

HANNO COLLABORATO A QUESTO
NUMERO:

D. Batani, L. Belloni, G. Benedek,
R. Bergamaschini, A. Bettini,
C. Biscari, S. Capozziello, D. Chrastina,
L. Cifarelli, G. Colò, A. Dommann,
C. V. Falub, S. Ferrer, G. García, F. Isa,
G. Isella, L. Majorani, A. Marzegalli,
L. Miglio, E. Müller, P. Niedermann,
S. Nuzzo, A. Oleandri, A. Pascolini,
I. Ramos, R. A. Ricci, P. Rossi,
A. Sandrinelli, N. Sodini, A. Stella,
A. Valkarova, H. von Känel,
F. Zanini, A. Zingales

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Nuova Serie Anno 29 • N. 3 maggio-giugno 2013 • N. 4 luglio-agosto 2013

DIRETTORE RESPONSABILE

Luisa Cifarelli

VICEDIRETTORE

Giuseppe Grosso

COMITATO SCIENTIFICO

G. Benedek, A. Bettini,
P. Cenci, S. Centro,
E. De Sanctis, A. Di Virgilio,
S. Falciano, F. Ferroni,
E. Iarocci, I. Ortalli,
F. Palmonari,
P. Picchi, B. Preziosi

SOMMARIO

3 EDITORIALE

L. Cifarelli

4 In memoria di

Vincenzo Grasso, Sergio Focardi

A. Stella, A. Zingales, L. Cifarelli,
R. A. Ricci

SCIENZA IN PRIMO PIANO

7 "Divide et impera" in detector technology

L. Miglio, R. Bergamaschini,
A. Marzegalli, F. Isa, D. Chrastina,
G. Isella, P. Niedermann, A. Dommann,
C. V. Falub, E. Müller, H. von Känel

FISICA E...

15 Una nuova luce per illuminare suoni antichi

N. Sodini, F. Zanini

PERCORSI

22 Cento anni fa, con la teoria di Bohr, la genesi dell'atomo

A. Pascolini

IL NOSTRO MONDO

33 99° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica Programma Generale

36 ALBA, the Spanish Light Source

C. Biscari, S. Ferrer, G. García, I. Ramos

42 Jefferson Lab: a journey from quarks to matter and beyond

P. Rossi

50 The Union of the Czech Mathematicians and Physicists and the Czech Physical Society

A. Valkarova

52 Il Nuovo Cimento 150, 100, 50 anni fa

A. Bettini

News

53 La Scuola di Formazione del Personale addetto alla gestione degli enti pubblici di ricerca

L. Majorani

54 Passion for physics

A. Oleandri

RECENSIONI

IN RICORDO DI(*)

L. Vannucci (R. A. Ricci)

F. Romano (S. Nuzzo)

M. Francaviglia (S. Capozziello)

IN EVIDENZA

ANNUNCI

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

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 disponibili 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.

La Società Italiana di Fisica (SIF), da oltre un secolo, riveste un fondamentale ruolo di riferimento per la comunità italiana dei fisici. Tale ruolo, su scala nazionale e internazionale, merita di essere ulteriormente e vigorosamente promosso.

La missione e le principali attività della SIF sono illustrate sul sito web della società (<http://www.sif.it>). Quest'anno è stato inoltre stampato un fascicolo dal titolo 115 ANNI E OLTRE, in italiano e in inglese, che ne ripercorre la storia dalla sua fondazione, nel 1897, e ne illustra i principali traguardi.

La SIF ha numerosi punti di forza sui quali vale la pena soffermarsi.

