLEX worked

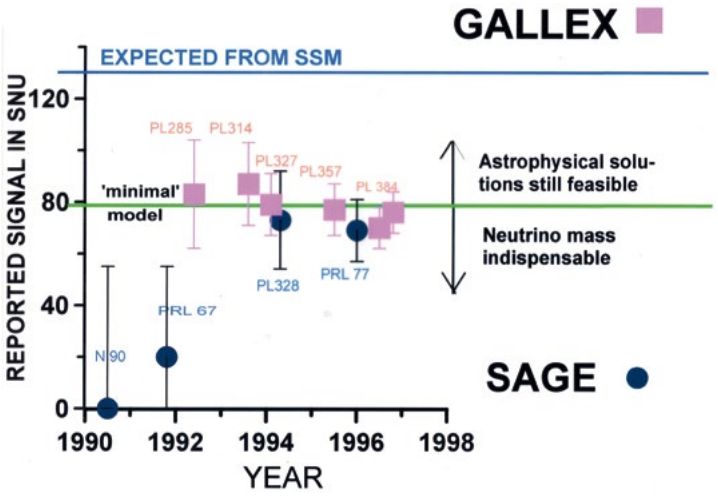


Fig. 9 GALLEX data 1992-1997. SAGE data for comparison.

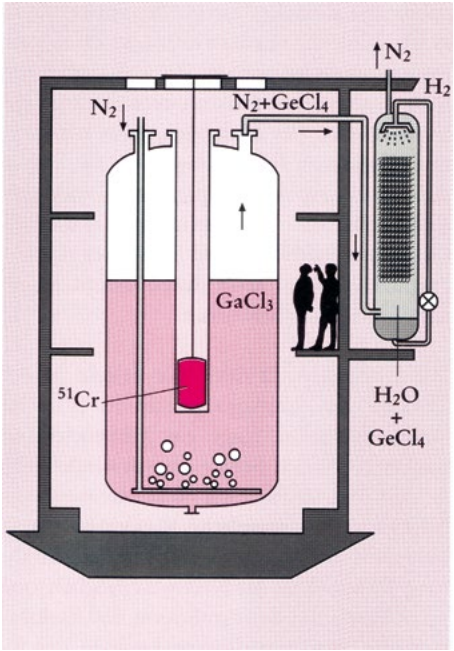


Fig. 10 Scheme of the ^{51}Cr neutrino source experiment to demonstrate the proper performance of GALLEX.

hard to replace unsupported premature claims by improving statistics through adding more and more runs. Consequently, the significance for the mass-mediated electron neutrino disappearance developed with improving statistics.

At the end of GALLEX data taking after 65 runs in 1997, the result, 77.5 $\pm$ 7.7 SNU was more than 6σ below the SSM prediction. It was significantly below a hypothetical minimal value that one obtains by simply adding the pp-flux requested from the solar luminosity and a ^{7}Be flux not higher than what is needed to account for the ^{8}B-neutrino flux (via the ^{7}Be(p,γ)^{8}B) reaction in the Sun) that is measured in the Homestake Chlorine experiment. Hence, in 1997, disappearance of bulk (sub-MeV) neutrinos was finally assured at >99% confidence level. The acceptance of this result was further increased by the two rigorous performance tests already mentioned above: ^{51}Cr neutrino source exposures and ^{71}As spiking. Together, they established the long disputed reliability and reproducibility of the radiochemical method for neutrino detection in general and of GALLEX in particular. It was this final assurance of the reliability and significance of the pp neutrino flux deficit that was the first undisputed experimental evidence for "New Physics" [3].

6 The SAGE experiment

Parallel to GALLEX, another Gallium experiment has been performed by a Soviet-American collaboration in the underground laboratory at Baksan Valley, Caucasus. The *spiritus rector* of this experiment was Georg Zatsepin from the Russian Institute of Nuclear Research (INR), project manager was Vladimir (Volodja) Gavrin. The American contribution consisted predominantly in the generous help of Ray Davis in the provision and advice to operate his competitively low background gas proportional counters.

In this experiment, gallium was used as metal, liquid at 30 °C, in multiple containments ("reactors"). Here, the separation of germanium from gallium is achieved by mixing the metallic gallium with an aqueous solution that is acidic (HCl) and oxidizing (H_2O_2). A germanium atom will enter the aqueous phase if contact is made at the surface of a metallic gallium droplet. After germanium is in the acidic phase, the further chemical and counting procedures are in principle similar to those used in GALLEX.

Other than in the classical ion chemistry system of an aqueous solution that was applied in GALLEX, the SAGE separation technique was based on unexplored surface chemistry in a heterogeneous two-phase emulsion. This involved an unknown risk of unknown Ge-withholding mechanisms, in an experiment dedicated to operate at a few atoms level. Furthermore, substantial quantities of new chemicals had to be added in many charges at each run, thus making it difficult to ensure the radiochemical purity of the target and the uniformity from run to run. These are the objective reasons why skepticism of the scientific community prevailed in evaluating SAGE data releases before a convincing demonstration of systematic errors in such a completely new technology had been experimentally assured.

SAGE started solar neutrino recording in January 1990 and communicated a nil result after 6 month, this was advertised as indication of New Physics, but the claim was not justified in respect to statistical, and more importantly, systematical errors of an unproved procedure. The first serious data release covered the 6 early runs plus, after a one year interruption of no data or data rejected for unknown reasons, data from 8 further runs performed from June 1991 June 1992. This combined data set of 14 runs (specified as "SAGE 1") was quoted as 81 $\pm$ 20 SNU (1s), a few weeks after the practically identical GALLEX I result was released in Granada and "Physics Letters" (see fig. 10).

SAGE continued its recordings for many years and since 1996, perfect agreement between GALLEX/GNO and SAGE results was established. SAGE is continuing its measurements even today. On the contrary, the GALLEX/GNO operations were terminated in 2004 [8].

7 Subsequent solar neutrino physics with real-time detectors

With the progress of radiochemical neutrino experiments and the shift of priority from solar astrophysics to neutrino particle physics, the overwhelming accelerator physics community did not sleep. Given their superior financial possibilities (compared to the poor underground mules) they could push the technology of real time experiments by planning experiment sizes that where previously considered unrealistic. So experiments for the direct observation of incoming low-energy astrophysical neutrinos impinging on a detector were designed to become potentially competitive. This was accompanied by an ideological clash of philosophies on how best to solve the common problem of discriminating between the low rate signal – that is unchangeably provided by nature – and all kinds of backgrounds. The fantastic coincidence-anticoincidence techniques familiar to accelerator physicists tend to fail if rates and backgrounds approach the one per day or one per month level. The productive learning process between accelerator physicists and their colleagues that specialize in low-level techniques has well progressed during 30 years, but it is still not completed. The credo of low level physics is that the best way to veto background is to avoid it. Veto's are fine and necessary for the last step, but monitored and proved hyperpurity in materials and procedures are mandatory to begin with.

The first real time solar neutrino experiment was the 2100 t (680 t fiducial) water Čerenkov detector Kamiokande that started to operate in the Kamioka coal mine in Japan in 1987. It was based on neutrino electron scattering $e^-(\nu,\nu)e^-$. The recoil electrons are observed in forward direction relative to the position of the Sun. Limited by the high detector background at low energy, the energy threshold was > 7 MeV, hence only ^{8}B neutrinos could be observed. Nevertheless, this allowed a first comparison with the ^{8}B neutrino flux results from the Davis Chlorine Experiment.

The driving leader of Kamiokande was Masatoshi Koshiba. At Kamioka, he had daringly constructed the first large water Čerenkov detector to search for proton decay. In 1986, with no proton decaying, he decided to convert the detector from a "dirty" GeV experiment into a "clean" 10 MeV instrument to search for astrophysical neutrinos by lowering the intrinsic radioactive contamination of the water. Just months after this conversion was completed, Koshiba was blessed by heaven: it sent the Supernova 1987a, and Kamiokande observed the associated neutrino pulse. This opened him the Japanese financial channels for a very competitive Japanese astroparticle physics programme and later earned him the Nobel Prize 2002 together with Ray Davis, not for the solar neutrinos but for the Supernova.

With data taking starting in 1996, Kamiokande was drastically upscaled to SuperKamiokande with a fiducial volume of 22.5 kt. Under the guidance of Yoji Totsuka and Yoichiro Suzuki, this boomed the daily rate of ^{8}B neutrino events from O(1) to O(10), all registered with full kinematical and directional parameters [9]. Important for the success of the SuperKamiokande detector was the improvement of the vertex resolution of neutrino events through the advanced new timing electronics for each individual photomultiplier that was contributed by the US group led by Alfred K. Mann from the University of Pennsylvania.

With ongoing registrations of Homestake, Kamiokande, Superkamiokande, GALLEX/GNO and SAGE, errors shrank and the combination of the allowed parameter space in the plan of mass differences and mixing angles for each of those experiments led to a relevant picture of solar neutrino spectroscopy ("Large Mixing Angle Solution", LMA). For a more recent review see for instance [10]. The theoretical developments concerning neutrino oscillation scenarios improved the refinement of data interpretation to resolve in detail the everlasting conflict of solar model adaption's *versus* neutrino oscillation scenarios to explain apparent conflicts among the available experimental results. The final Rosetta stone concerning the role of neutrino mass in the solar neutrino story was contributed by the Sudbury Neutrino Observatory (SNO) experiment at the Creighton Nickel mine in Sudbury, Canada. It was designed and planned by Art McDonald from Queen's University in Kingston. Data taking started in 1999. The Čerenkov detector used 1000 t of heavy water (D_2O) in a transparent acrylic vessel to detect ^{8}B neutrinos above 5 MeV .

SNO is not restricted to Neutrino-Electron scattering: a) $\nu + e^- \rightarrow \nu + e^-$, but can also measure the flux and spectral shape of ^{8}B electron neutrinos (>5MeV) in the Charged Current (CC) reaction: b) $\nu_e + {}^2H \rightarrow 2p + e^-$ (^{2}H = deuteron).

However, the most attractive feature of SNO is the additional possibility to determine the total neutrino flux of all flavours, since the disintegration of the deuteron in the Neutral Current (NC) reaction: c) $\nu_x + {}^2H \rightarrow n + p + \nu_x$ is independent of neutrino flavour (x stands for all flavours: e, μ, τ). The neutron is detected by capture on ^{35}Cl from added salt or by ^{3}He counters.

The ratio CC/NC interactions yields the flux ratio $\Phi(\nu_e)/\Phi(\nu_{all})$. This searches for neutrino oscillations not only through the disappearance of ν_e but in effect also through the appearance (or reappearance) of ν_μ and ν_τ.

The satisfying result of SNO was that the total ^{8}B neutrino flux measured with the NC reaction agrees with the SSM expectation value, while the ν_e flux measured with the CC reaction agrees with the results from Kamiokande, SuperKamiokande, and Homestake. This was the final confirmation that solar neutrinos undergo flavour oscillations on their way from the solar core to the detector on the Earth. Further refinements in SuperKamiokande and SNO delivered a wealth of information on detailed neutrino properties, mass eigenstates and mixing parameters.

But how about the Sun? All available real-time data still concerned only those elusive rare ^{8}B neutrinos, the smell of the soup, but not the soup itself. So far, the only information about the soup itself still came from the radiochemical Ga experiments. The desire to apply the technological progresses in fast electronics and computing speed and at the same time adapting the benefits of low-level techniques led Gianpaolo Bellini from the University of Milano to try against all odds to built a real-time detector that can penetrate below 1 MeV, the range of ^{7}Be (0.8 MeV) and pp (<0.42 MeV) neutrinos. This is the BOREXINO liquid scintillator experiment (see fig. 11) installed in the hyperpure pseudocumene organic scintillator contained in a thin transparent nylon vessel that is observed by 2200 photomultpliers to detect neutrino scattering on the scintillator electrons. One obtains a full spectrum from the various overlapping neutrino and background sources. In this way it became possible to identify the 862 keV ^{7}Be-neutrino flux, the ^{8}B neutrinos (down to 3 MeV), the 1.44 MeV "pep neutrinos" [11] and, just recently, even

Fig. 11 Inside the BOREXINO with the photomultipliers arrays, while installing the inner baloon. Borexino Collaboration-LNGS/INFN.

the edge of pp-neutrinos. This closes (for the moment) the circle of discoveries that was initiated by the radiochemical experiments.

Today we know the main features of the solar neutrino spectrum as well as the spectrum of masses and mixing of neutrino mass eigenstates. Rare event physics is now a flourishing field in the further exploration of neutrino properties such as the distinction between Majorana and Dirac neutrinos, as well as searches for neutrinoless Double Beta decay and for Dark Matter. Solar model refinements concerning its metallicity, and even geophysical probing of the interior of the Earth globe using neutrinos from terrestrial radioactivity round up the spectrum of modern neutrino physics. Neutrinos are no longer elusive, at present they are even used for nuclear non-proliferation surveillance. A century (±2%) after Bruno Pontecorvo was born in Pisa, a creative thinker ahead of his time, unspoiled by his personal vita.

References

[1] S. M. Bilenky *et al.* (Editors) *"B. Pontecorvo, Selected Scientific Works"*, (Societa Italiana di Fisica) 1997. Reprinted extended version (Societa Italiana di Fisica) 2014.

[2] J. N. Bahcall and R. Davis, "*Essays in Nuclear Astrophysics*", edited by C. A. Barnes, D.D. Clayton, and D. Schramm (Cambridge University Press) 1982, 243ff. Reprinted also in: J. N. Bahcall, "*Neutrino Astrophysics"* (Cambridge University Press) 1989, p. 487.

[3] T. A. Kirsten, *Rev. Mod. Phys.,* 71 (1999) 1213.

[4] J. N. Bahcall, *Phys. Rev. Lett.,* 12 (1964) 300; R. Davis jr., *Phys. Rev. Lett.,* 12 (1964) 303.

[5] T. Kirsten, *Physik Journal,* 1 (2002) 22.

[6] T. Kirsten, *Physica Scripta,* T85 (2000) 71.

[7] GALLEX Collaboration, *Phys. Lett. B,* 285 (1992) 376; 390.

[8] T. Kirsten, *J. Phys., Conf. Ser.,* 120 (2008) 052013.

[9] SuperKamiokande Collaboration, *Phys. Rev. Lett.,* 112 (2014) 091805.

[10] V. Antonelli, L.Miramonti, C. Pena Garay, and A.Serenelli, arXiv:1208.1356 [hep-ex] 2012.

[11] BOREXINO Collaboration, *Phys. Lett. B,* 722, 4-5 (2013) 295.

Till A. Kirsten

Till A. Kirsten received the PhD. in Physics at the Heidelberg University in 1964. Professor of Physics at Heidelberg University since 1975, he has been in the Max-Planck Institut für Kernphysik (MPIK) in Heidelberg since 1972, with which he maintains his association after his retirement in 2002. In 1969 he received the Röntgen award for the experimental proof that double beta decay occurs in Nature. From 1974 to 1984 he was the Principal Investigator in the NASA Apollo Lunar Sample Analysis Program. In 1985, he initiated and subsequently led the GALLEX experiment for solar pp-neutrino detection at the INFN LNGS. In 1992, the experiment succeeded in the first direct observation of hydrogen fusion in a star. For this, Kirsten received the Gentner-Kastler Prize in 1993. He subsequently worked in the Gallium Neutrino Observatory, from 1997 to 2003, and in the BOREXINO solar neutrino experiment since 1995, both at the LNGS.

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS "ENRICO FERMI"

with the sponsorship of

CAMERA DI COMMERCIO DI LECCO
ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

SUMMER COURSES 2015

VILLA MONASTERO

VARENNA, LAKE COMO

APPLICATION FORM

Course 193

SOFT MATTER SELF-ASSEMBLY

29 June – 7 July

Topics:

• Colloids with directional bonding
• Pathways to self-organization
• Particles at interfaces
• Self-assembly hydrodynamics
• Driven self-assembly
• Polymer structure and dynamics
• Liquid-crystal colloid dispersions
• DNA-based self-assembly
• Self-organizing nanosystems

Lecturers and Seminar Speakers:

C. Dellago – Faculty of Physics, University of Vienna (Austria)
O. Gang – Brookhaven National Laboratory, Center for Functional Nanomaterials, Upton, NY (USA)
G. Kahl – Institute for Theoretical Physics, Vienna University of Technology (Austria)
R. Kamien – Department of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA (USA)
S. Kantorovich – Computational Physics, Faculty of Physics, University of Vienna (Austria)
W. Kegel – Van 't Hoff Laboratory for Physical and Colloid Chemistry, Debye Research Institute, Utrecht University (The Netherlands)
D. Pine – NYU, Center for Soft Matter Research, Department of Physics, New York University, NY (USA)
M. Rubinstein – Department of Chemistry, University of North Carolina at Chapel Hill, NC (USA)
P. Schurtenberger – Physical Chemistry, Chemical Center, Lund University (Sweden)
K. Stebe – School of Engineering and Applied Sciences, Department of Chemical and Biomolecular Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA (USA)
J. Yeomans – The Rudolf Peierls Centre for Theoretical Physics, Oxford (UK)

Directors of the Course:

C. N. Likos – Faculty of Physics, University of Vienna (Austria)
F. Sciortino – Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma (Italy)
P. Ziherl – J. Stefan Institute and Department of Physics, University of Ljubljana (Slovenia)

Scientific Secretary:

E. Zaccarelli – Istituto dei Sistemi Complessi del CNR and Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma (Italy)

Deadline for application:

15 April 2015

Correspondence and application forms should be sent to:

E. Zaccarelli
Dipartimento di Fisica
Sapienza Università di Roma
Piazzale A. Moro 2
00185 Roma (Italy)
Tel: +39 06 49913524 Fax: +39 06 4463158
softmatterselfassembly@gmail.com

Arrival day:

Sunday, 28 June 2015

Opening of the Course:

Monday, 29 June 2015 - 9.00 a.m.