- La SIF è una società di riferimento in Italia, di grande fama e prestigio. Alla SIF fanno capo tutti i settori della fisica malgrado l'esistenza di tante altre società o associazioni scientifiche a essa collegate (come AGI, AIAR, AIF, AIFM, AIRP, IAS, SAIt, SIEm, SIGRAV, SILS, SIOF, SISFA, SISS...), il che rappresenta un dato molto significativo.
- La voce della SIF, le sue dichiarazioni e mozioni su problematiche che riguardano non soltanto la comunità dei fisici ma la società civile in generale (come ricerca, istruzione, università, valutazione, ma anche clima, energia, comunicazione scientifica...) hanno il loro peso e il loro impatto.
- La SIF occupa un ruolo di rilievo nell'ambito della *European Physical Society* (EPS) ed è nota in tutto il mondo, grazie ai grandi fisici italiani che ne hanno fatto la storia, grazie alle sue molteplici attività e alle sue pubblicazioni. ("So small but so active" si sente sempre dire in ambito internazionale a proposito della SIF).
- Le attività promosse in questi anni hanno dimostrato quanto versatile possa rivelarsi una società come la SIF, adatta ai progetti più svariati e innovativi. Attraverso la SIF, grazie alla sua agilità strutturale e all'efficienza del suo personale, hanno trovato e continueranno a trovare realizzazione nuove iniziative negli ambiti più diversi.
- La Scuola Internazionale di Fisica Enrico Fermi della SIF, la "Scuola di Varenna", che ha celebrato quest'anno il suo 60° anniversario, costituisce l'attività di maggiore prestigio della SIF. A questa Scuola post universitaria di eccellenza, nota in tutto il mondo, si affianca ora anche la neonata *Joint EPS-SIF International School on Energy*. I rendiconti dei corsi di queste Scuole, pubblicati dalla SIF, costituiscono pregiati testi di riferimento.
- Il Congresso annuale della SIF (che nel 2014 raggiungerà la sua centesima edizione) rappresenta per tutti i fisici italiani un vivace e attraente punto di incontro e di dibattito, di scambio d'idee e di informazioni.
- I numerosi premi e borse della SIF per i giovani mirano al riconoscimento di nuovi talenti ai massimi livelli di eccellenza. A questi si aggiungono vari altri premi e, in particolare, il Premio Occhialini e soprattutto il Premio Fermi, ormai molto noti e ambiti.
- Le pubblicazioni della SIF hanno successo, a partire dai volumi su Galilei, Fermi, Majorana, Pontecorvo, Occhialini, Laura Bassi, e non solo. IL NUOVO SAGGIATORE funge ormai da apprezzata rivista di diffusione e approfondimento della cultura scientifica più che da bollettino della SIF. IL NUOVO CIMENTO pubblica atti di convegni internazionali che hanno luogo esclusivamente in Italia, il GIORNALE DI FISICA (con i suoi supplementi della serie "L'ENERGIA NELLA SCUOLA") e i QUADERNI DI STORIA DELLA FISICA forniscono articoli di valore storico e didattico. LA RIVISTA DEL NUOVO CIMENTO rimane rara nel suo genere e gli articoli di rassegna che vi compaiono le forniscono da anni un *Impact Factor* (IF) di tutto rispetto. Per quanto riguarda le pubblicazioni SIF a partenariato europeo, sia EPL (*Euro Physics Letters*) sia la serie di sezioni tematiche EPJ (*The European Physical Journal*) sono in fase crescente in termini di numeri di pagine prodotte e/o di IF.

Nonostante questi suoi punti di forza, la nostra società ha tuttavia un certo numero di punti deboli che vanno riconosciuti e che debbono servire da stimolo per proposte e reazioni concrete.

- I mezzi di comunicazione, la visibilità e quindi l'impatto della SIF debbono essere rinforzati, con una serie di azioni precise e mirate: un nuovo sito web deve essere implementato, con maggiori attrattive, funzioni e potenzialità, e soprattutto deve essere lanciata una nuova newsletter elettronica (mensile), a complemento de IL NUOVO SAGGIATORE la cui distribuzione deve inoltre essere ulteriormente ampliata.



- Oltre al suo indubbio ruolo scientifico e culturale, le risorse di "opinion maker" che la SIF possiede debbono essere meglio sfruttate e coordinate, con l'individuazione di tematiche di largo interesse, (come fisica e società, fisica e industria, fisica ed etica, fisica e medicina, fisica e beni culturali...) allo scopo di coinvolgere un pubblico via via più vasto.
- Nuove forme di maggiore collaborazione e sinergia con enti, università, istituzioni e anche industrie, a livello locale, nazionale ed europeo, debbono essere individuate sulla base di specifici progetti e iniziative. Tra i principali obiettivi, oltre alla promozione di premi e borse, in particolare per i giovani, deve essere obiettivo primario quello di garantire un sempre maggiore successo ai corsi di Varenna. La proposta dell'EPS di proclamare un International Year of Light nel 2015 (che verrebbe a coincidere con l'anno dell'Expo universale di Milano) potrebbe costituire un'ottima occasione di collaborazione e sinergia.
- Oltre alla pianificazione triennale dei corsi di Varenna, già in atto, è auspicabile che la SIF elabori anche una strategia a medio e lungo termine per tutte le sue azioni e attività (societarie ed editoriali) in generale. Ciò allo scopo di ottimizzare la sua funzionalità e organizzazione. Una simile pianificazione deve essere responsabilità di un apposito gruppo di lavoro istituito ad hoc.
- Il ruolo di coordinamento della SIF rispetto alle altre società di fisica a essa collegate e ad altre società scientifiche (come UMI, SCI, SAIt...) deve essere migliorato in un'ottica "federativa" su temi di comune interesse che vanno dalla didattica (PLS, TFA), alla figura professionale scientifica, al ruolo delle donne, all'inserimento dei giovani...
- I rapporti con altre società di fisica europee ed extra europee debbono essere ravvivati o stabiliti in una prospettiva di cooperazione e internazionalizzazione, con particolare attenzione ai paesi "scientificamente emergenti".
- La politica editoriale della SIF dipende in una certa misura da quella dei suoi partners europei. La SIF deve tuttavia farsi promotrice di azioni editoriali coraggiose, in particolare nell'attuale fase di transizione verso un'editoria scientifica in Open Access, senza mai perdere di vista la qualità delle sue pubblicazioni, dalle riviste, ai proceedings, ai volumi.
- La forza di una società è data dai suoi soci. La SIF è una piccola società. La sua entità numerica è cresciuta negli ultimi anni grazie al debutto dei "soci invitati", ossia alla pre-associazione a titolo gratuito per 2 anni degli studenti dei corsi di laurea magistrale. Tale iniziativa, con opportune modalità di selezione, deve essere estesa agli studenti della laurea triennale. Il futuro della società deve infatti essere basato in primo luogo sui giovani. Occorre quindi sviluppare presso questi giovani un forte spirito di appartenenza a una società che li rappresenti, non in termini corporativi, bensì in termini scientifico-culturali e di prestigio.
- Alcune modalità societarie, come quelle associative ed elettorali, debbono essere decisamente svecchiate, in particolare con l'avvio di modalità di voto elettronico a partire dal prossimo triennio. Le quote associative della SIF debbono essere inoltre maggiormente diversificate, per agevolare i giovani soci così come i meno giovani (ossia i soci "senior").