Closing of the Course:

Tuesday, 7 July 2015 - 12,30 p.m.

Participation fee:

€ 1300,00 (VAT included) for attendance, board, lodging and Proceedings

Workshop 194

FUTURE RESEARCH INFRASTRUCTURES: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

9 – 11 July

Topics:

• Challenges and perspectives of the European Spallation Source • The European X-FEL • Diffraction Limited Storage Ring • Swiss Light Source: the next 20 years • Elettra and FERMI perspectives • Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics • Plasma accelerators: present status, future developments and applications • The diffraction-limited storage ring frontier • Future Circular Collider (FCC) • High-Luminosity LHC • Challenges and opportunities of high intensity Gamma photon sources • Current status and Future Development of Light Sources in China • Accelerator Projects in Korea: current status and perspectives • Accelerator based research infrastructure in the US, present status and future developments • ILC status and perspectives • After the Higgs discovery: perspectives on HEP • Scientific perspective and applications of X-ray FEL radiation • Perspective for Nano-meter 3D-resolution from coherent scattering imaging at synchrotron and XFELS • Layout and opportunities with SwissFEL • Free Electron Laser based multicolor spectroscopy • Emerging science opportunities with coherent, high-energy x-rays • Structural biology: from large crystals to single molecule imaging. Status and future accelerator based infrastructure requirements • Advances and perspectives of X-ray imaging for Cultural Heritage • Status and perspectives of bio-medical and medical research with accelerators • New research horizon in hadrontherapy • Catalysis research with advanced X-ray techniques in SSRF: present and future challenge

Speakers:

A. Bravin – ESRF, Grenoble (France)
E. Colby – U.S. Dept. of Energy, Germantown, MD (USA)
M. Cotte – ESRF, Grenoble (France)
A. Fabris – ELETTRA Sincrotrone, Trieste (Italy)
R. Garoby – ESS, Lund (Sweden)
G. Geloni – European XFEL, Hamburg (Germany)
S. D. Henderson – Argonne National Laboratory, IL (USA)
I. S. Ko – PAL, Pohang, Kyungbuk (Republic of Korea)
S. Komamiya – University of Tokyo (Japan)
M. Mangano – CERN, Geneva (Switzerland)
C. Masciovecchio – ELETTRA Sincrotrone, Trieste (Italy)
C. Milne – PSI, Villigen (Switzerland)
P. Raimondi – ESRF, Grenoble (France)
L. Rossi – CERN, Geneva (Switzerland)
S. Rossi – CNAO, Pavia (Italy)
L. Serafini – INFN Milano (Italy)
C. Schroeder – LBL, Berkeley, CA (USA)
S. Streiffer – Argonne National Laboratory, IL (USA)
A. Streun – PSI, Villigen (Switzerland)
T. Tschentscher – European XFEL, Hamburg (Germany)
C. A. Ur – ELI-NP, IFIN-NH, Magurele (Romania)
S. Wakatsuki – SLAC, Menlo Park, CA (USA)
J. Q. Wang – SINAP, Shanghai (China)
Z. T. Zhao – SINAP, Shanghai (China)
F. Zimmermann – CERN, Geneva (Switzerland)

Directors of the Course:

S. Bertolucci – CERN, Geneva (Switzerland)
L. Palumbo – Sapienza Università di Roma (Italy)

Scientific Secretary:

M.R. Ferrazza – LNF-INFN, Frascati RM (Italy)

Deadline for application:

20 April 2015

Correspondence and application forms should be sent to:

M.R. Ferrazza
LNF-INFN
Via E. Fermi 40
00044 Frascati (Italy)
Skype Contact: marferrazza
Tel: +39 06 94032573 - 8307 Fax : +39 06 94032257
siffuture_varenna@lists.lnf.infn.it

Please register at: http://agenda.infn.it/event/FutureResearchInfrastructure

Arrival day:

Wednesday, 8 July 2015

Opening of the Workshop:

Friday, 9 July 2015 - 9.00 a.m.

Closing of the Workshop:

Saturday, 11 July 2015 - 12,30 p.m.

Participation fee:

€ 350,00 (VAT included) for attendance, half board and one dinner party

Course 195

COMPLEX PHOTONICS

13 – 18 July

Topics:

- Metamaterials and metactronics
- Strong coupling to manipulate chemical reactions
- Electron-based optical imaging and spectroscopy techniques
- Optical topological insulators and Anderson localization
- Nanoscale imaging techniques
- Scattering and transport of light in complex systems
- Tailoring spontaneous emission and thermal radiation
- New materials for plasmonics
- Structured light in structured media
- Radiative cooling/Fundamentals of nanophotonic light trapping
- Optical properties of 2D conductors

Lecturers and Seminar Speakers:

D. Basov – Department of Physics, University of California, San Diego, La Jolla, CA (USA)
A. Boltasseva – School of Electrical and Computer Engineering, Birck Nanotechnology Center, Purdue University, Lafayette, IN (USA)
R. Carminati – Institut Langevin, ESPCI ParisTech, Paris (France)
T. Ebbesen – Université de Strasbourg, Institut Universitaire de France, Laboratoire des Nanostructures, ISIS Strasbourg (France)
N. Engheta – Department of Electrical and Systems Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA (USA)
S. Fan – Stanford University, CA (USA)
J. Garcia de Abajo – ICFO, Institute of Photonic Sciences, Castelldefels, Barcelona (Spain)
J. J. Greffet – Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique, Université Paris Sud, Palaisea, (France)
M. Segev – Technion, Israel Institute of Technology, Haifa (Israel)
V. Shalaev – Purdue University, School of Electrical and Computer, West Lafayette, IN (USA)
N. van Hulst – ICFO, Institute of Photonic Sciences, Castelldefels, Barcelona (Spain)

Directors of the Course:

M. Brongersma – Stanford University, CA (USA)
F. Capasso – Harvard School of Engineering and Applied Sciences, Cambridge, MA (USA)
D. Wiersma – LENS, Università di Firenze (Italy)

Scientific Secretary:

L. Pattelli – LENS, Università di Firenze (Italy)

Deadline for application:

30 April 2015

Correspondence and application forms should be sent to:

L. Pattelli
European Laboratory for Non-linear Spectroscopy (LENS)
Università di Firenze
Via Nello Carrara 1
50019 Sesto Fiorentino FI (Italy)
Tel: +39 055 4572452
pattelli+varenna2015@lens.unifi.it

Arrival day:

Sunday, 12 July 2015

Opening of the Course:

Monday, 13 July 2015 - 9.00 a.m.

Closing of the Course:

Saturday, 18 July 2015 - 12,30 p.m.

Participation fee:

€ 900,00 (VAT included) for attendance, board, lodging and Proceedings

GENERAL INFORMATION (ONLY FOR COURSES)

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 School is intended for PhD students and young post-docs. The number of students at each Course is limited to about 60. 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 € 500,00.
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 respectively on Sunday, 28 June (1st Course), Sunday, 12 July (2nd Course).
Accommodation for the students will be provided in shared rooms with 2 beds in hotels at Varenna. Meals will be organized by the School.

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

I) – 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. Some of the Scholarships will be granted to SIF and/or EPS Members. 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.

The President
Società Italiana di Fisica
Luisa Cifarelli

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Via Saragozza 12
40123 BOLOGNA, Italy
Tel. +39-051-331554 – Fax +39-051-581340
sif@sif.it - www.sif.it

INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS "ENRICO FERMI"

APPLICATION FORM

Course 193	**"Soft Matter Self-Assembly"**	☐
Workshop 194	**"Future Research Infrastructures: Challenges and Opportunities"**	☐
Course 195	**"Complex Photonics"**	☐

To be sent to:

COURSE 193

E. Zaccarelli
Dipartimento di Fisica
Sapienza Università di Roma
Piazzale A. Moro 2
00185 Roma (Italy)
Tel: +39 06 49913524
Fax: +39 06 4463158
softmatterselfassembly@gmail.com

Closing date for application:
15 April 2015

WORKSHOP 194

M.R. Ferrazza
LNF-INFN
Via E. Fermi 40
00044 Frascati (Italy)
Skype Contact: marferrazza
Tel: +39 06 94032573 - 8307
Fax : +39 06 94032257
siffuture_varenna@lists.lnf.infn.it
Please register at: http://agenda.infn.it/event/FutureResearchInfrastructure

Closing date for application:
20 April 2015

COURSE 195

L. Pattelli
European Laboratory for Non-linear Spectroscopy (LENS)
Università di Firenze
Via Nello Carrara 1
50019 Sesto Fiorentino FI (Italy)
Tel: +39 055 4572452
pattelli+varenna2015@lens.unifi.it

Closing date for application:
30 April 2015

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 testfying to your qualifications and interest in participating in the Course; enclose also list of publications)

I request student status ☐ I request observer status ☐

I am SIF Member ☐ I am EPS Member ☐

Date _____ Signature _____

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

International Year of Light 2015

LIGHT & LIFE

Società Italiana di Fisica

Celebration Symposium on the occasion of the International Year of Light and Light-based Technologies in 2015 (IYL2015)

20 – 21 July 2015

Villa Monastero, Varenna, Lake Como

Giovanna Rasario, *Grande luce (detail)*, 2010

PROGRAMME

"*Wavefront shaping for imaging in scattering media*"
Yaron Silberberg (Weizmann Institute of Science, Rehovot)

"*Optical sensors for energy and the environment*"
Robert Lieberman (Intelligent Optical Systems Inc.)

"*Plasmonic biosensors and their applications*"
Jiri Homola (Institute of Photonics and Electronics, Prague)

"*Synchrotrons lighting life*"
Caterina Biscari (ALBA Synchrotron Light Source, Barcelona)

"*Extreme light*"
Gérard Mourou (Ecole Polytechnique, Palaiseau)

"*Hard X-ray lasers for movies of molecular machines at work*"
John Spence (Arizona State University Department of Physics)

"*High resolution imaging using advanced radiation sources in life, environmental and earth science*"
Laszlo Vincze (University of Ghent)

"*Advanced live cell imaging*"
Oddmund Bakke (University of Oslo)

"*Nanoscopy with focused light: bringing optical microscopy to the nanodimension*"
Alberto Diaspro (IIT, Genova)

"*High energy sky*"
Patrizia Caraveo (IASF-INAF, Milano)

"*The dark Universe*"
Massimo Capaccioli (Università di Napoli Federico II and INAF)

"*The radio Universe: from molecules to the cosmos*"
Martha Haynes (Cornell University, Ithaca)

"*Why Sun shines*"
Marco Pallavicini (INFN and University of Genova)

"*Optical clocks: the most accurate measurements of light*"
Filippo Levi (INRIM, Torino)

"*Electrification and lighting in Italy in XIX-XX centuries*" (Title tbd)
Raffaella Simili (University of Bologna)

"Free electron lasers" (Title tbd)
Claudio Pellegrini (UCLA Physics and Astronomy, Los Angeles)

"*Light and crops: from an inefficient biological process to a very efficient planetary system*"
Francesco Miglietta (IBIMET, Firenze
in connection with EXPO 2015)

SIOF Società Italiana di Ottica e Fotonica

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

SIF

IYL 2015

101°
CONGRESSO NAZIONALE
Roma, 21 - 25 settembre 2015

Sede Congresso: Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma

Comunicazioni: i riassunti dovranno pervenire alla SIF
entro il **15 maggio 2015**

Società Italiana di Fisica - Via Saragozza 12 - 40123 Bologna
tel. 051331554 - fax 051581340 - e-mail: congresso@sif.it - web: www.sif.it

Copyright: Kah Kit Yoong

101° CONGRESSO NAZIONALE della SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Roma, 21 - 25 settembre 2015
INFORMAZIONI GENERALI

COMUNICAZIONI e RELAZIONI SU INVITO

I riassunti delle comunicazioni dovranno pervenire alla Società Italiana di Fisica **entro il 15 MAGGIO 2015**, con un massimo di 100 parole, senza figure, indicando la Sezione pertinente, con il nome dell'autore che presenterà la comunicazione sottolineato, nonché il suo indirizzo completo per la corrispondenza.
I riassunti potranno essere inseriti online alla pagina `http://www.sif.it/attivita/congresso/101` oppure inviati via e-mail (congresso@sif.it).
L'INSERIMENTO ONLINE 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.

Il giorno venerdì 25 settembre la SIF inaugura una **Sezione Giovani**, dedicata agli studenti di fisica della triennale e della magistrale che prevede alcune relazioni su invito tenute da docenti di fisica, ed alcune comunicazioni tenute dagli studenti stessi sulle loro prime esperienze scientifiche in fase di tesi. I riassunti delle comunicazioni per questa sezione potranno essere inviati via e-mail (congresso.giovani@sif.it).

SEZIONI

SEZIONE 1: Fisica nucleare e subnucleare
SEZIONE 2: Fisica della materia
SEZIONE 3: Astrofisica
SEZIONE 4: Geofisica e fisica dell'ambiente
SEZIONE 5: Biofisica e fisica medica
SEZIONE 6: Fisica applicata, acceleratori e beni culturali
SEZIONE 7: Didattica e storia della fisica

PREMI PER LE MIGLIORI COMUNICAZIONI

Per i presentatori che vincerranno sono previsti premi e la pubblicazione su *Il Nuovo Cimento*.

ISCRIZIONE AL CONGRESSO

Quote di iscrizione al Congresso per i Soci (*)		
	Preiscrizione	Iscrizione
Socio Ordinario	€ 65,00	€ 75,00
Socio Junior (under 30)	€ 50,00	€ 60,00
Socio Invitato	€ 50,00	€ 60,00

(*) Per i Relatori su Invito si applica la stessa quota dei Soci Ordinari

Quote di iscrizione al Congresso per i non Soci		
	Preiscrizione	Iscrizione
Partecipante Ordinario	€ 135,00	€ 150,00
Partecipante Junior (under 30)	€ 110,00	€ 120,00

Contestualmente alla preiscrizione (o iscrizione) al Congresso è possibile rinnovare la propria associazione alla SIF o chiedere di diventare Socio SIF al fine di poter usufruire dei previsti sconti. Per associarsi alla SIF: `http://www.sif.it/associazione`

Sarà possibile preiscriversi al Congresso fino al 9 settembre 2015 alla pagina web: `http://www.sif.it/attivita/congresso/101`

PER PARTECIPARE AI LAVORI CONGRESSUALI È NECESSARIO ESSERE MUNITI DI TARGHETTA NOMINATIVA CHE ATTESTI L'AVVENUTA ISCRIZIONE AL CONGRESSO.

SEDE DEL CONGRESSO

Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma, Piazzale Aldo Moro 2.

PRENOTAZIONE ALBERGHIERA

L'elenco degli hotel consigliati è disponibile alla pagina `http://www.sif.it/attivita/congresso/101`

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

PREMIO "ENRICO FERMI" DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

La Società Italiana di Fisica bandisce per l'anno 2015 un Premio di € 30.000,00 (euro trentamila) che verrà attribuito a uno o più Soci che abbiano particolarmente onorato la Fisica con le loro scoperte.

Il Premio verrà consegnato nella seduta inaugurale del **101° Congresso Nazionale** della SIF che si terrà a **Roma** il 21 settembre 2015 su proposta di una Commissione costituita da:

– il Presidente della Società Italiana di Fisica, che presiederà la Commissione
– un Membro designato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche
– un Membro designato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica
– un Membro designato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
– un Membro designato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
– un Membro designato dall'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica
– un Membro designato dal Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche "Enrico Fermi"
– un Membro designato dal Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica.

Ogni Socio può formulare proposte motivate indirizzandole *entro il 15 giugno 2015* al Presidente della Società Italiana di Fisica. Ogni proposta completa della relativa documentazione deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da `http://www.sif.it/attivita/premio_fermi` e dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo `premio.fermi@sif.it` *entro il 15 giugno 2015.*

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Via Saragozza 12
40123 BOLOGNA
Tel 051-331554 - Fax 051-581340
`sif@sif.it` - `http://www.sif.it/`

Il Presidente della SIF
Luisa Cifarelli

Bologna, Febbraio 2015

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

PREMI

"Pietro Blaserna" **"Antonio Roiti"** **"Augusto Righi"**
"Angelo Battelli" **"Vito Volterra"** **"Michele Cantone"**
"Antonio Garbasso" **"Orso Mario Corbino"** **"Quirino Majorana"**
"Giovanni Polvani" **"Gilberto Bernardini"** **"Carlo Castagnoli"**
"Giuseppe Franco Bassani" **"Giuliano Toraldo di Francia"** **"Laura Bassi"**

PER GIOVANI LAUREATI IN FISICA

Concorso a premi per la Fisica riservati ai dottori in Fisica laureatisi dopo il maggio 2012.

La Società Italiana di Fisica bandisce un Concorso ad almeno un premio di € 1.000,00 (euro 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 2015 entro il 15 giugno 2015 (*) e che abbiano conseguito dopo il maggio 2012 la laurea specialistica/magistrale in Fisica presso una Università italiana.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da `http://www.sif.it/attivita/altri_premi/giovani_laureati`. Ogni domanda completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo `premio.maggio12@sif.it` *entro il 15 giugno 2015.*

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, 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) una breve relazione scientifica illustrante l'attività di ricerca svolta;
c) l'elenco delle pubblicazioni;
d) una lettera di presentazione;
e) 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 101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Roma, 21-25 Settembre 2015.

Concorso a premi per la Fisica riservati ai dottori in Fisica laureatisi dopo il maggio 2008.

La Società Italiana di Fisica bandisce un Concorso ad almeno un premio di € 2.000,00 (euro duemila) 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 2015 entro il 15 giugno 2015 (*) e che abbiano conseguito dopo il maggio 2008 la laurea specialistica/magistrale in Fisica presso una Università italiana.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da `http://www.sif.it/attivita/altri_premi/giovani_laureati`. Ogni domanda completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo `premio.maggio08@sif.it` *entro il 15 giugno 2015.*

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, 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) una breve relazione scientifica illustrante l'attività di ricerca svolta;
c) l'elenco delle pubblicazioni;
d) una lettera di presentazione;
e) 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 101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Roma, 21-25 Settembre 2015.

(*) *Eccetto per i Soci Invitati*

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Via Saragozza 12
40123 BOLOGNA
Tel 051-331554 - Fax 051-581340
`sif@sif.it` - `http://www.sif.it/`

Bologna, Febbraio 2015

Il Presidente della SIF
Luisa Cifarelli

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Premio "Guglielmo Marconi" per il trasferimento tecnologico

La Società Italiana di Fisica bandisce per l'anno 2015 un Concorso per promuovere il trasferimento tecnologico delle ricerche in Fisica, con lo scopo di incentivare e valorizzare le applicazioni industriali della Fisica e, conseguentemente, pubblicizzare il valore della Fisica nell'industria, incoraggiare la ricerca fisica nell'industria e promuovere la consapevolezza e l'interesse dei ricercatori sul ruolo della Fisica nello sviluppo dei prodotti commerciali.
Le norme di partecipazione al Concorso sono le seguenti:

1) Il premio consiste in un attestato di riconoscimento che verrà assegnata a una Ditta che negli ultimi cinque anni abbia conseguito o promosso, con ricerche svolte in collaborazione con università e/o istituti di ricerca, una significativa applicazione della Fisica a livello industriale e in un Premio dell'importo di € 1.000,00 (euro mille) ciascuno che verrà asssegnato a due giovani, uno della Ditta medesima e l'altro dell'università o istituto di ricerca con cui è in atto la collaborazione ai fini del trasferimento tecnologico. I nomi dei due candidati dovranno essere segnalati dalla Ditta stessa.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito, la partita IVA e/o il codice REA della Ditta candidata, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da `http://www.sif.it/attivita/altri_premi/bando_marconi`. Ogni proposta completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo `premio.marconi@sif.it` *entro il 15 giugno 2015*.

3) Alla domanda la Ditta dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:
a) una breve descrizione della ragione sociale della Ditta;
b) una relazione che illustri la specifica attività di ricerca e le relative applicazioni industriali prodotte o promosse dalla Ditta in collaborazione con l'università e/o enti di ricerca;
c) il curriculum vitae studiorum dei candidati;
d) una relazione che illustri le attività di ricerca e le relative applicazioni industriali prodotte o promosse dai candidati all'interno della Ditta;
e) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) Oltre alle autocandidature, saranno anche prese in esame proposte motivate, a favore di terzi, formulate come specificato al punto 2) da un Socio SIF e inviate entro il *15 giugno 2015* al Presidente della Società Italiana di Fisica.

5) 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 della Ditta aspirante al Concorso.

6) La Ditta vincitrice sarà scelta da una Commissione nominata dal Consiglio di Presidenza della SIF. Il giudizio della Commissione è insindacabile.

7) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo 101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Roma, 21-25 Settembre 2015.

Premio "Romeo Bassoli" per l'Outreach

Per promuovere la diffusione delle conoscenze di Fisica e la crescita della cultura scientifica del Paese, la Società Italiana di Fisica bandisce, per l'anno 2015, un Concorso per l'assegnazione di un premio dell'importo di € 2.000,00 (euro duemila).
Le norme di partecipazione al Concorso sono le seguenti:

1) Il premio verrà assegnato a un laureato in Fisica (laurea specialistica/magistrale) che negli ultimi cinque anni abbia effettuato o promosso un'importante attività di diffusione della cultura scientifica.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da `http://www.sif.it/attivita/altri_premi/bando_outreach`. Ogni domanda (o proposta) completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo `premio.outreach@sif.it` *entro il 15 giugno 2015*.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:
a) il curriculum vitæ et studiorum;
b) una relazione che illustri le attività di diffusione della cultura scientifica prodotte o promosse dal candidato;
c) lettere di sostegno di 1-3 referees;
d) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) Oltre alle autocandidature, saranno anche prese in esame proposte motivate, a favore di terzi, formulate come specificato al punto 2) da un Socio SIF e inviate entro il *15 giugno 2015* al Presidente della Società Italiana di Fisica.

5) 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.

6) Il vincitore sarà scelto da una Commissione nominata dal Consiglio di Presidenza della SIF. Il giudizio della Commissione è insindacabile.

7) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo 101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Roma, 21-25 Settembre 2015

Premio per la Didattica o la Storia della Fisica

La Società Italiana di Fisica bandisce un Concorso per un premio di € 3.000,00 (euro tremila) 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.) o per contributi in storia della Fisica.
Le norme di partecipazione al Concorso sono le seguenti:

1) Le realizzazioni 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, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da `http://www.sif.it/attivita/altri_premi/didattica_storia`. Ogni domanda (o proposta) completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo `premio.didattica_storia@sif.it` *entro il 15 giugno 2015*.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:
a) il curriculum vitæ et studiorum;
b) una relazione che illustri le realizzazioni effettuate dal candidato nel campo della didattica della Fisica oppure che illustri il lavoro di storia della Fisica che intende presentare al Concorso;
c) lettere di presentazione di 1-3 referees;
d) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) Oltre alle autocandidature, saranno anche prese in esame proposte motivate a favore di terzi, formulate come specificato al punto 2) da un Socio SIF e inviate entro il *15 giugno 2015* al Presidente della Società Italiana di Fisica.

5) Il Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica attribuirà il relativo premio. Il Consiglio può prendere in considerazione anche realizzazioni di didattica o contributi di storia della Fisica che giudichi meritevoli del premio, ma i cui autori non abbiano fatto domanda di partecipazione (o non siano stati proposti). La decisione del Consiglio è inappellabile.

6) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo 101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Roma, 21-25 Settembre 2015

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Via Saragozza 12
40123 BOLOGNA
Tel 051-331554 - Fax 051-581340
`sif@sif.it` - `www.sif.it`

Bologna, Febbraio 2015

Il Presidente della SIF
Luisa Cifarelli

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Premio "Piero Brovetto"

Per onorare la memoria del Professor Piero Brovetto, la Società Italiana di Fisica, grazie al contributo della moglie Vera Maxia, attribuisce ogni anno per 3 anni un premio per un giovane laureato in Fisica dell'importo di € 1.500,00 (euro millecinquecento).
Le norme di partecipazione al Concorso per l'anno 2015 sono le seguenti:

1) Sono ammessi al Concorso coloro che abbiano conseguito una laurea specialistica/magistrale in Fisica presso una Università italiana dopo il 1° gennaio 2012, discutendo una tesi su un argomento di Fisica Sperimentale della Materia.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da `http://www.sif.it/attivita/altri_premi/bando_brovetto`. Ogni domanda completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo `premio.brovetto@sif.it` *entro il 15 giugno 2015.*

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, 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) una breve relazione scientifica illustrante l'attività di ricerca svolta;
c) l'elenco delle pubblicazioni;
d) una lettera di presentazione;
e) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) 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.

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

6) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo 101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Roma, 21-25 Settembre 2015.

Premio "Giuliano Preparata"

Per onorare la memoria del Professor Giuliano Preparata, la Società Italiana di Fisica, grazie al contributo dell'Associazione per la Fondazione "Giuliano Preparata", attribuisce ogni anno un premio per un giovane laureato in Fisica dell'importo di € 1.000,00 (euro mille).
Le norme di partecipazione al Concorso per l'anno 2015 sono le seguenti:

1) Sono ammessi al Concorso coloro che abbiano conseguito una laurea specialistica/magistrale in Fisica presso una Università italiana dopo il 1° gennaio 2012, discutendo una tesi su un argomento di Fisica Teorica.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da `http://www.sif.it/attivita/altri_premi/bando_preparata`. Ogni domanda completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo `premio.preparata@sif.it` *entro il 15 giugno 2015.*

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, 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) una breve relazione scientifica illustrante l'attività di ricerca svolta;
c) l'elenco delle pubblicazioni;
d) una lettera di presentazione;
e) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso

4) 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.

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

6) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo 101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Roma, 21-25 Settembre 2015

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Via Saragozza 12
40123 BOLOGNA
Tel 051-331554 - Fax 051-581340
`sif@sif.it` - `http://www.sif.it/`

Bologna, Febbraio 2015

Il Presidente della SIF
Luisa Cifarelli

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 € 1.500,00 (euro millecinquecento) destinata a un giovane laureato in Fisica per svolgere attività di ricerca.
Le norme di partecipazione al Concorso per l'anno 2015 sono le seguenti:

1) Sono ammessi al Concorso i laureati in Fisica (laurea specialistica/magistrale) presso una università italiana nel periodo compreso fra il 1° genaio 2012 e il 31 dicembre 2014, discutendo una tesi di Fisica Teorica.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da `http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/altri_premi/bando_stanghellini`. Ogni domanda completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo `borsa.stanghellini@sif.it` *entro il 15 giugno 2015.*

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, 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'elenco delle pubblicazioni;
c) 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;
d) una lettera di presentazione;
e) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) 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.

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

6) La borsa verrà conferita in occasione del prossimo 101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Roma, 21-25 Settembre 2015.

Borsa "Ettore Pancini"

Per onorare la memoria del Professor Ettore Pancini, la Società Italiana di Fisica, grazie al contributo del Dottor Roberto Mazzola, attribuisce ogni anno una borsa di € 5.000,00 (euro cinquemila) destinata a un giovane ricercatore che abbia ottenuto un risultato significativo nell'ambito delle sue ricerche sperimentali in Fisica Nucleare o Subnucleare.
Le norme di partecipazione al Concorso per l'anno 2015 sono le seguenti:

1) Sono ammessi al Concorso i laureati in Fisica (laurea specialistica/magistrale) di età non superiore ai 35 anni.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da `http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/altri_premi/bando_pancini`. Ogni domanda completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo `borsa.pancini@sif.it` *entro il 15 giugno 2015.*

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:
a) il curriculum vitæ et studiorum;
b) una breve relazione scientifica illustrante l'attività di ricerca svolta;
c) l'elenco delle pubblicazioni;
d) lettere di presentazione di 1-3 referees;
e) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) 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.

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

6) La borsa verrà conferita in occasione del prossimo 101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a Roma, 21-25 Settembre 2015

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Via Saragozza 12
40123 BOLOGNA
Tel 051-331554 - Fax 051-581340
`sif@sif.it` - `http://www.sif.it/`

Bologna, Febbraio 2015

Il Presidente della SIF
Luisa Cifarelli

PAGINE ITALIANE DI OTTICA
In occasione dell'Anno Internazionale della Luce, IYL 2015, Il Nuovo Saggiatore pubblicherà in ogni numero del 2015 pagine di scienziati italiani che contribuirono allo sviluppo delle scienze della luce.

FRANCESCO MARIA GRIMALDI: LA DIFFRAZIONE DELLA LUCE

Francesco Maria Grimaldi (fig. 1) nacque a Bologna il 2 aprile 1618 ed ivi fu gesuita, operò e si spense il 28 dicembre 1663. Oltre che filosofo, fu, ed è quello che qui ci interessa, un accorto sperimentatore, come altri gesuiti bolognesi dell'epoca, Riccioli in particolare. Il suo maggior contributo alla fisica fu la scoperta della diffrazione della luce, fenomeno al quale dette anche il nome.

Fig. 1 Ritratto postumo. Olio su tela. XVIII secolo. Università di Bologna. Rettorato, rif. inventario QUA 282.

Gli esperimenti sono riportati nella prima proposizione dell'unica sua opera uscita a stampa, postuma nel 1665, ed a cui aveva lavorato dal 1655. È usualmente citata per brevità come "De lumine", ma il suo titolo completo è "Physico-mathesis de lumine, coloribus, et iride". L'opera, di notevole mole, consiste di due libri con 60 proposizioni il primo, 6 il secondo.

Fin dal frontespizio e dal proemio, l'autore dichiara trattarsi di una tesi fisico-matematica sulla luce, i colori, l'arcobaleno ed altre questioni connesse, in due libri, il primo dei quali descrive nuovi esperimenti deducendone argomenti in favore della sostanzialità della luce, mentre nel secondo vengono respinti gli argomenti del primo e l'accidentalità della luce viene dichiarata probabile. La teoria aristotelica voleva infatti che la luce non fosse sostanza, ma accidente, cioè proprietà di un'altra sostanza. Si comprende subito quindi come l'atteggiamento sia ancora dogmatico, la volontà di dimostrare una tesi a priori, piuttosto che scientifico nel senso galileiano. L'opera tuttavia contiene le descrizioni accurate degli esperimenti, questi sì di fisica, che lo condussero alla scoperta e che qui riportiamo. Quanto all'interpretazione, Grimaldi, come ben noto, non pervenne all'ipotesi ondulatoria. Si comprende però come egli rifiutasse quella corpuscolare e pensasse alla luce come ad un fluido in movimento velocissimo. Le sue linee di flusso, incontrando un ostacolo, si allargano e si separano, diffrangono (diffrangitur) attorno ad esso.

La teoria ondulatoria doveva attendere Christiaan Huygens (1678) e, soprattutto, Thomas Young (1801) e Augustin-Jean Fresnel (1815). Infatti, né Hooke né Newton, pur a conoscenza dei risultati di Grimaldi, il primo direttamente, il secondo tramite H. Fabri, ne diedero la corretta interpretazione. Particolarmente importanti sono le osservazioni di Grimaldi delle frange nell'ombra. Centocinquanta anni dopo, Fresnel scriverà: "Per molto tempo mi sono fermato sulle frange esterne che sono più facili da osservare, senza occuparmi delle frange interne. Quest'ultime sono quelle che mi hanno infine condotto alla spiegazione del fenomeno" (A.-J. Fresnel. "Premier Mémoire sur la Diffraction" (1815) §15). Comprese che le frange nell'ombra di una sbarretta sottile sono dovute all'interferenza delle onde provenienti dai suoi due bordi e sono quindi simili a quelle prodotte dalla doppia fenditura di Young. Lo si vedrà in fig. 5b.

Diciamo oggi ai nostri studenti che, se vogliono avere successo in un esperimento di interferenza, o diffrazione che è la stessa cosa, debbono prima stabilire che le necessarie condizioni di coerenza sia spaziale sia temporale siano soddisfatte. Grimaldi ovviamente non poté farlo. Si può presumere che abbia supplito, oltre che con l'ingegno, con la pazienza del frate.

La luce del Sole ha uno spettro troppo ampio, ma lo si restringe a sufficienza se si percepiscono i colori. Ad esempio osservando il rosso, o il blu, la larghezza efficace di banda specifica è dell'ordine del 10%, che è sufficiente. Si noterà come Grimaldi continuamente insista sull'importanza che hanno i colori per la visibilità delle frange.

La visibilità delle frange, di un dato colore, è determinata dal grado di coerenza spaziale, che dipende, a sua volta, data la lunghezza d'onda e distanza di osservazione, dal diametro della sorgente. Per distanze dell'ordine del metro la sorgente non può essere più larga di pochi millimetri. Grimaldi, genialmente, usa un forellino nella finestra chiusa di una stanza oscura, illuminato da una luce solare intensa. Le dimensioni sono riportate nel secondo esperimento, 4 o 5 mm. Dovevano essere uguali, o minori, nel primo.

Con forellini così piccoli, l'intensità del fascio di luce è molto piccola. Conviene valutarne l'ordine di grandezza. Con il Sole allo zenith, in una giornata molto limpida, l'intensità luminosa al suolo nel visibile non supera 470 W/m^2. L'area del foro di 10–20 mm^2 ne trasmetterà, in cifra tonda, al massimo 5–10 mW, in tutto lo spettro e quindi solo 2–4 mW nel rosso, 1–2 mW nel blu. Tanto è disponibile per vedere le frange. Si intende benissimo perché Grimaldi insista sulla necessità di osservare d'estate col cielo completamente sereno.