In conclusione, è con questi numerosi (forse troppi) intenti che mi ricandido alla presidenza della SIF per il triennio 2014-2016, con il forte auspicio di poter ancora dare, attraverso un ulteriore mandato, un utile contributo al successo e alla crescita della società. La SIF possiede un ricco e glorioso passato. Al suo Presidente e ai suoi Cosiglieri il compito di cogliere tutte le opportunità per preservarlo e per garantire alla società il massimo consenso oltre a uno splendido e fruttuoso futuro.

Vincenzo Grasso



Conobbi Vincenzo Grasso ("Enzo" per gli amici e i colleghi) verso la fine del 1963, quando mi recai a Messina per incontrare il mio relatore di tesi Gianfranco Chiarotti, che si era da poco trasferito da Pavia in quella Università, come vincitore del concorso alla cattedra di Fisica Sperimentale.

Io, giovane laureato di ritorno da un periodo di studi e ricerche su nuovi materiali semiconduttori negli Stati Uniti, ero in attesa di essere chiamato per il servizio militare.

Mi colpì subito l'entusiasmo e la voglia di fare del giovane Enzo, la determinazione di partecipare attivamente alle linee di ricerca "pavesi" avviate a Messina (con Chiarotti arrivarono gran parte dei suoi collaboratori e poco dopo fu chiamato, tra gli altri, Franco Bassani).

L'affinità sugli interessi per le ricerche (in particolare materiali semiconduttori e isolanti, tecniche spettroscopiche in fase di innovazione), favorì senz'altro le nostre interazioni, ma un ruolo importante va riconosciuto al suo calore umano, alla sua presenza incisiva nelle diverse iniziative ed eventi che si stavano prefigurando o svolgendo.

Enzo è stato – vorrei dire da sempre – profondamente messinese e siciliano e, nello stesso tempo, costantemente presente sulla scena nazionale con contributi e incarichi che l'hanno visto più volte, in un arco di tempo di alcuni decenni, spesso tra i protagonisti e pronto ad assumersi responsabilità di primo piano.

Iniziò la sua carriera all'Università di Messina subito dopo la laurea, come assistente e professore incaricato, prima di diventare professore straordinario di Struttura della Materia nel 1976 e professore ordinario nel 1979.

Dal 1976 al 1994 è stato Direttore dell'Istituto di Struttura della Materia e dal 1994 al 2001 Direttore del Dipartimento di Fisica della Materia e Tecnologie Fisiche Avanzate.

Ma al di là di questi dati essenziali, ricchissimo è il "bagaglio" di iniziative intraprese e ruoli ricoperti per la didattica e la ricerca sia presso la sua Università che in ambito regionale. Basti citare, su quest'ultimo versante, quanto ha fatto presso il Comitato Regionale per le Ricerche Nucleari e di Struttura della Materia (di cui è stato anche Vice Presidente dal 1979 al 1982) e presso l'Accademia Peloritana dei Pericolanti (di cui divenne anche Socio Emerito).

La sua figura è stata per un lungo periodo un riferimento sicuro in campo nazionale per lo sviluppo e l'organizzazione delle ricerche nell'ambito del Gruppo Nazionale di Struttura della Materia del CNR e poi nell'Istituto Nazionale di Fisica della Materia.

L'anno 2013 è stato segnato dalla scomparsa di due figure di riferimento della Società Italiana di Fisica: il Professore Vincenzo Grasso, Membro del Consiglio di Presidenza e Segretario Cassiere della Società, e il Professore Sergio Focardi, Socio Benemerito, già Membro del Consiglio di Presidenza e Segretario Cassiere.

Una misura tangibile ed un riconoscimento chiaro dell'apprezzamento nei suoi confronti è senz'altro rappresentato dall'ampio consenso con cui è stato eletto membro del Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica per cinque volte a partire dal 1999 (dal 2005 ha svolto egregiamente anche le funzioni di Segretario Cassiere).

Spirito di servizio e piena consapevolezza delle responsabilità assunte hanno sempre segnato in modo netto il suo cammino da giovane laureato fino agli ultimi giorni.

Si ricorda ancora l'eccellente organizzazione del LXIX Congresso della Società Italiana di Fisica tenutosi a Messina nel 1983, citato come modello ancora oggi; così come non vanno dimenticati altri convegni di rilievo internazionale a Taormina già tra la fine degli anni sessanta e gli anni settanta su tematiche di punta nella fisica della materia condensata, dove Enzo è stato Organizzatore o Segretario Scientifico.

Il successo delle varie iniziative in cui si è prodigato, che tutti gli riconoscono, va attribuito senz'altro alle sue capacità e alla passione che non è mai venuta meno.

Ad esse – a mio avviso – va aggiunta una qualità determinante e, per il grado di intensità, rarissima: la profonda e spontanea umanità, la disponibilità a dare tutto se stesso. Questo si è manifestato nei confronti degli allievi, dei colleghi e di tutta la comunità.

Conserviamo questo ricordo prezioso: soprattutto oggi ci offre un esempio veramente raro di dedizione alle istituzioni e al loro futuro.

Angiolino Stella
Università di Pavia

Non è facile per un chimico, quale sono, ricordare Enzo Grasso "fisico della materia". Pur occupandomi da sempre di chimica dei materiali non mi ritengo un cultore della fisica, almeno non tanto da poterne parlare per ricordare le qualità scientifiche di Enzo.

Preferisco ricordarlo per la sua signorilità e per la caparbia determinazione con la quale mi ha trascinato (letteralmente tirandomi per la camicia, in alcuni momenti), nell'avventura di tentare di far comprendere ed accettare l'idea che possa esistere un Albo professionale, diviso in settori, che accolga sia i chimici che i fisici che svolgono un'attività professionale.

In un Paese nel quale il conformismo palese o celato dietro motivazioni pseudo culturali è la norma, Enzo Grasso è stato certamente un anticonformista, che guardava sempre oltre le spalle dei piccoli uomini che gli si paravano dinanzi ostacolando il percorso che, soprattutto nell'interesse dei giovani fisici, aveva razionalmente intrapreso.

Non credo di dover aggiungere altro, salvo la promessa, questa sì, che tenderemo con ogni mezzo di portare a compimento l'opera da lui avviata in questa direzione. Lo dobbiamo a Lui ed ai giovani che tanto gli stavano a cuore.

Armando Zingales
Presidente del Consiglio Nazionale dei Chimici, Roma

La SIF li ricorda con affetto nelle colonne de Il Nuovo Saggiatore e ha intitolato a Vincenzo Grasso ed Sergio Focardi due dei suoi "Premi di Operosità Scientifica", attribuiti a giovani ricercatori. I premi verranno consegnati nella cerimonia inaugurale del 99° Congresso Nazionale della SIF a Trieste, il 23 settembre 2013, nell'Aula Magna dell'Università.

Ho avuto il piacere di incontrare per la prima volta Vincenzo Grasso – Enzo per tutti noi – nel 1998 al Congresso SIF di Salerno, sulle scale del Palazzo di Città dove doveva svolgersi la cerimonia inaugurale del Congresso. Quell'anno si sarebbe votato al Congresso per il rinnovo delle cariche sociali della SIF ed Enzo era uno dei candidati per il Consiglio. Fu in quel Congresso che Franco Bassani venne eletto Presidente della SIF, succedendo a Renato Angelo Ricci. Come autorevoli rappresentanti della Fisica della Materia, insieme a Bassani entrarono a far parte del Consiglio di Presidenza Enzo Grasso e Angiolino Stella. A Salerno io fui rieletta Consigliere, diventando tra l'altro Vicepresidente della SIF.