In collaborazione con Sara Magrin e Roberto Temporin del Dipartimento di Fisica e Astronomia Galileo Galilei dell'Università di Padova, abbiamo cercato di riprodurre, seguendo il suggerimento di Padre Grimaldi alla fine del paragrafo16, ma con semplici metodi moderni, alcuni aspetti delle osservazioni di Grimaldi. Abbiamo usato un LASER a HeNe allargandone il fascio al diametro di circa 5 cm, con un collimatore con filtro spaziale (pinhole) per pulire il fronte d'onda, ed una lente, di non alta qualità, divergente di – 40 D. Abbiamo inserito nel cono di luce risultante diversi ostacoli e fotografato le immagini raccolte su di un foglio di carta bianca posto a circa un metro dall'ostacolo. La prossima estate, in qualche giornata molto luminosa, qualche lettore potrebbe divertirsi a vedere le immagini con un foro nella finestra come sorgente.

Dopo aver ricordato i fenomeni della riflessione e della rifrazione nei paragrafi 1–6, Grimaldi discute i suoi esperimenti sulla diffrazione.

Da "Physico-Mathesis De Lumine Coloribus et Iride", Ex Typographia Haeredis Victorij Benatij, Bononiae 1665.

PROPOSITIO I.

Lumen propagatur seu diffunditur non solùm Directè, Refractè, ac Reflexè, sed etiam alio quodam Quarto modo, DIFFRACTE'.

Experimentum primum

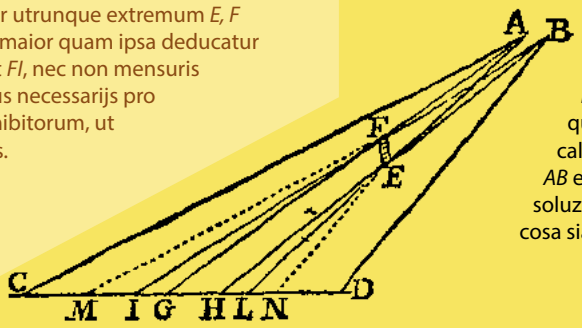
7. Aperto in finestra foraminulo perquam parvo *AB*, introducatur per illud in cubiculum, alioqui valde oscurum, lumen Solis Caelo serenissimo, cuius diffusio erit per conum, vel quasi conum *ACDB* visibilem si aër fuerit refertus atomis pulvereis, vel si in eo excitetur aliquis fumus. Huic cono inseratur aliquod corpus opacum *EF*, in magna distantia a foraminie *AB*, et ita ut saltem unum extremum corporis opaci illuminetur. Excipiatur deinde in tabella candida, vel in folio chartae albae super pavimento extensae, conus praedictus, seu basis eius lucida *CD*, cum umbra *GH*, quam proijcit opacum *EF* insertum cono, et illuminatum in utroque sui extremo *E* et *F*: quae tamen umbra secundum leges Opticas non erit exactissime praecisa, et terminata in uno alio puncto *G* versus unam partem et in uno puncto *H* versus aliam: sed ratione foramine *AB*, aliquam tandem latitudinem habentis, simulque ratione Solis in latum extensi, aliave de causa erit confinium umbrae aliquo modo incertum propter penumbram quadam, et cum sensibili decremento, seu ut vocant exfumatione luminis *IG* inter certam umbram, et nitidum lumen ad unam partem praedictae basis, et per spatium *HL* ad aliam partem.
8. Sed quod valde notandum est, apparebit tota umbra *IL* insingniter maior de facto, quam debuerit esse, si supponatur rem totam agi per lineas rectas ab extremis *A, B,* per utrunque extremum *E, F* productas, ut in figura hic posita, et maior quam ipsa deducatur per calculum ex datis distantijs *BF* et *FI*, nec non mensuris *AB* et *EF*, ac denique angulis omnibus necessarijs pro solutione triangulorum in figura exhibitorum, ut nos re ipsa non semel experti sumus.

Proposizione 1

La luce si propaga o diffonde non solamente Direttamente, per Riflessione, e Rifrazione, ma anche in un altro quarto modo, per DIFFRAZIONE

Primo esperimento

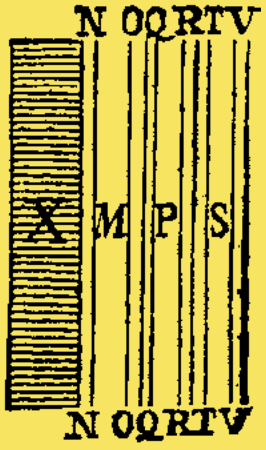
7. Aperto in una finestra un forellino piuttosto piccolo *AB*, si faccia entrare per esso in una stanza, peraltro ben oscurata, la luce del Sole in un cielo serenissimo, la diffusione della quale avverrà in forma di cono o di quasi cono *ACDB*, reso visibile dalle polveri presenti nell'aria oppure alzandovi del fumo. Si intercetti questo cono con un qualche corpo opaco *EF*, ad una grande distanza dal foro *AB*, in modo che almeno un estremo del corpo opaco sia illuminato. Si intercetti quindi con una tavoletta candida, oppure con un foglio di carta bianca steso sul pavimento, il detto cono, cioè la sua base luminosa *CD*, con l'ombra *GH* che proietta l'ostacolo *EF* inserito nel cono, illuminato sino a ciascun suo estremo *E* ed *F*. Tuttavia l'ombra non sarà esattissimamente precisa secondo le leggi dell'ottica, e terminata in un punto *G* verso una parte, e in un altro punto *H* verso l'altra: ma in ragione del foro *AB*, che ha una certa larghezza, e similmente in ragione dell'estensione laterale del Sole, o per altra causa, il confine dell'ombra sarà in qualche incerto presso una certa penombra, e con un sensibile decremento, o, come dicono, sfumatura, della luce tra l'ombra certa e l'illuminamento nitido nello spazio *IG* da un lato della base predetta, e per lo spazio *HL* dall'altro lato.
8. Ma, cosa importante da notare, l'ombra totale *IL* apparirà nei fatti notevolmente maggiore di quanto dovrebbe se si suppone che tutto avvenga per linee rette tirate dagli estremi *A, B* per ciascun estremo *E, F*, come nella **figura** qui mostrata, e maggiore di quanto si deduca col calcolo dalle date distanze *BF* e *FI*, e dalle misure *AB* e *EF* e infine dati tutti gli angoli necessari per la soluzione dei triangoli mostrati in figura, della qual cosa siamo esperti.



Continuando con la sola traduzione

Quindi (per darne un breve cenno), dati del triangolo *AFE* i tre lati, vi si collega l'angolo *A* con la trigonometria, col quale nel triangolo *AGL* oltre al lato *AG*, e anche *AL* con l'angolo *G* osservato, si ottiene *GL*. Quindi nel triangolo *AFB*, che si può assumere isoscele, dati tre lati si conosce l'angolo *F*, e l'angolo di ugual vertice e ad esso uguale *IFG*: con questo nel triangolo *IGF* assieme alla distanza *FI* e avendo osservato l'angolo *I*, si ottiene la retta *IG* da aggiungere alla già trovata *GL*, per ottenere infine la base cercata *IL*, quanta dovrebbe essere, se tutta la luce diffusa nel cono luminoso interrotto dall'interposto ostacolo *EF* si propagasse per linee rette. Poiché questi triangoli sono molto acuti, saranno necessarie le tavole estese a grande raggio, ma la loro soluzione non è impossibile. Quindi poniamo che l'ombra calcolata come sopra supponendo per linee rette, sia nella figura *IL* e l'ombra che appare all'osservazione sia *MN*.

9. Si osservi inoltre che nella parte luminosa della base *CM* e *ND*, illuminata nitidamente e fortemente, si spargono e si separano alcuni tratti ovvero frange (*series*) di luce colorata, in modo che in ogni frangia la luce è nel mezzo molto pura, e sincera, agli estremi ha colori, cioè blu nell'estremo più vicino alla stessa ombra *MN*, e rosso all'estremo più lontano: ma queste frange luminose possono dipendere dalle dimensioni del foro *AB*, dato che non apparirebbero se quello fosse maggiore, ma non ne sono determinate come non lo sono dal diametro del Sole, come risulterà dal seguito.
10. Si osserva ulteriormente che i detti tratti, o frange di luce colorata, si estendono da *M* verso *C* [e, ugualmente detto, da *N* verso *D*] così che la prima è più larga della seconda, e questa più larga della terza (né accade mai che se ne vedano più di tre), e che in esse decresce l'intensità luminosa e dei colori, nel medesimo ordine nel quale esse recedono dall'ombra. Sono esse sempre più larghe, quanto più distanti dall'ostacolo che proietta l'ombra vengono raccolte dalla tavoletta candida, e quanto più questa viene inclinata rispetto alla radiazione solare. Cosa che la ragione stessa richiede, perché sono disegnate dai raggi che sono parte del cono luminoso, e che più e più si disgiungono tra loro quanto più a lungo procedono.
11. Forse ci sarà qualcuno che non vorrebbe riconoscere, per qualche difetto di attenzione in questa osservazione, le dette frange essere frange luminose, come abbiamo affermato, ma sostenere fermamente che si debbano dire piuttosto frange di ombra, perché non percepisce sufficientemente quei colori quasi oscuri, che dicemmo apparire ai lati illuminati delle frange luminose. Per spiegare ciò più chiaramente, nella seguente **figura** vicino all'ombra *X* proiettata dall'ostacolo opaco, come sopra, e terminante sulla tavoletta, o foglio di carta pulita, sono rappresentate tre di quelle frange luminose ciascuna composta di un fascetto di tre. Sia *NMO* la prima e più larga frangia, nel cui mezzo sia *M*, di tutte la fascia più larga e luminosa, che non mostra alcun colore, ma è contenuta da due minori, e colorate, delle quali una *N*, che è più prossima all'ombra, è blu, l'altra, cioè *O*, rossa. La seconda frangia più stretta della prima sia *QPR* il cui elemento di mezzo sia *P*, fascia luminosa non colorata, e che ne contiene inoltre due colorate, e quasi scure, l'una *Q* blu verso l'ombra suddetta e l'atra *R* rossa. La terza delle frange di tutte la più stretta sia *TSV*, che ha nel suo mezzo la fascia luminosa pura *S*, e nei lati due colorate che si notano meno, cioè *T* blu, e *V* rossa.



E così può accadere che qualche osservatore, sebbene intraprenda l'esperimento con cielo serenissimo, e che le suddette frange siano prodotte da luce adeguata, nondimeno, per difetto di attenzione e perspicacia, stimi che appaiano sulla base luminosa del cono suddetto, anche frange d'ombra, invece che luminose, ciò perché stima che le due fasce *O* e *Q* siano una sola, e quindi siano scure, dato che non percepisce in esse due diversi colori, che provano essere esse due e luminose. Di conseguenza dunque, molto meno discernerà le due minori *R* e *T* come distinte e colorate, e penserà che esse siano una sola e scura, e quindi conterà di osservare sulla base di luce del suddetto cono solamente tre fasce scure, benché separate sia dall'ombra principale, sia tra di loro, così (*stimerà*) che le tre parti luminose *M, P* e *S* siano porzioni della base luminosa, che si frappongano tra le tre ombre *OQ, RT* e *V* disposte secondo la lunghezza dell'ombra principale *X*, proiettata dall'ostacolo inserito, come detto sopra, nel cono di luce.

La fig. 2 mostra le frange, ottenute come sopra riportato, nella parte illuminata vicino all'ombra, al bordo di un ostacolo opaco, una lamina metallica. La figura suggerisce cosa potesse osservare Grimaldi con luce bianca con coerenza spaziale limitata.

12. E infatti se si osserva attentamente e l'esperimento è fatto come si deve, sarà chiaro che quelle frange quasi scure non sono ombre, o mero difetto di luce, ma tratti gemelli di colori diversi, tra i quali inoltre appare qualcosa di oscuro dal loro confine comune, che non si vede colorato: Ma essi (*tratti*) si discerneranno distintamente se risplende un'intensa luce del Sole, e per il fatto stesso che si vedano colorati non possono non essere luminosi (Sed illi tamen distinte discernuntur si adfulgeat validum lumen Solis, et eo ipso quod cognoscuotur colorati non possunt non esse lucidi). Cosa anche degna di nota è anche che i tratti luminosi *M, P, S* anzidetti sono più luminosi della restante base del cono di raggi sulla sopra menzionata tavoletta […]

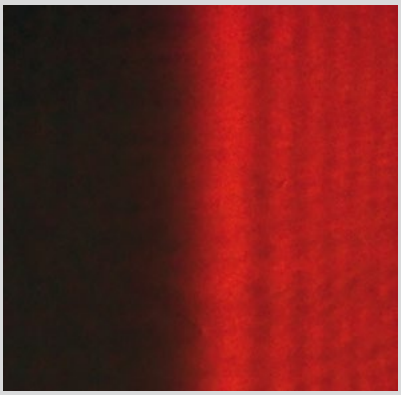


Fig. 2 Frange di diffrazione vicino al bordo rettilineo di un ostacolo opaco in luce monocromatica.

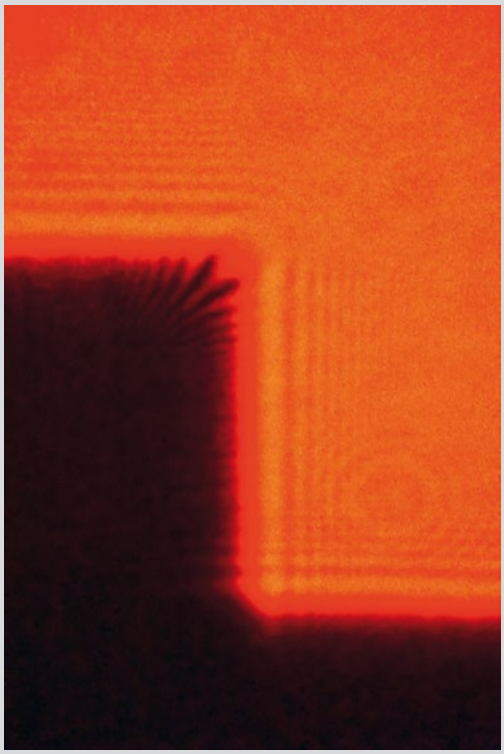


Fig. 3 Frange di diffrazione fuori dell'ombra vicino ai bordi a 90°, concavo e convesso, di ostacolo opaco.

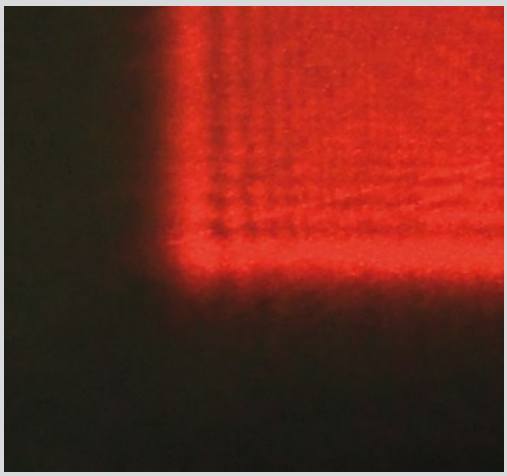
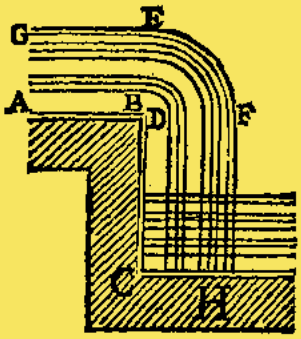


Fig. 4 Frange di diffrazione fuori dell'ombra vicino al bordo a 90° di un ostacolo opaco.

13. In aggiunta si osservano le frange suddette essere tutte parallele all'ombra proiettata dall'ostacolo, e inoltre (*essere*) rette se è retto l'esterno dell'ostacolo inserito nel cono di luce, e curve, se curvo. Ma quando il suddetto ostacolo fosse angoloso, e di conseguenza l'ombra stessa raccolta nel piano, fosse al pari angolosa, allora le frange stesse sono rette sino a che procedono parallele ai lati delle ombre che sono esse stesse rette; ma poi tutte curvano per archi simili attorno a quell'angolo dell'ombra, che la luce contorna esternamente da entrambi i lati, come si può vedere nello **schema allegato**, nel quale sia l'ombra *ABC* angolosa in *B* e *C*, quale è il corpo che la proietta, parallele al cui lato *AB* ci siano le frange colorate, e luminose, che dai termini *A, G* si estendono sino a *B, E*; inoltre siano parallele al lato *CD*, quelle che dai termini *C, H* procedono sino a *D, F*; ma dopo questo completo parallelismo con i lati dell'ombra, tutte quelle frange non più procedono rettilinee alla meta comune, ma si percepiscono curvare simili tra loro intorno all'angolo dell'ombra *ABC*, come si vede in *BD* e *EF*. Ma verso l'angolo, che contiene in sé la luce, quale è l'angolo *DCH*, le frange si incrociano a vicenda come mostrato in figura, né una impedisce la forma dell'altra, essendo i colori nel punto di incrocio o aumentati in intensità, o mescolati.



La fig. 3 mostra le frange all'esterno di un ostacolo opaco simile a quello della figura di Grimaldi al paragrafo 13. L'esposizione è stata regolata in modo da vedere anche alcune frange luminose nell'ombra (vedi più avanti) e quindi sovraesponendo la parte illuminata. Comunque, si vede bene come le frange curvino attorno all'angolo, quello superiore, che contiene in se l'ombra, e si intersechino in quello inferiore che contiene la luce.
La fig. 4 mostra, non sovraesposte come in fig. 3, le frange presso l'angolo che contiene in sé la luce, da confrontare con la parte superiore della seconda figura di Grimaldi.
Grimaldi passa ad un'altra osservazione, notevolmente più difficile delle precedenti, le frange di diffrazione nell'ombra.