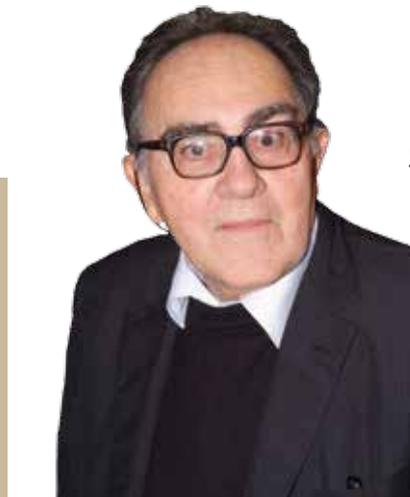
Enzo Grasso fu Consigliere della SIF dal 1999 al 2007 sotto la presidenza di Bassani, assumendo presto il ruolo di Segretario Cassiere della Società: Bassani lo considerava non soltanto un vero amico ma una persona di assoluta fiducia. Conservò tale carica anche in seguito sotto la mia presidenza, a partire dal 2008, fino al giorno della sua improvvisa scomparsa nel mese di maggio 2013.

Grasso fu un importante protagonista nel settore della Fisica della Materia, un'autorevole figura di riferimento nel mondo dell'università e della ricerca, su scala nazionale e nella sua amata Messina. Seppe dare grande spinta e impulso alla fisica in Sicilia. Basti pensare al Centro Siciliano Ricerche Atmosferiche e di Fisica dell'Ambiente da lui presieduto sin dal 1990.

Fu grande amico e sostenitore della SIF, affidabile e rigoroso. Di lui vorrei ricordare l'appassionata e pluriennale battaglia per l'ordine professionale dei fisici (voleva che la professione del fisico venisse dovutamente riconosciuta per il suo giusto valore), quella per il reclutamento dei giovani nella SIF, che portava avanti personalmente con la collaborazione di AlmaLaurea, il consorzio interuniversitario di cui fu a lungo membro del Consiglio di Amministrazione, e quella a favore della Scuola Internazionale di Fisica "Enrico Fermi" di Varenna che, come noi tutti, portava nel cuore.

Era un uomo di profonda umanità, di un senso dell'ospitalità senza pari quando lo si andava a trovare a Messina, un uomo che si faceva voler bene. Alla SIF, i suoi colleghi e tutti i membri del personale non lo dimenticheranno. Per me, successore e allieva dei suoi grandi amici Franco Bassani e Nino Zichichi, e per mia figlia Laura, Enzo riusciva sempre ad avere particolari attenzioni e a manifestare in ogni occasione il suo sincero affetto. Ogni qualvolta lo si incontrava, nell'arrivare e nell'andarsene, Enzo ci abbracciava tutti. Abbracciava le signore della SIF e tutti i colleghi Consiglieri che magari non se l'aspettavano ma che sottostavano a quella sua usanza con un certo bonario divertimento. Ora quegli abbracci ci mancheranno.

Luisa Cifarelli
Presidente SIF



Sergio Focardi

Sergio Focardi ci ha lasciato il 22 giugno dopo un periodo di tormentata malattia, portando con sé una parte importante della storia della SIF e della fisica italiana.

Fiorentino di nascita conseguì la maturità scientifica nella sua città natale nel 1950, vincendo nello stesso anno il concorso di ammissione alla Scuola Normale di Pisa, dove ha compiuto i suoi studi universitari laureandosi in fisica con lode presso la stessa Università nel novembre del 1954 e conseguendo il diploma della Scuola Normale. Sergio entrava alla Normale, insieme con Carlo Rubbia, con cui doveva in seguito collaborare per un certo periodo in esperimenti di fisica della particelle, nel momento in cui io ne uscivo: facemmo in tempo comunque a conoscerci anticipando quella che doveva poi essere una lunga, costante amicizia e militanza comune nella SIF dal 1971 in poi.

Sergio rimase, dopo la laurea, a Pisa svolgendo attività di docenza come assistente straordinario e incaricato e fu subito impegnato in esperimenti in collaborazione con, tra gli altri, M. Conversi, A. Gozzini, C. Rubbia, in particolare nella realizzazione di un nuovo tipo di camera odoscopica e nello studio delle proprietà dei rivelatori a tracce.