14. Si deve parimenti osservare che nella stessa ombra compaiono a volte le dette frange di luce colorata, un numero a volte maggiore a volte minore. A ciò è necessario in primo luogo una luce del Sole fortissima; inoltre, l'ostacolo opaco inserito nel cono di luce e illuminato da entrambi i lati, deve essere piuttosto lungo, ma moderatamente largo, tuttavia di larghezza non troppo piccola, quanto le prove stesse insegnino. E infatti se, ad esempio, si usa un capello o un filo da ago da calzolaio di un qualche spessore, all'ombra da esso proiettata si mescolerà un po' di luce e di colore confuso, fino al punto in cui la luce del detto cono, scorsa agli estremi del filo così sottile, si dissipa poi ed estingue l'ombra del filo a quella distanza dal filo che è richiesta perché le frange colorate e luminose appaiano nell'ombra, intercettate da un piano. Si deve pertanto inserire nel cono di luce una lamina, o qualche sbarra poco più larga, e poi altre più larghe, finché si giunga a quella, la cui ombra intercettata a debita distanza, si riconosce contenere in sé le frange suddette: la quale distanza quanto maggiore sarà, quanto più distinte appariranno le frange, purché il lume dal quale vanno formate, per troppa distanza non si indebolisca.

15. Inoltre il numero delle frange che compaiono nell'ombra, sarà tanto maggiore, ceteris paribus, quanto più larga sarà la lamina, o verga, inserita nel cono: saranno queste al minimo due e, se si usa una verga più larga, quattro. E così procedendo per maggiore grossezza, o larghezza dell'ostacolo, che comunque sia illuminato da entrambi i lati, o meglio sia totalmente inserito nel predetto cono, le frange saranno di più, per esempio sei, in numero comunque sempre pari, poiché quante sono visibili nell'ombra da un suo lato estremo, altrettante ne sono contemporaneamente visibili dall'altro. Ho detto "ceteris paribus", perché mantenendo la stessa lamina, o verga opaca, possono apparire frange in maggior o minor numero a seconda che siano raccolte nel piano candido posto più lontano o più vicino. Inoltre saranno maggiori, o più larghe, quelle frange che sono in numero minore; e al contrario più strette quando esistono in maggior numero. Tutte le frange luminose e colorate predette appaiono in ogni caso più chiare e distinte se sono raccolte in un piano pulito e candido, ma posto un po' obliquo rispetto al cono di raggi di luce solare. Non aggiungo qui una figura specifica, perché sembrano sufficienti le cose dette, anzi tutte le predizioni sono rappresentate anche nello schema seguente.

Le frange nell'ombra parallele all'asse dell'ombra di un ostacolo, lamina o barretta, si osservano solo se esso è abbastanza (ma non troppo) sottile, diversi decimi di millimetro. Le fig. 5a, b mostrano le frange nell'ombra per fili rispettivamente di 0,47 mm, piegato, e 0,9 mm. Nella fig. 5a le frange nell'ombra seguono la curvatura, quando l'ombra curva. Nella fig. 5b le frange nell'ombra sono in numero maggiore, essendo l'ostacolo due volte più largo. Si nota come si mantengano parallele e separate sino al termine, che è tronco.

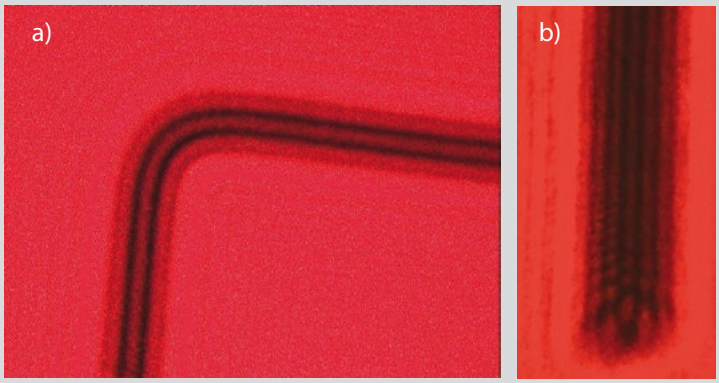


Fig. 5 Frange di diffrazione nell'ombra di fili di diametro a) 0.47 mm, b) 0.9 mm.

16. Infine si osservano le suddette frange luminose visibili nell'ombra mantenere il parallelismo con i lati estremi dell'ombra, ed essere rette fin tanto che questi saranno retti; ma, quando l'ombra sia angolata, si osservano curvare attorno all'angolo dell'ombra.
In verità, inoltre, nel detto angolo appaiono sull'ombra frange luminose più brevi, anch'esse curve, ma simili alle nappe, che pendono in un galero (copricapo prelatizio, fig. 6), dopo una qualche elevazione delle medesime, da entrambe le parti, come mostra la **figura allegata**, nella quale, oltre alle quattro frange sopra discusse ed estese nell'ombra *ABC* da *A* verso *C* e da *B* verso *D*, che curvano vicino all'angolo dell'ombra, si notano anche tra *D* e *C* poche frange luminose alquanto più brevi, incurvate da una parte e dall'altra rispetto alla linea di mezzo *DC*, convergenti in *D*, ma in nessun modo seguaci del percorso di quelle che si estendono in lunghezza lungo i lati dell'ombra. Queste frange più brevi e più luminose presso l'angolo dell'ombra appaiono anche se la lamina, o verga, non è completamente inserita nel cono di luce, ma solo sino ad un estremo, peraltro terminato da qualche angolo, e sono a volte di più, a volte di meno a seconda della larghezza della lamina, o verga, inserita nel cono. Perché se quella lamina, o verga, è molto sottile, ma comunque adatta a proiettare un'ombra contenente frange luminose, che si estendano lungo la sua lunghezza, appariranno esse stesse curvate vicino all'estremo di tale ombra, come si vede nella figura vicino all'estremo *B*, né nell'estremo dell'ombra manterranno perfetta separazione, e parallelismo, sebbene esse siano rappresentate così in figura all'estremo *A*, dove è rappresentata un'ombra tronca. Parimenti seguono la rotondità della curvatura attorno al detto estremo dell'ombra le frange colorate, o luminose, che, estese al di fuori dell'ombra, procedono parallele ad entrambi i lati, in modo che sarà facile comprendere da queste quelle che sono ombreggiate nel precedente schema dell'ombra, per cui ci asteniamo dall'esprimere un nuovo schema di quelle curvature.
Omettiamo anche osservazioni meno importanti che non sono funzionali al nostro oggetto, né necessarie, e che in maniera facile e insieme divertente potrà fare da sé chi vorrà intraprendere questi esperimenti. Ma li fa anche chiunque vorrà comprendere più chiaramente ciò che abbiamo esposto, perché da nessuna esposizione fatta a parole possiamo comprendere compiutamente, quanto occorre, la cosa stessa.

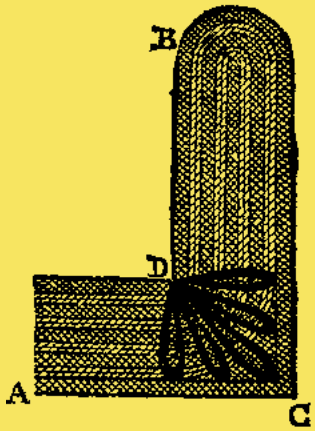


Fig. 6 Il galero, cappello di vescovi, arcivescovi e cardinali, utilizzato anche nello scudo araldico. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cardinal_galero_with_fiocchi.svg

La fig. 7 mostra ingrandita la parte della fig. 3 corrispondente al punto *D* della figura di Grimaldi. La situazione è un po' diversa perché l'ostacolo da noi usato è più largo di quello di Grimaldi, e quindi non c'è il corrispondente del punto *C* in cui finisce l'ombra, né ci sono le frange di luce nell'ombra parallele ai lati (fig. 5), ma le "nappe del galero" sono ben visibili.

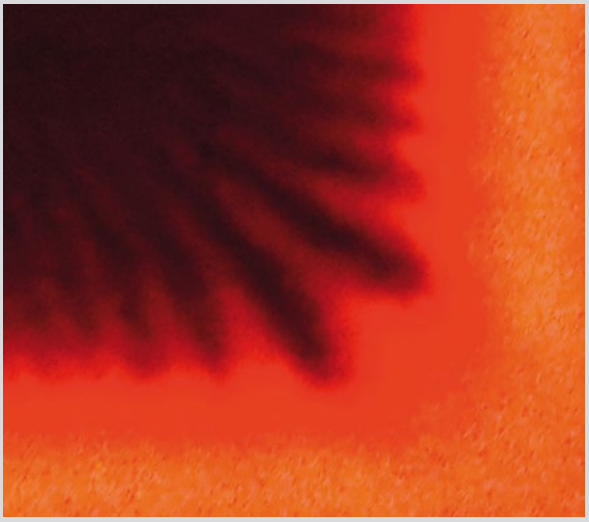
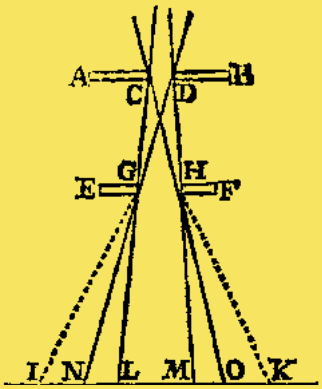


Fig. 7 Frange di diffrazione nell'ombra all'angolo retto contenente ombra; punto C della figura al capitolo 16.

Secondo esperimento

25. Aperto in una finestra di legno di una stanzetta bene oscurata un foro dello spessore di un dito circa, gli si applichi una lamina opaca sottile *AB*, per il cui forellino strettissimo *CD* la luce del Sole entrando prende la forma di un cono: su questo si ponga a grande distanza dietro la lamina *AB* ad angolo retto la lamella *EF*, che parimenti abbia un piccolo foro *GH*, dal quale sia ricevuta una parte del detto cono di luce tagliato perpendicolarmente dalla lamina *EF* in un punto nel quale la sua base superi notevolmente la larghezza del foro *GH*, in modo che il foro sia completamente illuminato, o riempito di luce. Di nuovo questa stessa luce, che entra nel secondo foro *GH*, si forma, o procede in forma di cono, o quasi cono, che tagliato ortogonalmente, e terminato da una superficie piana pulita e candida, esibirà su di essa la sua base luminosa *IK* notevolmente maggiore, di quanto sarebbe per raggi trasmessi in linea retta da entrambi i fori, e non solo se passanti per gli estremi dei fori appartenenti alla medesima parte, come sono i raggi *CGL* e *DHM*, ma anche alle parti opposte, come sono *DGN* e *CHO*.
Ciò risultò manifesto dopo aver ripetuto più volte l'esperimento, osservando quanto apparisse di fatto esser larga la base *IK* e calcolando quanto dovesse essere la base *NO* per raggi rettilinei e incrociati tra i lati dei due fori. Il calcolo poi fu tanto evidente quanto facile. Si divida un'oncia (*cioè 1/12*) di piede antico romano (di uso più frequente) [*in Riccioli, suo allievo, il piede romano antico è pari a 308 mm*] in 300 parti uguali e si usi come misura dei diametri *GH* e *CD* e anche della distanza *DG* (che è sensibilmente uguale alla distanza *CG*) e *GN*, che sensibilmente è uguale alla distanza *GL*; fu facile conoscere nel triangolo *CDG* l'angolo *CGD* e così *NGL* avente lo stesso vertice, e di conseguenza anche *NL* nel triangolo *GLN*, del quale sono dati i lati, e l'anglo *G* tra di essi compreso. Infine la retta *LO* fu immediatamente acquisita, facendo come *CG* sta a *GH*, così *CL*, composta di due date, sta a *LO* per Euclide 4.6 [*si intende la proposizione 4 del libro VI di Euclide: Nei triangoli equiangoli i lati attorno agli angoli uguali sono tra loro proporzionali ed i lati omologhi sono quelli che sono opposti ad angoli uguali*]. Poi aggiungendo *NL* a *LO* si ottiene *NO*, che cercavamo, e che sempre è molto minore dell'osservata *IK*.



26. Perché l'esperimento avvenga correttamente, si richiede una luce solare intensa, perché, come si disse, i fori devono essere sottili, in particolare il primo *CD*, e inoltre il piano candido, nel quale si raccoglie la base *IK*, deve distare molto dal foro *GH*, dato che essa eccede poco o nulla la base *NO* dedotta dal calcolo. Noi abbiamo usato per lo più per *CD* quattro o cinque parti delle quali un piede romano antico ne comprende 300 (*cioè 4 o 5 mm*), e per *GH* 25 o 30 di tali parti. Ma le distanze *DG* e *GN* (*siano*) almeno 12 di tali piedi. All'osservazione fatta in estate, circa a mezzogiorno e con cielo serenissimo, sempre fu evidente l'eccesso della base osservata *IK* sopra la dedotta *NO*, tanto che è vano temere pericolo di errore o di sottilizzare con inutili critiche l'aver assunto isosceli i triangoli *CGD* e *NGL*.
Infine, non si deve omettere che la base illuminata *IK* appare nel mezzo soffusa di luce pura e agli estremi di tale luce colorata da un lato di colore rosso, e dall'altro fortemente blu.

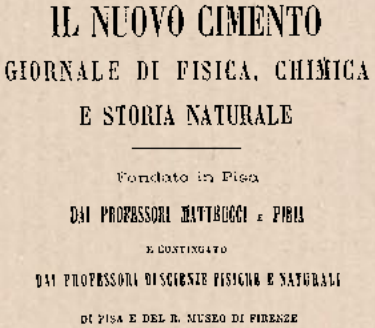
Denique omittendum non est lucidam basem *IK* in sui medio apparere perfusam mero lumine, et in extremo ambitu eius lumen colorati colore partim rubeo, partim potissimum caeruleo.

a cura di
Alessandro Bettini

IL NUOVO CIMENTO 150, 100, 50 ANNI FA

150 ANNI FA

Da "Avvertimento" di Carlo Matteucci; Il Nuovo Cimento, 21-22 (1865-66) 5.


IL NUOVO CIMENTO
GIORNALE DI FISICA, CHIMICA
E STORIA NATURALE
Fondato in Pisa
DAI PROFESSORI MATTEUCCI E PIRIA
E CONTINUATO
DAI PROFESSORI DI SCIENZE FISICHE E NATURALI
DI PISA E DEL R. MUSEO DI FIRENZE

Sono ormai ventidue anni che assieme al mio compianto collega ed amico il Professore Piria, invitavo i Cultori delle Scienze fisiche e naturali in Italia ad assistermi in un'opera periodica diretta a raccogliere i lavori degli italiani sopra queste Scienze, a farle conoscere all'estero e a diffondere nel tempo stesso fra noi le scoperte scientifiche più importanti fatte fuori. Il Cimento, che si chiamò poi Nuovo Cimento, non ha mai cessato fin dal 1844 di essere l'organo dei progressi delle Scienze fisiche e naturali in Italia e certamente quanto di più importante si è fatto nelle Scienze fisiche fra noi e all'estero.

Disgraziatamente, però, se la vita scientifica di questo periodico si mantenne degnamente, non così può dirsi della sua vita economica, la quale fu sempre stentata e tale che non si sarebbe conservata senza il sussidio che ogni anno ebbe la Direzione del Giornale, prima dal Governo toscano, poi dal Governo italiano. Lo scarso numero di associati, in parte dovuto alle poche persone che coltivano seriamente queste Scienze in Italia, fu anche attribuito all'essersi il Cimento spesso limitato alla sola fisica.

Matteucci prosegue prospettando una politica editoriale di allargamento ad altre Scienze naturali e conclude

Grandi e straordinari avvenimenti sono accaduti in Italia in questi ultimi anni ed oggi che le sorti del Regno, possono dirsi consolidate, è pur tempo che anche le Scienze, cessino di essere trascurate e tornino anzi a splendere di quella antica gloria a cui deve la nostra Patria la sua maggiore rinomanza […] confidando che il Nuovo Cimento potesse contare in tempi difficili […] sul fermo proposito dei suoi collaboratori di fare opera utile alla Patria e alla scienza.

100 ANNI FA

Da "Il blu del cielo e la costante di Avogadro" di D. Pacini; Il Nuovo Cimento 10 (1915) 131.

Quando il cielo è puro, l'assorbimento della radiazione solare per parte dell'aria e il colore blu si considerano come dovuti nella quasi totalità alla dispersione molecolare secondo la teoria di Lord Rayleigh. Senonché, anche quando il cielo è apparentemente sereno, esistono in generale nell'atmosfera, specialmente negli strati più bassi, numerose particelle solide e liquide che hanno spesso dimensioni superiori a quelle volute dalla legge di Rayleigh, per cui questa non si trova verificata e la causa determinante l'assorbimento della luce solare e la colorazione del cielo diventa assai complessa […]. *Per quanto discusso* dobbiamo attenderci […] di non trovare verificata che in condizioni eccezionali la legge dell'inverso di λ^4.