Rimase a Pisa fino al 1956 per trasferirsi poi a Bologna, dove, a parte la breve parentesi del 1977 a Messina, dopo aver vinto il concorso a Professore Ordinario, ha svolto sostanzialmente e quasi interamente la sua attività accademica, insegnando fisica generale, fisica sperimentale e fisica superiore. L'attività di ricerca, documentata da numerose pubblicazioni, si riferisce in particolare, alla fisica delle particelle elementari cui Sergio ha dato contributi di rilievo sia nella parte fenomenologica che in quella strumentale, per esempio nella costruzione di una delle prime camere a bolle e negli esperimenti relativi alla cattura totale di muoni in idrogeno liquido, oltre che nella produzione di molecole mu-mesoniche, che hanno caratterizzato negli anni '60 l'attività del gruppo Conforto, Focardi, Rubbia, Zavattini. Da ciò si è sviluppato poi tutto il suo impegno di fisico sperimentale nello studio di processi connessi alle varie interazioni nucleari sia forti che deboli ed elettromagnetiche, come testimoniato dai suoi particolari contributi agli esperimenti di alta energia al CERN relativi alle collisioni tra protoni e tra protoni e mesoni con produzione e studio del decadimento di particelle e risonanze strane oltre che a importanti realizzazioni strumentali e di acquisizione dati, in collaborazioni nazionali e internazionali.

Ciò che lo ha particolarmente distinto come docente e come ricercatore era la sua marcata attitudine al dettaglio e alla

precisione dei fenomeni e delle tecniche di misurazione. Questo lo ha portato, nella seconda parte della sua carriera di ricercatore, ad interessarsi di fenomeni al limite di condizioni estreme. Tipica la verifica, a distanze dell'ordine della decina di metri, della legge di Newton, utilizzando come sorgente del campo gravitazionale, le variazioni di massa, dovute a quelle di livello, del lago di Brasimone, sull'Appennino Tosco-Emiliano nonché la misura della costante G con un gravimetro superconduttivo. Più controversa la sua partecipazione allo studio di processi anomali in sistemi metallo-idrogeno a temperature dell'ordine dei 300 °C, nell'ambito della "vexata quaestio" della cosiddetta fusione fredda. Focardi vi si è cimentato negli ultimi anni mediante processi di catalisi ritenuti adatti alla produzione di calore. In tale vicenda ha coraggiosamente messo in gioco la sua affermata reputazione di fisico sperimentale, indiscussa come, in ogni caso, la sua onestà intellettuale.

Rilevante è certamente stata la sua partecipazione alle attività dell'INFN, prestando la sua opera come direttore della Sezione di Bologna nel triennio 1973-1976 e alla riorganizzazione della stessa dopo il trasferimento da via Irnerio a viale Berti Pichat.

In tale contesto va ricordata la sua opera di docente e di solerte didatta, autore anche di pregevoli testi di fisica e di matematica. Dal 1980 al 1989 è stato Preside della Facoltà di Scienze dell'Università di Bologna e dal 1992 al 2000 Presidente del Corso di laurea in Scienze dell'Informazione a Cesena che egli stesso aveva fondato così come a Ravenna dove aveva promosso il Corso di Scienze Ambientali. Nel 2005 è stato nominato Professore Emerito dell'Università di Bologna.

La sua competenza fu di notevole rilevanza anche nell'ambito della collaborazione con altre comunità scientifiche, costituendo un riferimento prezioso per la costituzione del COASSI (Comitato di Coordinamento delle Associazioni Scientifiche Italiane) prima come Segretario e poi come Presidente dal 1988 al 1990.

Tale attività si configura nel contesto della sua opera come Consigliere della SIF dove probabilmente ha dato il meglio di sé. È in tale veste infatti, che si esprime il suo inestimabile contributo alla storia della SIF e della comunità dei fisici italiani

Socio della SIF dal 1955, è stato ininterrottamente eletto Consigliere della Società dal 1971 (sotto la presidenza di Giuliano Toraldo di Francia) al 2010 (Presidente Luisa Cifarelli) svolgendo le funzioni di Segretario Cassiere dal 1974 al 2004. A partire dal 1974, quando divenne Presidente Carlo Castagnoli, la figura del Segretario Cassiere, prese, con Focardi, una connotazione particolare che tutti ricordano e che fece di lui, con l'amichevole e affettuosa collaborazione dello storico Collegio dei Revisori dei Conti formato da Giorgio Comini, Icilio Agostini e Luciano Maiorani,

e dello staff segretariale e amministrativo della SIF, un elemento di fondamentale importanza nell'assetto della Società. Con le sue qualità professionali ed umane, condite di arguzia toscana e di confortevole bonomia acquisita sul campo in terra emiliana, ha contribuito in maniera essenziale all'atmosfera peculiare della SIF, un'Associazione che non ha solo blasoni scientifici e, più in generale, culturali, ma ha costituito e costituisce un insieme di rapporti più che amichevoli e affettivi di notevole importanza umana.

Con me, ritrovatici dopo i trascorsi universitari, in tutto il periodo della mia Presidenza (dal 1981 al 1998) ha collaborato con grande amicizia e impagabile efficienza alla organizzazione della struttura della Società con un personale di prim'ordine, cui si era legato di affetto e stima reciproca contribuendo sicuramente al riconoscimento e al prestigio della Società. Per tutti era l'impagabile "FOC", come usavamo chiamarlo.

Nel 1985, nell'ambito della mia iniziativa di far nascere il "Nuovo Saggiatore", egli fu, con Pio Picchi, Andrea Taroni e lo staff editoriale, elemento essenziale per la riuscita dell'impresa atta a trasformare un bollettino societario in una rivista scientifica divulgativa. Tutti ricorderanno anche i suoi pregevoli contributi nella rubrica da lui diretta "Scelti per voi", in cui tra notizie e curiosità tecnico scientifiche di attualità riusciva a interessare ed anche a divertire il lettore. Importante anche la sua collaborazione nell'organizzazione della famosa Conferenza del 1984 a Bologna dedicata ai 50 anni di storia della Fisica delle Interazioni deboli ("Fifty Years of Weak-Interactions Physics") e nella edizione del rispettivo libro curato insieme con me da A. Bertin e A. Vitale, di cui redasse l'introduzione storica e le proprietà fondamentali delle interazioni deboli che porta la mia firma accanto alla sua.

Ed anche dopo con Franco Bassani e Luisa Cifarelli, è stato di prezioso aiuto assicurando la sua presenza, la sua collaborazione nelle attività editoriali e nei rapporti interni e la sua esperienza di grande "veterano" della Società fino al manifestarsi dei sintomi più gravi della sua malattia.

Il riconoscimento a Socio Benemerito nel 2011 forse non dice tutto di ciò che Sergio si porta via della militanza e delle nostre imprese comuni nella SIF, di cui, vorrei semmai dire, egli rimane Socio "Superbenemerito".

Egli sarà ricordato e menzionato giustamente per altre attività e da altre istanze. Ma è soprattutto il "nostro Sergio" della SIF, membro autorevole e più ancora amico e compagno impagabile, che abbiamo salutato, associando il nostro addio a quello di Carla e famiglia, e per questo indimenticabile.

Renato Angelo Ricci
Presidente Onorario SIF

“DIVIDE ET IMPERA” IN DETECTOR TECHNOLOGY

A PROMISING INTEGRATION STRATEGY OF PIXELATED FILMS ON Si BY EPITAXIAL SELF-ASSEMBLY

LEO MIGLIO¹, ROBERTO BERGAMASCHINI¹, ANNA MARZEGALLI¹, FABIO ISA², DANIEL CHRASTINA², GIOVANNI ISELLA², PHILIPPE NIEDERMANN³, ALEX DOMMANN³, CLAUDIU V. FALUB⁴, ELISABETH MÜLLER⁴, HANS VON KÄNEL⁴

¹ L-NESS, Department of Materials Science, Università di Milano-Bicocca, Milano, Italy

² L-NESS, Department of Physics, Politecnico di Milano, Como, Italy

³ CSEM, Neuchâtel, Switzerland

⁴ Laboratory for Solid State Physics, ETH Zürich, Zürich, Switzerland

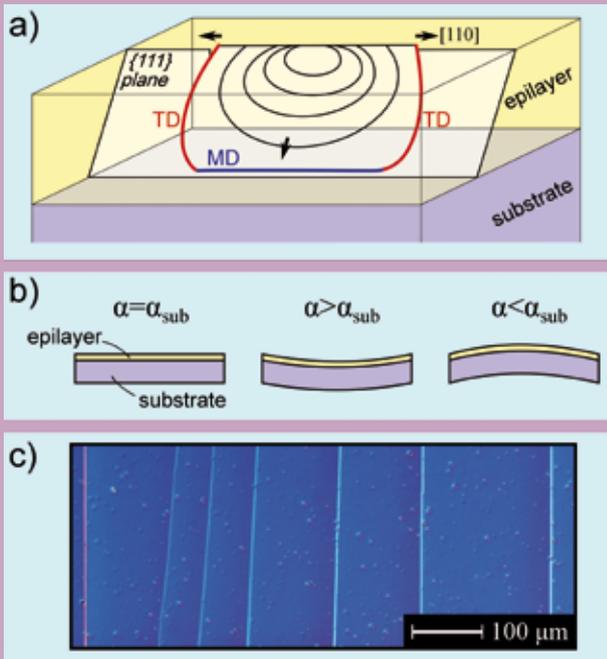
Three decades of achievements in epitaxial deposition of semiconductor layers on silicon form the basis for the present optoelectronic devices, such as semiconductor lasers and detectors. Actually, the strain induced by different lattice parameters and thermal expansion coefficients offers additional degrees of freedom for tailoring material properties, but often at the expense of dislocation generation, wafer bowing and cracks. Such drawbacks can be eliminated by growing, onto deeply patterned Si substrates, space filling arrays of high-quality strain-free Ge prisms up to tens of micrometers in height, while avoiding their merging. The method opens the way to applications requiring pixelated thick films, *e.g.* high-resolution radiation and particle imaging detectors, monolithically integrated onto CMOS platforms.