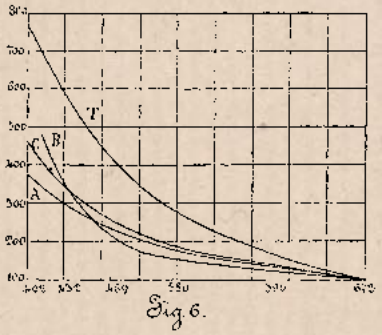


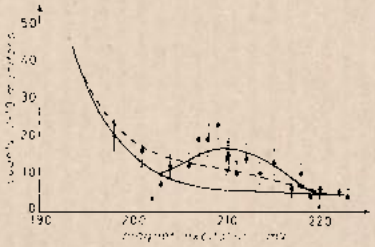
Fig. 6.

Pacini riporta misure dello spettro della luce del cielo fatte da lui stesso e da altri. Nella fig. 6 (le lunghezze d'onda sono in Å. T è l'andamento teorico, la A è misurata con cielo leggermente nebbioso, B e C con cielo sereno bello).

Cosciente di non poter competere in precisione con misure di laboratorio, Pacini tenta una determinazione del numero di Avogadro, dal rapporto C/S tra intensità della luce dal cielo e dal Sole. Può determinare solo il limite inferiore $N>5.7\times10^{23}$

50 ANNI FA

L'antideutone fu il primo antinucleo scoperto, da A. Zichichi e collaboratori. Può sembrare oggi ovvio che, scoperti l'antiprotone e l'antineutrone, l'antideutone dovesse necessariamente esistere. Ma 50 anni fa non lo era affatto, dopo la scoperta delle violazioni delle simmetrie di parità (P), coniugazione di carica (C) e CP, esisteva davvero l'antimateria? Il difficile esperimento, sul fascio di alta intensità di antiprotoni di Morpurgo e Petrucci, che aveva un fitto programma di utilizzo approvato in precedenza, fu approvato dal DG Victor Weiskopf che però, dopo aver detto a Zichichi che se avesse distrutto il fascio non l'avrebbe sostenuto, aggiunse: " My green light is only valid if you can really check the existence of the antideuteron in a single night". La mattina dopo, ricorda, Zichichi gli portò lo spettro in figura[1].



Da "Experimental Observation of Antideuteron Production" di T. Massam et al.; Il Nuovo Cimento 39 (1965) 10.

We report here the results of an experiment on the production of anti-deuterons in proton-beryllium collisions. The beam used for the investigation was the high-intensity, partially separated, negative beam from the CERN Proton-Synchrotron. The beam came from an internal beryllium target […] and was momentum and velocity analysed by bending magnets and an electrostatic separator, thus allowing the mass spectrum of the particles produced in the internal PS target to be determined. In order to be able to detect masses produced at very low rates with respect to the pions, it was necessary to improve the mass resolution by adding gas Čerenkov counters and time-of-flights counters […].

The results reported imply the conclusion that a negative particle exists with mass equal to (1867±80) MeV/c^2. The most simple interpretation of these data is to identify this particle with antideuteron […]. The ratio of antideuteron flux detected to pion flux in the beam is (8±1) 10^{-9}.

[1] T. D. Lee "Are matter and antimatter symmetric?" in "The discovery of nuclear antimatter", edited by L. Maiani and R. A. Ricci, Conf. Proc. SIF, vol 53 (Editrice Compositori, Bologna) 1996.

a cura di
Alessandro Bettini

CON PLANCK! LA SCIENZA SI FA PICCOLA

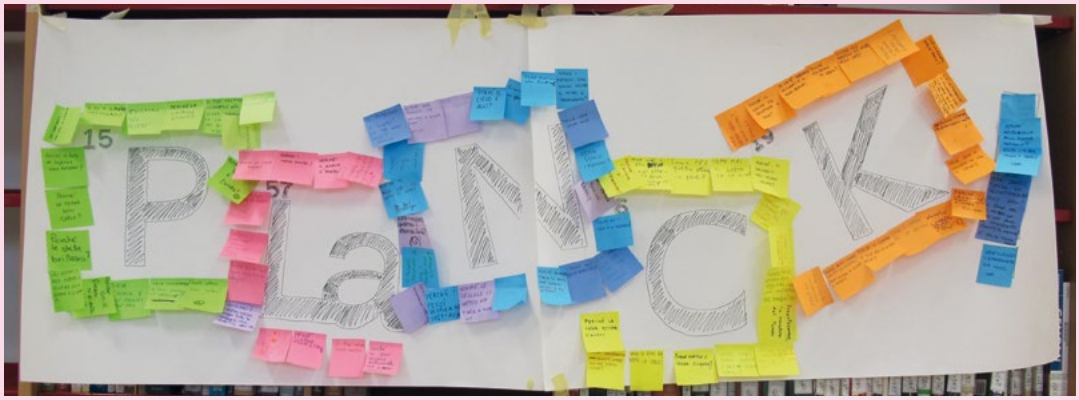
PLaNCK! è una rivista di scienza per ragazzi fondata a Padova nel 2013. A cadenza quadrimestrale, affronta un argomento scientifico ad ogni uscita, proponendo giochi, curiosità, approfondimenti, e storie a fumetti. Stampata "bifronte" in italiano e in inglese, la rivista è un caso unico nel panorama italiano dell'editoria per ragazzi. Lo testimonia il primo premio della sezione under 35 al Premio nazionale per la divulgazione scientifica vinto a dicembre 2014. Il sogno della redazione di PLaNCK! è di realizzare un giornale che racconti la scienza in modo rigoroso ma allo stesso tempo capace di divertire, incuriosire e appassionare.

Raccontare la scienza in maniera rigorosa ma facendo divertire e sognare: è possibile? C'è chi crede di sì. La rivista di divulgazione scientifica per ragazzi PLaNCK!, è nata nel 2013 da un'idea di Marta Carli e Agnese Sonato, al tempo dottorande e oggi assegniste di ricerca. Marta, laureata in Fisica all'Università di Padova, e Agnese, laureata in Scienza dei Materiali sempre a Padova, si sono trovate ad essere colleghe nello stesso gruppo di ricerca in cui svolgevano il dottorato in Scienza e Ingegneria dei Materiali. Insieme hanno partecipato a diverse iniziative di divulgazione promosse dai Dipartimenti di Scienze Chimiche e di Fisica e Astronomia dell'Università di Padova. Qui Agnese e Marta scoprono una passione in comune. Oltre a quella per i propri studi e per la propria attività di ricercatrici, sono accomunate dalla passione per la divulgazione, rivolta soprattutto al mondo dei bambini e dei ragazzi. Un mondo che entrambe conoscono bene e al quale hanno dedicato diverso tempo libero attraverso associazioni e attività di volontariato.

È da qui che nasce l'idea che sta alla base di PLaNCK!: fare un giornale per ragazzi che parlasse di scienza "sul serio", senza cioè fare marcia indietro sul rigore dei contenuti per essere più accattivante. Al contrario, la prima intuizione forte che caratterizza il progetto è che proprio contenuti scientifici di qualità sarebbero stati il marchio di fabbrica della rivista. La seconda intuizione è stata quella di immaginare la rivista collegata all'attività di ricerca dell'Università di Padova. Dentro i laboratori dell'università lavorano ricercatori di grande competenza, la maggior parte dei quali sono impegnati in attività di elevato interesse scientifico in tutti i campi di indagine. Un patrimonio che era un peccato rimanesse "chiuso" dentro l'università: era necessario, in qualche modo, abbattere quei muri che separano le persone non esperte di scienza dagli scienziati, spesso visti come distanti, "strani", incomprensibili. Insomma, valeva la pena contribuire a quella che viene chiamata la "terza missione" dell'università, accanto a quelle della formazione e della ricerca, ovvero favorire l'applicazione diretta, la valorizzazione e l'impiego della conoscenza per contribuire allo sviluppo sociale, culturale ed economico della società. Ma c'è stata un'altra intuizione da mettere sul piatto prima ancora di individuare il nome del progetto: PLaNCK! sarebbe stato in italiano e in inglese. Questo perché l'inglese è la lingua della scienza. Tutti gli scienziati parlano inglese e in inglese condividono le loro scoperte, per questo sarebbe stato bello proporre ai bambini l'opportunità di imparare termini e espressioni che fanno parte del vocabolario scientifico. A questo va aggiunto il fatto che PLaNCK! avrebbe potuto diventare un prodotto utile per gli insegnanti, specialmente dal momento in cui si stanno avviando programmi scolastici che prevedono l'insegnamento di alcune materie in lingua inglese fin dalle elementari.

Copertina del numero 4 della rivista.

Una volta individuata l'idea, occorreva guardarsi intorno: cosa esisteva in Italia nel contesto della divulgazione scientifica per ragazzi? Fatta eccezione per i volumi pubblicati da diverse (e molto valide) case editrici, nel settore dei periodici la proposta era quasi nulla. Riviste per ragazzi che si occupano di scienza esistono, ma per la maggior parte non hanno un taglio rigoroso dal punto di vista scientifico e propongono "curiosità", anche scientifiche ma non solo. Insomma, PLaNCK! si preannunciava come un *unicum* sul panorama italiano. Per prendere spunti e idee, su suggerimento di un corso in comunicazione della scienza, si è buttato lo sguardo su quanto accade in Francia. Nel Paese d'oltralpe, l'editoria per ragazzi è molto variegata e diffusa, anche per quanto riguarda i periodici. Numerose sono infatti le riviste che si occupano di scienza con il taglio che si stava cercando. Fatta scorta di giornali francesi e individuate le idee di fondo, per completare il progetto mancavano ancora tre passaggi. Il primo è



Testata realizzata con post-it.

stata la costituzione di una redazione. Agnese e Marta hanno così coinvolto amici e colleghi in base alle competenze necessarie, formando un gruppo giovane e multidisciplinare che comprendeva competenze giornalistiche, didattiche, linguistiche, grafiche, fumettistiche e, ovviamente, scientifiche. Il secondo passo è stato coinvolgere l'Università. Dopo vari colloqui, è stato raccolto il sostegno entusiasta dei Dipartimenti di Scienze Chimiche e di Fisica e Astronomia. Alcuni docenti degli stessi Dipartimenti compongono il comitato scientifico che passa al vaglio ogni numero di PLaNCK! prima della stampa proponendo correzioni o precisazioni. Un modo insomma per garantire la serietà e la competenza di PLaNCK! sul fronte dei contenuti che pubblica. Ma se la rivista si rivolge ai ragazzi, come poteva mancare il loro parere? Per questo PLaNCK! non si limita alle revisioni dei grandi ma propone il "referaggio dei bambini". Prima di andare in stampa, ogni numero di PLaNCK! viene portato in una classe delle elementari dove i ragazzi, assieme alla redazione, leggono i principali articoli della rivista, indicando i passaggi poco chiari o chiedendo ulteriori approfondimenti e curiosità. Per finire, mancava il titolo della rivista. L'idea di chiamare il giornale PLaNCK! è nata cercando un nome che fosse semplice, veloce da pronunciare e attinente con la scienza. PLaNCK! ricorda naturalmente il fisico Max Planck e inoltre, inaspettatamente, la redazione si è resa conto che la parola "Planck" si può comporre utilizzando i simboli degli elementi Fosforo (P), Lantanio (La), Azoto (N), Carbonio (C) e Potassio (K). A supporto della rivista cartacea, che esce con cadenza quadrimestrale, è stato realizzato un sito web (www.planck-magazine.it) dove si possono trovare tutte le informazioni sulla rivista, un blog costantemente aggiornato con le ultime notizie e curiosità dal mondo della scienza e, infine, una sezione dedicata a materiali di approfondimento sia per i piccoli lettori, sia per gli insegnanti. È importante precisare che PLaNCK! non è una rivista didattica, ma ritiene fondamentale il collegamento con il mondo della scuola.

Il progetto della rivista è ormai completo. Ogni uscita affronta un tema scientifico, presenta un'attività di ricerca su quell'argomento che si svolge all'interno dell'Università di Padova intervistando i ricercatori che ci lavorano, presenta le biografie degli scienziati che hanno dato i contributi più significativi in quel campo di studi, propone articoli di approfondimento, curiosità, giochi ed esperimenti da fare in casa, dai più semplici ai più complessi. Poi ci sono Max e Marie, due fratellini curiosi e intelligenti protagonisti delle avventure a fumetti che prendono le mosse dalla casa in cui abita la loro nonna Rosa assieme alla scimmietta Planck. Nonna Rosa, in apparenza burbera e con la testa tra le nuvole, è in realtà una scienziata ricca di inventiva. Tra le sue invenzioni ci sono degli occhiali che permettono a chi li indossa di accedere alla realtà aumentata e di esplorare le epoche storiche semplicemente toccando alcuni oggetti significativi: ecco allora che una mela ha proiettato Marie e Max al tempo di Newton, un cannocchiale li ha proiettati a conoscere Galilei e la riproduzione della foto numero 51 ha permesso loro di incontrare Rosalind Franklin.

L'anteprima della rivista viene presentata a settembre 2013. Si tratta del numero zero, con una fogliazione minore ma sempre bilingue, ed è interamente dedicato a "Non è magia, è chimica", la giornata di divulgazione scientifica che si svolge ogni anno al Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Padova. L'appuntamento, per la redazione di PLaNCK! si è rivelato un'ottima occasione per sondare l'interesse del pubblico, soprattutto dei più piccoli, i veri protagonisti dell'evento. L'esperimento viene ripetuto pochi giorni dopo, sempre a Padova, in occasione della "Notte europea dei ricercatori". In entrambe le occasioni la rivista riscuote

Alcuni membri della redazione di PLaNCK! alla Notte dei ricercatori, Padova 2014.
Al centro le fondatrici Agnese Sonato e Marta Carli.

molto interesse e curiosità e genitori e bambini incoraggiano la redazione a proseguire nel progetto.

Il primo numero di PLaNCK! esce a gennaio 2014. Lo pubblica la casa editrice padovana Cleup (Cooperativa Libraria Editrice Università di Padova). Giulio Peruzzi, fisico e insegnante di Storia della Fisica e Storia della Scienza e della Tecnica all'Università di Padova, nella lettera che introduce il giornale scrive che la prima sfida di PLaNCK! è "sperimentare forme di comunicazione, nelle quali si parte dalla meraviglia suscitata dai fenomeni naturali, per poi arrivare alla spiegazione che oggi ne fornisce la scienza". La seconda sfida, sempre secondo Peruzzi, "è quella di riuscire a parlare di scienza in modo semplice e accattivante senza introdurre banalizzazioni ed errori". "Per varie ragioni – continua Peruzzi – nel nostro Paese non è ancora diffusa la consapevolezza che la scienza sia una delle più alte espressioni della cultura umana. […] Da un po' di tempo, tuttavia, si nota anche in Italia una inversione di tendenza. E PLaNCK! ne è una ulteriore dimostrazione. Sempre più spesso gli scienziati sentono la responsabilità di comunicare i risultati delle loro ricerche al pubblico. Non è un caso che l'idea della nuova rivista sia venuta a giovani scienziati".

Al centro del primo numero di PLaNCK! c'è la luce. L'avventura di questa nuova rivista comincia con Marie e Max che, nella storia a fumetti, vanno a giocare a casa della nonna, scoprono gli occhiali per viaggiare nella realtà aumentata e fanno conoscenza con Galileo Galilei e Isaac Newton. Il tema della luce viene affrontato a partire dalla disputa tra Newton e Huygens sulla natura di questo fenomeno, per poi proseguire dando spazio ai colori. Per l'attività di ricerca, vengono presentati gli esperimenti padovani sul "Casimir Dinamico". Una ricercatrice del Dipartimento di Fisica e Astronomia che se ne occupa racconta i suoi esperimenti e spiega il funzionamento di uno strumento che utilizza quotidianamente: il laser. Il numero si completa con giochi, domande ai lettori e curiosità sul cinema e sul telescopio Hubble.

La pubblicazione di PLaNCK! si intreccia con le attività dell'associazione di promozione sociale "Accatagliato", fondata nel 2013 da alcuni giovani ricercatori padovani e non, tra cui alcuni membri della redazione della rivista. Accatagliato promuove e propone incontri di divulgazione scientifica, con particolare attenzione alla cultura, alla società e al mondo dei ragazzi. Una delle iniziative di Accatagliato per il 2014 si lega al secondo numero di PLaNCK!, uscito a maggio 2014 e dedicato al DNA. Qui Marie e Max fanno conoscenza con Rosalind Franklin, autrice della famosa foto numero 51 che ha permesso di comprendere la struttura a doppia elica del DNA e che, purtroppo, ha ricevuto i riconoscimenti che le spettavano solo diverso tempo dopo la sua morte, a causa della mentalità maschilista che pervadeva l'ambiente scientifico dell'epoca (vedi anche Il Nuovo Saggiatore 30, n. 1-2 (2014) 74-77). Questa attenzione alla presenza delle donne nel mondo della scienza è stata al centro de "La science en rose", un evento promosso da Accatagliato che approfondiva il tema della parità di genere con una mostra su alcune tra le più importanti scienziate della storia, uno spettacolo di danza, una conferenza e un concorso fotografico. Il numero sul DNA darà una gran bella soddisfazione alla redazione di PLaNCK!. Il 19 dicembre, a Roma, gli viene riconosciuto il primo premio per la categoria under 35 del Premio nazionale di divulgazione scientifica 2014 promosso dall'Associazione italiana del libro in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche e l'Associazione Italiana per la Ricerca Industriale. Al concorso partecipavano 677 autori per un totale di 525 opere. Alla consegna del premio, avvenuta a Roma nella sede del CNR, l'astronauta Umberto Guidoni, introducendo la premiazione, ha pronunciato alcune semplici parole che qui riprendiamo perché ben riassumono l'identikit di PLaNCK!: "raccontare la scienza rigorosamente ma facendo sognare". Sempre in tema di riconoscimenti, va segnalato che per il 2014 la rivista ha potuto contare sul patrocinio del Comune di Padova e che nello stesso anno PLaNCK! è stato selezionato tra i progetti innovativi degli studenti dell'Università di Padova, ricevendo un importante contributo e il patrocinio dell'ateneo.

Il terzo numero di PLaNCK! arriva a settembre 2014 ed è interamente dedicato all'elettricità. Questa volta Marie e Max viaggiano in ben tre epoche storiche incontrando Alessandro Volta, André-Marie Ampére e Michael Faraday. Aumentano le pagine di approfondimento, curiosità e rubriche. Tra queste, compare "La bufala", dedicata allo smascheramento delle informazioni pseudo-scientifiche, rubrica che ha il pregio di divertire ma anche di ribadire la necessità di sviluppare uno spirito critico, farsi domande e applicare il metodo scientifico.

Intanto, nel suo piccolo, l'esperienza della rivista fa, è il caso di dirlo, "il giro del mondo". A marzo 2014 PLaNCK! partecipa alla tavola rotonda "Raccontare insegnare il cielo e le stelle" nell'ambito della Settimana internazionale del libro e della cultura per ragazzi di Bologna. A settembre dello stesso anno, la rivista viene presentata alla sesta edizione della conferenza internazionale "Comunicating science, technology and medicine", a Lisbona, promossa dalla European Society for the History of Science.

Nel suo secondo anno, PLaNCK! è partito con un numero dedicato al tempo, ricco di notizie e curiosità che vanno dall'invenzione dei calendari alla teoria della relatività speciale, passando per gli orologi atomici e la datazione dei reperti. La volontà di stimolare i ricercatori a mettersi in gioco con iniziative di divulgazione è presente in quello che sarà il secondo numero di PLaNCK! per il 2015, in un uscita a maggio, interamente dedicato all'alimentazione: la redazione di PLaNCK! ha pubblicato un bando rivolto a studenti, dottorandi e assegnisti che vogliono diventare autori del numero, legato al tema di Expo 2015, proponendo articoli e approfondimenti.

"Stranamente, quasi nessuno riesce a capire l'importanza di un'idea. Talvolta, però, ci riesce un ragazzino; e quando capita un ragazzino così, siamo di fronte a uno scienziato". Questa frase di Richard Feynman, tratta dal libro "Il piacere di scoprire", ha ispirato il lavoro della redazione di PLaNCK!. Forse non tutti i bambini diventeranno scienziati, ma di certo il ricercatore capace di far cogliere ad un bambino l'idea che sta alla base della sua attività di ricerca ha già fatto un grande lavoro: ha consegnato le chiavi per comprendere il futuro. Il che è esattamente quello che cerca di fare PLaNCK!, offrendosi di raccontare ai ragazzi una scienza rigorosa ma capace di far divertire, incuriosire e sognare.

Andrea Frison
Direttore responsabile di PLaNCK!

Marta Carli
Università di Padova

Agnese Sonato
IOM-CNR, TASC National Laboratory, Trieste

Andrea Frison

Laureato in Scienze Sociologiche presso l'Università di Padova, oggi è giornalista presso "La Voce dei Berici" e "Il Giornale di Vicenza". Dal 2013 è Direttore Responsabile di PLaNCK!.

Marta Carli

Laureata in Fisica presso l'Università di Padova e Dottore di Ricerca in Scienza e Ingegneria dei Materiali, oggi è assegnista presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dello stesso ateneo. La sua ricerca verte su plasmonica e nanotecnologie. Nel 2013 ha fondato la rivista PLaNCK!, di cui è anche caporedattore e autrice.

Agnese Sonato

Laureata in Scienza dei Materiali presso l'Università di Padova e Dottore di Ricerca in Scienza e Ingegneria dei Materiali, oggi è assegnista presso IOM-CNR, TASC National Laboratory di Trieste. Si occupa di nanotecnologie per la sensoristica. Nel 2013 ha fondato la rivista PLaNCK!, di cui è anche autrice.

INTERVISTA A
PASQUALE DI NEZZA

Pasquale Di Nezza è Primo Ricercatore presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e membro della collaborazione scientifica internazionale ALICE all'LHC - CERN. Dopo essersi occupato di fisica polarizzata e di fenomeni nucleari presso il laboratorio DESY di Amburgo e aver ricoperto ruoli di responsabilità tra i quali Vicedirettore dell'esperimento HERMES, è attualmente capogruppo dell'esperimento ALICE-LHC. Si occupa sia della fisica del Quark Gluon Plasma, con particolare riferimento alla fisica dei jet adronici, che, come responsabile locale, della costruzione del più moderno rivelatore a stato solido mai costruito e che l'esperimento ALICE installerà nei prossimi anni.
Si dedica con passione alla divulgazione scientifica ricoprendo il ruolo di coordinatore del sito ScienzaPerTutti.

ScienzaPerTutti è il sito istituzionale di divulgazione scientifica dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. I contenuti sono fruibili da un pubblico generico appassionato o semplicemente interessato alla fisica moderna. In particolare considerazione sono tenuti gli studenti delle scuole secondarie che sono considerati il target principale sul quale viene adattato il linguaggio scientifico adoperato. Nel sito sono presenti numerose rubriche su percorsi scientifici che spaziano dalla fisica delle particelle, alle formazioni cosmiche o alla meccanica quantistica. È presente uno spazio scuola con materiale divulgativo scaricabile ed elaborati inviati da studenti. Su base mensile viene inviata una newsletter che rappresenta un valido strumento di diffusione delle ultime novità e avvicina un pubblico sempre più vasto.
http://scienzapertutti.lnf.infn.it

L'ARTE DI COMUNICARE LA FISICA

Dottor Di Nezza, quando e perché nasce ScienzaPerTutti?
Il progetto di creare un sito divulgativo scientifico nasce nel lontano 2002 da un'idea pioneristica di Franco Luigi Fabbri, ricercatore INFN presso i laboratori di Frascati. Anche se parliamo di soli tredici anni fa, sulla rete non esisteva alcun sito di divulgazione scientifica in lingua italiana, se escludiamo un tentativo da parte dell'Università di Milano. Le case incominciavano ad essere collegate ad internet e l'INFN si è presentato in rete spiegando i concetti di fisica moderna, gli strumenti e le tecniche che il fisico adopera nella ricerca in modo semplice, accattivante e spesso divertente.

Perché un ente di ricerca come l'INFN considera così importante l'attività di divulgazione?
Il ricercatore ha una conoscenza dinamica della scienza. È il primo anello della catena della divulgazione scientifica e conosce i risultati in tempo reale perché, nella maggior parte delle volte, è lui stesso uno degli autori. Conosce le implicazioni a lungo termine delle ricerche che si stanno compiendo ed è autore dei nuovi progetti. Ha quindi il dovere di divulgare e rendere partecipe dello sviluppo scientifico la comunità con particolare riferimento ai giovani. Purtroppo in Italia bisogna lavorare ancora molto per far sì che si crei una conoscenza e una coscienza scientifica adeguata. Da un punto di vista intellettuale l'INFN sta investendo molto in questa idea ed i risultati non mancano.

Chi è il visitatore di ScienzaPerTutti?
Monitoriamo le visite e gli argomenti che piacciono ai nostri webnauti (così come usiamo chiamarli) per andare incontro alle loro aspettative e richieste. Attualmente abbiamo superato le 1500 visite al giorno, un dato che ci inorgoglisce, e sappiamo che i principali visitatori sono studenti delle scuole secondarie superiori mentre un fetta più piccola, ma non trascurabile, è rappresentata da appassionati di fisica di ogni età.

C'è una rubrica che interessa maggiormente?
Le rubriche sono tante, dai percorsi divulgativi che rappresentano l'aspetto più istituzionale dell'INFN, ai video contenenti lezioni di fisica, dai libri scientifici che ci piacciono e che recensiamo ogni mese agli scaffali e ad approfondimenti in cui si possono leggere e scaricare monografie. Ma sopra ogni dubbio, "Chiedi all'Esperto" piace tantissimo. I nostri webnauti ci inviano domande alle quali rispondono esperti della specifica materia che noi contattiamo e che, in modo semplice, ma anche con approfondimenti, link ad altri argomenti, filmati e riferimenti bibliografici, rispondono direttamente all'interessato. Abbiamo collezionato diverse centinaia di risposte che sono a disposizione di tutti sul sito.

So che organizzate un concorso annuale per le scuole.
Siamo alla X edizione. Quest'anno l'argomento da sviluppare è "La Luce", in occasione dell'anno internazionale della luce. Con video, poster, presentazioni, componimenti letterari e modellini hanno partecipato 65 scuole e oltre 1000 studenti provenienti da istituti sparsi su tutto il territorio italiano. È importante vedere come gli studenti siano spinti a riflettere sui concetti di scienza, spesso in modo divertente, ma sempre rigoroso. I lavori inviati sono talmente belli e interessanti che da un lato dimostrano la capacità creativa e la vivacità intellettuale dei nostri ragazzi, dall'altro ci stanno rendendo il lavoro di selezione estremamente complicato, vorremmo far vincere tutti! La premiazione avverrà il 23 maggio p.v. in occasione dell'Open Day dei Laboratori Nazionali di Frascati. Sarà una grande festa della scienza.

Come lavora la redazione?
La redazione è composta da fisici provenienti da sezioni INFN e università sparse in varie parti d'Italia. Si aggiungono poi i colleghi dell'Ufficio Comunicazione dell'INFN che ci guidano nella parte grafica e comunicativa. Tutti noi collaboriamo in modo volontario e nei ritagli di tempo senza nulla togliere però all'impegno che mettiamo in questo progetto. Svolgiamo tutto questo parallelamente al lavoro di ricerca e didattica che rappresenta il nostro lavoro di fisici, considerando la divulgazione quasi una missione. D'altro canto l'entusiasmo che vediamo nei nostri webnauti ci gratifica per i fine settimana o le serate dedicate a questo progetto.

Perché una persona dovrebbe appassionarsi a ScienzaPerTutti?
Quando si entra nel sito con l'idea di approfondire un argomento, i nostri percorsi portano il visitatore a scoprire legami e connessioni con altri argomenti di cui non si sapeva nulla e ci si accorge che il materiale a disposizione è tantissimo. Insomma, l'appetito vien mangiando e poi quali altre occasioni si hanno di contattare direttamente scienziati esperti di una materia che si mettono a nostra disposizione?

S. De Pasquale
Università di Salerno

RECENSIONI

G. Vatinno

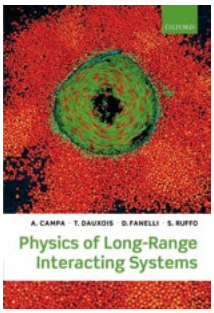
Storia naturale del tempo
L'"Effetto Einstein" e la Teoria della Relativitá

Armando Editore, Roma, 2014

pp. 144; € 12,00

Recensione di
G. Benedek

Pubblicata online
3 febbraio 2015



A. Campa, T. Dauxois, D. Fanelli and S. Ruffo

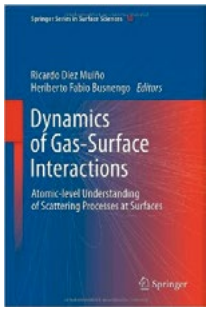
Physics of Long-Range Interacting Systems

Oxford University Press, 2014

pp. 410; £55.00

Recensione di
G. Benedek

Pubblicata online
3 febbraio 2015



Pubblicata online
3 febbraio 2015

Ricardo Díez Muiño, Heriberto Fabio Busnengo (Editors)

Dynamics of Gas-Surface Interactions
Atomic-level understanding of scattering processes at surfaces

Springer Series in Surface Sciences, Vol. 50
Springer-Verlag, 2013

pp. 428; € 135,15 (hardcover)
e-book: € 107,09

Recensione di
G. Benedek

Pubblicata online
3 febbraio 2015

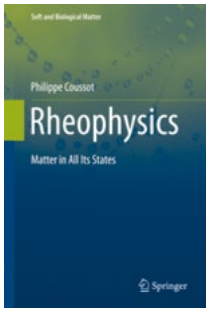
F. Chiarello

L'officina del meccanico quantistico
Dal gatto di Schrödinger al quantum computing

Apogeo Education.
Maggioli Editori, Rimini, 2014

pp. VII + 124, € 20,00

Recensione di
L. Belloni



Pubblicata online
3 febbraio 2015

Ph. Coussot

Rheophysics
Matter in All Its States

Springer Series on Soft and Biological Matter.
Springer Int. Publ., Switzerland, 2014

p. 321, € 77.99
e-book: € 63,06

Recensione di
G. Benedek

Pubblicata online
3 febbraio 2015

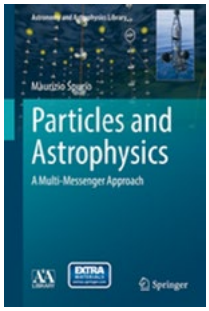
M. Giliberti

Fisica a teatro
Considerazioni per un teatro di fisica al di là dell'accademia e della divulgazione

Lo scrigno di prometeo. Collana di didattica, divulgazione e storia della fisica. Aracne, Roma, 2014

pp. 178, € 10,00

Recensione di
L. Belloni



M. Spurio

Particles and Astrophysics
A Multi-Messenger Approach

Astronomy and Astrophysics Library.
Springer, 2015

pp. XVI + 491, € 80
e-book: € 63,06

Recensione di
V. Flaminio

Pubblicata online
19 febbraio 2015

P. Martin e A. Viola

L'era dell'atomo
Energia, medicina e nanotecnologie

Collana Farsi un'idea.
Il Mulino, Bologna, 2014

pp. 152, € 11,00

Recensione di
G. Benedek

Pubblicata online
21 marzo 2015

IN RICORDO DI

Cesare Voci

Messina, 19 novembre 1940 -
Padova, 27 gennaio 2015

A. Bettini

Pubblicato online
3 febbraio 2015

Giuseppe Viesti

Bari, 29 dicembre 1952,
Roma, 30 gennaio 2015

R. A. Ricci

Pubblicato online
3 marzo 2015

Silio D'Angelo

Amatrice (RI), 27 febbraio 1944,
Roma, 2 gennaio 2015

P. Belli

Pubblicato online
3 marzo 2015

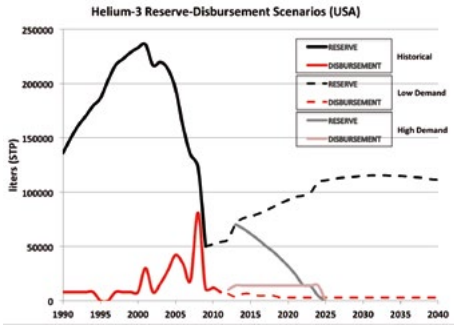
IN EVIDENZA

RIVELARE NEUTRONI, SENZA ^{3}He

La figura mostra l'evoluzione della disponibilità e dell'utilizzo di ^{3}He nel tempo. I dati del passato sono dall'Office of Science and Technology Policy (USA), mentre le proiezioni nel futuro sono di Jehanne Gillo del DoE. Si vede una drammatica caduta delle disponibilità a partire dal 2000. È l'effetto di due fenomeni geopolitici: a. ^{3}He si ottiene dal decadimento del tritio, la cui produzione artificiale crollò dopo il trattato START, b. lo sviluppo del terrorismo rese necessario il diffuso monitoraggio tramite rivelatori di neutroni. Il focus point affronta le problematiche connesse.

Alan J. Hurd and Richard T. Kouzes. *Focus Point on ^{3}He replacement in neutron detection: Current status and perspectives. Why new neutron detector materials must replace helium-3,* Eur. Phys. J. Plus, 129 (2014) 236

Helium-3 has such unique physical and nuclear properties that to a physicist it seems appalling the isotope was once indiscriminately released to the atmosphere as a waste gas. Not gravitationally bound to our planet, a He-3 atom is effectively lost to the human race once released. Consequently, when a confluence of independent factors in national security and research in the last decade created a "custody battle" over this scarce isotope, an intense search for substitutes and alternative technologies ensued for various applications.



Reprinted from fig. 1 of Alan J. Hure *et al.,* Eur. Phys. J., Plus 129 (2014) 236, ©2014, SIF, Springer.

IL RAPPORTO TRA LA MASSA DEL PROTONE E DELL'ELETTRONE 12 MILIARDI DI ANNI FA

Per determinare il rapporto m_p/m_e a miliardi di anni fa gli astronomi cercano spostamenti inaspettati di righe di assorbimento dell'H_2. Questa molecola è abbastanza abbondante da produrre segnali rilevabili anche ad alto red-shift. J. Bagdonaite et al. hanno analizzato le linee di assorbimento nello spettro del quasar (J1443+2724), che si trova al red-shift z=4.22, da parte di una galassia davanti ad esso.

J. Bagdonaite *et al., Constraint on a Varying Proton-Electron Mass Ratio 1.5 Billion Years after the Big Bang.,* Phys. Rev. Lett., 114 (2015) 071301

A molecular hydrogen absorber at a lookback time of 12.4 billion years, corresponding to 10% of the age of the Universe today, is analyzed to put a constraint on a varying proton-electron mass ratio, μ. A high resolution spectrum of the J1443+2724 quasar, which was observed with the Very Large Telescope, is used to create an accurate model of 89 Lyman and Werner band transitions whose relative frequencies are sensitive to μ, yielding a limit on the relative deviation from the current laboratory value of $\Delta\mu/\mu = (-9.5 \pm 5.4_{stat} \pm 5.3_{syst}) \times 10^{-6}$.

UCCELLI AZZURRI E CRISTALLI POROSI

I colori delle ali di farfalle ed uccelli sono spesso dovuti all'interferenza entro strutture spugnose tridimensionali, come dimostrato da parecchi studi osservativi. L'articolo propone un particolare modello numerico della micro struttura delle piume dell'uccellino in figura, basato sull'analogia con un "disordered air rod photonic crystal"

T. Ueta *et al., Numerical study on the structural color of blue birds by a disordered porous photonic crystal model,* EPL, 107 (2014) 34004

It has been observationally confirmed that the color of birds, such as kingfisher and red-flanked bluetail, is a structural color owing to the interference of the light within a sponge structure inside a barb. In this study, we consider the air rod photonic crystal to which disorder is introduced into the translation vectors and the radius as a model of the structural color of red-flanked bluetail; the optical property of the model is numerically analyzed and is compared with that of the structural color.
In this paper, we propose a sponge structure model as a model of a barb of the red-flanked bluetail, *Tarsiger cyanurus*, whose sponge layer is rather thin and whose bubbles within the sponge structure are long in the direction of the barb.

Tarsiger cyanurus. Reprinted from T. Ueta *et al.*, EPL 107 (2014) 34004, ©2014 EPLA.

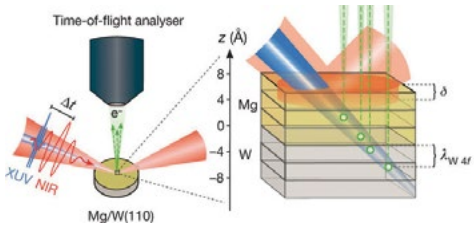
FOTO AD ATTOSECONDI DELLA PROPAGAZIONE DELL'ONDA DI ELETTRONI

Gli autori hanno lanciato pacchetti di elettroni prodotti per effetto fotoelettrico da impulsi di luce nell'estremo ultravioletto di durate sotto il femtosecondo in un cristallo di W coperto di uno strato di Mg di spessore variabile e controllato. Il tempo di arrivo alla superfcie dei pacchetti è misurato con precisione dell'attosecondo.

S. Neppl *et al., Direct observation of electron propagation and dielectric screening on the atomic length scale,* Nature, 517 (2015) 342

The propagation and transport of electrons in crystals is a fundamental process pertaining to the functioning of most electronic devices. Microscopic theories describe this phenomenon as being based on the motion of Bloch wave packets. These wave packets are superpositions of individual Bloch states with the group velocity determined by the dispersion of the electronic band structure near the central wavevector in momentum space….

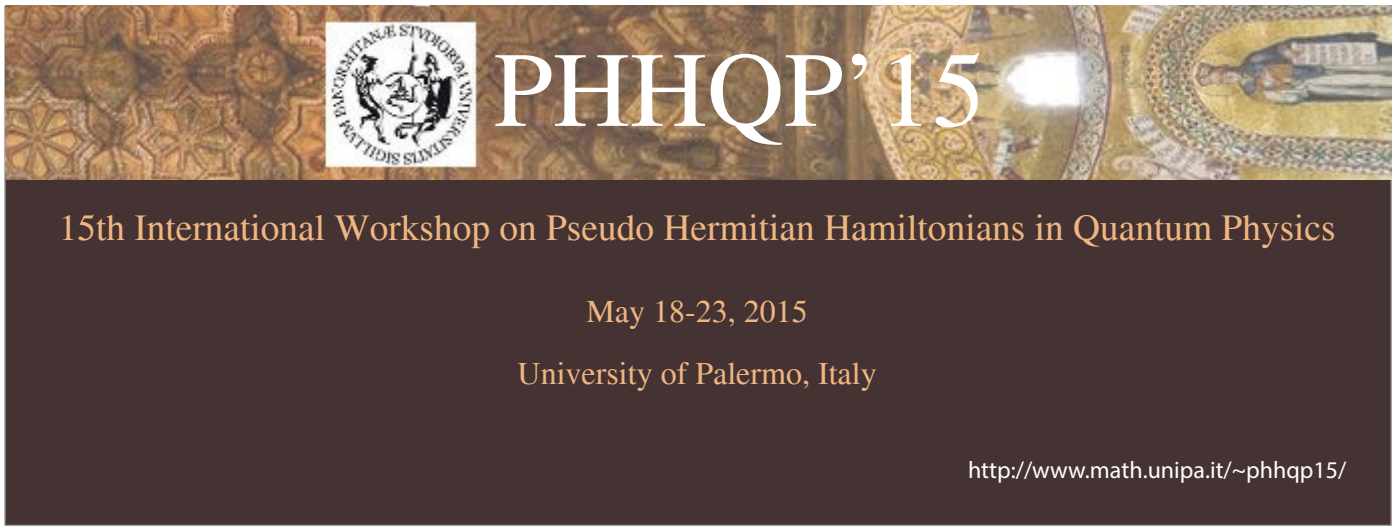
Here we present a direct observation of electron wave packet motion in a real-space and real-time experiment, on length and time scales shorter than the Bloch oscillation amplitude and period. We show that attosecond metrology now enables quantitative insight into weakly disturbed electron wave packet propagation on the atomic length scale without being hampered by scattering effects, which inevitably occur over macroscopic propagation length scales.



Adapted by permission from Macmillan Publisher Ltd.: S. Neppe *et al.*, Nature, 517 (2015) 342, © NPG, 2015.

a cura di Alessandro Bettini

ANNUNCI


PHHQP'15
15th International Workshop on Pseudo Hermitian Hamiltonians in Quantum Physics
May 18-23, 2015
University of Palermo, Italy
http://www.math.unipa.it/~phhqp15/

4th EIROforum (ESI 2015)
School on Instrumentation
15-19 June 2015 at
ESO & EUROfusion
in Garching,
Germany.
EIROforum
http://www.eiroforum.org/esi2015
http://www.eiroforum.org/events/index.html

ECOF 14
http://eventi.cnism.it/ecof14
European Conference on Organised Films
Genova, Italy
June 29 - July 2 2015

epl

A Letters Journal Exploring the Frontiers of Physics

AN INVITATION TO SUBMIT YOUR WORK

www.epljournal.org

EPL publishes original, high-quality Letters in all areas of physics, ranging from condensed matter topics and interdisciplinary research to astrophysics, geophysics, plasma and fusion sciences, including those with application potential

Details on preparing, submitting and tracking the progress of your manuscript from submission to acceptance are available on the EPL submission website **www.epletters.net**.

If you would like further information about our author service or EPL in general, please visit **www.epljournal.org** or e-mail us at **info@epljournal.org**.

Subscribe to EPL Newsletter: keep in touch with development within EPL - the most recent issue and previous newsletters are always available online. (**http://iopscience.iop.org/epl**)

EPL is published in partnership with:

European Physical Society · Società Italiana di Fisica · EDP Sciences · IOP Publishing

DOMANDA DI ISCRIZIONE alla SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
ITALIAN PHYSICAL SOCIETY MEMBERSHIP APPLICATION FORM

2015

Nome
Name _____

Cognome
Surname _____

Luogo e data di nascita
Place and date of birth _____

Nazionalità
Nationality _____

a Istituto o Ente di appartenenza
Affiliation _____

_____

b Indirizzo privato
Home address _____

_____

Indirizzo e-mail
E-mail _____

Breve curriculum (titolo di studio, attività didattica e scientifica):
Brief scientific curriculum: _____

_____

_____

Indirizzo a cui inviare il Bollettino della Società e la corrispondenza: a b
Address where Bullettin and Society communications are to be sent:

Firme leggibili dei Soci Presentatori (*) Signatures of two introducing Members (*)	Nomi in stampatello e indirizzi e-mail Names in block letters and e-mail addresses
1) _____	_____
2) _____	_____

○ Socio INDIVIDUALE INDIVIDUAL Member	€ 45,00 ☐
○ Socio JUNIOR al di sotto dei 30 anni JUNIOR Member under 30	€ 25,00 ☐
○ Socio SENIOR al di sopra dei 70 anni SENIOR Member over 70	€ 35,00 ☐
○ Socio INDIVIDUALE anche membro di altre associazioni scientifiche italiane relative alla fisica (**) INDIVIDUAL Member also member of other Italian scientific associations (**)	€ 35,00 ☐
○ Socio COLLETTIVO COLLECTIVE Member	€ 260,00 ☐
○ Socio SOSTENITORE (a partire da) SPONSORING Member (starting from)	€ 310,00 ☐

La quota di iscrizione dovrà essere pagata dopo aver ricevuto comunicazione dell'accettazione della domanda. (*)
Applicants will have to pay the membership dues only AFTER having been informed by the Society of the acceptance of their application. (*)

(*) Eccetto per i Soci INVITATI (neolaureati triennali in Fisica) che usufruiscono di pre-associazione gratuita per due anni.
(*) Except for INVITED Members (newly graduated bachelors in Physics) who are granted free pre-membership for two years.

(**) Informazioni: `http://www.sif.it/associazione`
(**) Information: `http://en.sif.it/association`

Data
Date _____

Firma
Signature _____

Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del D.Lgs. 196/2003
I hereby authorize the treatment of my personal data according to the privacy law D.Lgs. 196/2003
sì /yes ☐ no ☐

Società Italiana di Fisica
Via Saragozza 12 - 40123 Bologna
Tel. 051331554 - Fax 051581340 - e-mail: sif@sif.it - internet: http: //www.sif.it

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Per diventare Socio SIF:

Informazioni: http://www.sif.it/associazione

Quote sociali 2015 della Società Italiana di Fisica

○ Socio Individuale	€ 45,00	☐
○ Socio Junior al di sotto dei 30 anni	€ 25,00	☐
○ Socio Senior al di sopra dei 70 anni	€ 35,00	☐
○ Socio Individuale anche membro di altra associazione scientifica italiana relativa alla fisica (*)	€ 35,00	☐
○ Socio Collettivo	€ 260,00	☐
○ Socio Sostenitore (a partire da)	€ 310,00	☐

(*) Informazioni: http://www.sif.it/associazione

Per diventare Socio EPS:

Informazioni: http://www.eps.org/subscribe

Quote sociali 2015 della Società Europea di Fisica per "Individual membership"

○ Socio	€ 25,00	☐
○ Socio al di sotto dei 30 anni	€ 18,00	☐
○ Socio in pensione	€ 18,00	☐
○ Studente	€ 18,00	☐
○ Insegnante (pre-universitario)	€ 18,00	☐

Modalità di pagamento della quota sociale alla SIF:

☐ online a mezzo carta di credito, tramite collegamento diretto e sicuro (POS) con la banca BNL, attraverso l'Area Soci del sito web della Società Italiana di Fisica

☐ a mezzo assegno bancario

☐ a mezzo bonifico:

a) BancoPosta, IBAN IT14 G076 0102 4000 0001 9197 409
intestato a: Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F.

b) **Per enti pubblici (Legge 136/2010)**
IBAN IT85 K 06385 02452 1000 0000 0848
c/o CARISBO intestato a Società Italiana di Fisica

☐ a mezzo versamento sul c/c postale n. 19197409
intestato a: Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F.

☐ a mezzo carta di credito, tramite la Società Italiana di Fisica, compilando e spedendo il modulo sottostante (**)

(**) In questo caso sono escluse le carte Diners e American Express.

Compilare e spedire a :

Società Italiana di Fisica – Via Saragozza 12 – 40123 Bologna – fax 051 581340

Il sottoscritto: _____

Nato a: _____ il _____

Residente a: _____

Via: _____ n. _____

Documento di riconoscimento: _____ n. _____

Rilasciato da: _____ il _____

Titolare carta di credito **VISA** n. _____

Scadenza _____

Titolare carta di credito **MASTERCARD** n. _____

Scadenza _____

AUTORIZZA

La Società Italiana di Fisica

A prelevare dalla carta di credito sopra descritta

L'importo di € _____ , _____ (_____)
(importo in cifre) (importo in lettere)

Data _____

Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del D.Lgs. 196/2003

sì ☐ no ☐

_____
Firma

Prodotto in esclusiva da
Vacuum FAB srl
Tel. +39 02 90363318
ufficiovendite@vacuumfab.it
http://www.honeycombdamping.com

honeycombdamping.com

Tavoli antivibranti per microscopia, apparecchi scientifici, bilance di precisione e optoelettronica. Ideali postazioni di lavoro accessoriate con ripiano inferiore portacomputer, ripiano sospeso portaoggetti, portamonitor, bracciolo isolato dal tavolo e tutti gli accessori utili all'operatore.
Ideato e prodotto esclusivamente in Italia.

Piano del tavolo disponibile in due versioni:

alluminio anodizzato (**natural**)

e acciaio forato M6 (**sparkling**).

Entrambi i piani di appoggio hanno il cuore a nido d'ape

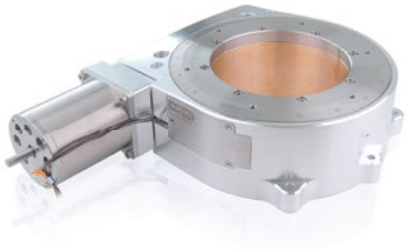
Il supporto in pesante carpenteria d'acciaio è una solida base che integra elementi semisferici di un polimero viscoelastico ad alto assorbimento che isolano il piano dalle vibrazioni ambientali.

L'innovativo sistema "**on tiptoe**", permette un facile livellamento del tavolo filtrando le vibrazioni provenienti dal pavimento.

...e chi si muove?!

A Tutto Tondo

PRECISIONE AFFIDABILITA' ED INNOVAZIONE



Rotatore Applicabile in Vuoto

- Utilizzo fino a 10^{-9} hPa
- Apertura di 120 mm
- Ripetibilità di 0.0003°

Attuatore Piezoelettrico

- Autobloccante in posizione
- Non magnetico, applicabile in vuoto
- Fino a 26 mm di corsa

Hexapod Miniaturizzato

- ±0.1 µm di Ripetibilità
- Fino a 5 kg di capacità di carico
- Software anticollisione

Per informazioni:
Physik Instrumente (PI) S.r.l.
Telefono +39 02 66501101
info@pionline.it
www.pionline.it

Scansiona il QR Code col tuo dispositivo, poi posizionalo sull'immagine con accanto il logo PI ed esplora il mondo 3D. Necessita di App Junaio scaricabile gratuitamente.

iOS /Android

UN BIMBO IN UN NEGOZIO DI CARAMELLE

E' così che ti sentirai in www.goodfellow.com/it/

Troverai i nostri scaffali riforniti con più di 70.000 articoli allettanti.

- ✓ Metalli
- ✓ Leghe
- ✓ Ceramiche
- ✓ Polimeri
- ✓ Composti
- ✓ Compositi
- ✓ Intermetallici
- ✓ Vetri

E se non trovi ciò che desideri, basta chiedere!
In base alle tue specifiche indicazioni cercheremo il materiale che fa al caso tuo.

Quindi lanciati nella ricerca e torna bambino con Goodfellow!

Goodfellow
Metalli e Materiali
Sweet

PRODOTTIGIANNI
Our competence, your value.

Rappresentata in ITALIA da:

Prodotti Gianni S.r.l.
Via M.F. Quintiliano 30, 20138 Milano
Tel. 02 5097 220 - Fax 02 5097 276
ricerca@prodottigianni.com
www.ricerca.it

CAEN Multichannel Waveform Digitizers

A high-end, cost effective solution perfectly suited for your detector arrays

725 Digitizer Family

16/8 Channel 14-bit 250 MS/s Digitizer

NEW Oscilloscope software tool: **CAEN Scope**

CAEN SCOPE — FREE DOWNLOAD

The perfect mix of sampling rate, resolution and channel density for the maximum flexibility

730 Digitizer Family

16/8 Channel 14-bit 500 MS/s Digitizer

NEW Oscilloscope software tool: **CAEN Scope**

CAEN SCOPE — FREE DOWNLOAD

Available in three form factors: VME, NIM, Desktop

A dedicated software for waveform plotting, charge and timing measurement: **CAEN WaveCatcher**

CAEN WAVECATCHER — FREE DOWNLOAD

A versatile combination of fast sampling and enhanced features as self-channel trigger and digital charge integration based on SAMLONG chip

Developed in collaboration with CEA/IRFU & CNRS/IN2P3/LAL

743 Digitizer Family

16/8 Channel 12-bit 3.2 GS/s Switched Capacitor Digitizer

NEW Oscilloscope software tool: **CAEN Scope**

CAEN SCOPE — FREE DOWNLOAD

A high density, top-speed digitizer for high precision timing application based on DRS4(*) chip

(*) Paul Scherrer Institute design

742 Digitizer Family

32+2 / 16+1 Channel 12-bit 5 GS/s Switched Capacitor Digitizer

News from Catalog

CAEN Electronic Instrumentation