1 Heteroepitaxy and strain

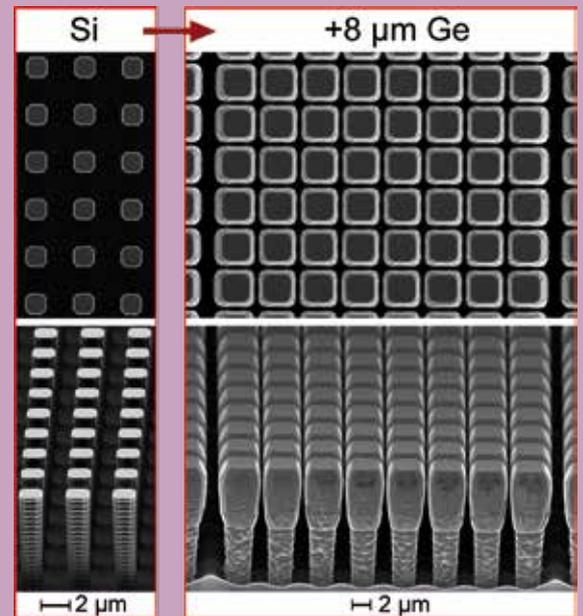
Heteroepitaxy is the deposition of a crystalline layer of one material on top of another one, usually a substrate differing in lattice parameter, where the atomic periodicity of this latter is initially imposed on the layer, which in turn accumulates elastic strain.

As was recognized long ago [1], the strain induced in the film persists only up to a certain critical thickness, depending on the size of the lattice misfit and the elastic constants of the film. Beyond that thickness, segments of misfit dislocations (MDs), which plastically relieve the misfit strain, are progressively created at the interface as the growth proceeds. MD segments are usually part of semi-loops (see *fig. 1a*), connected to the surface by threading dislocations (TDs) [2]. For zincblende and diamond crystal structures, MDs are aligned in $\langle 110 \rangle$ directions and the gliding loop lies on $\{111\}$ planes, as indicated in *fig. 1a*). Dislocations are composed of a core with broken bonds and a surrounding strain field, both greatly affecting the electrical and optical properties of any material. Therefore, the density of TDs near an active device region, usually at the top of the film, should be kept as low as possible. From a practical point

1



2



of view, several methods have been more or less successful in reducing TD density (see, for instance, [3]).

While dislocations are certainly a ubiquitous concern in lattice-mismatched heteroepitaxy, additional fundamental problems arise whenever applications require thick films, such as high-brightness LEDs, detectors, and multiple-junction solar cells. Different thermal expansion coefficients (α) of layers and substrates result in a large elastic energy accumulation inside the film during temperature changes, often originating wafer bowing [4] and cracks [5] (figs. 1b) and 1c), respectively), prohibiting further wafer processing or causing device failure. Regarding these effects, frequently exceeding the dislocation problem in practical importance, no satisfactory solution has been found to date.

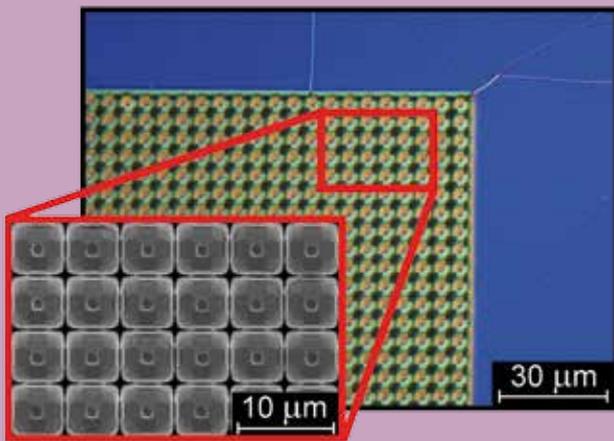
In the quest for a viable path towards the monolithic integration of X-ray imaging detectors onto a CMOS chip, a team of researchers belonging to Italian and Swiss institutions, collaborating since 2002 via the L-NESS inter-university center based in Como, developed a solution. It consists of the heteroepitaxial growth of pixelated structures of any vertical scale onto micrometric pillar arrays carved into the Si(001) substrate by trenches [6]. Here, we mainly consider the case of very thick Ge deposited in a mask-less process on such a patterned Si(001) substrate. At room temperature, the lattice mismatch of the Ge/Si(001) system amounts to $\sim 4\%$, Ge having the larger lattice parameter, while its thermal expansion coefficient is more than twice the one of Si.

2 Unexpected results

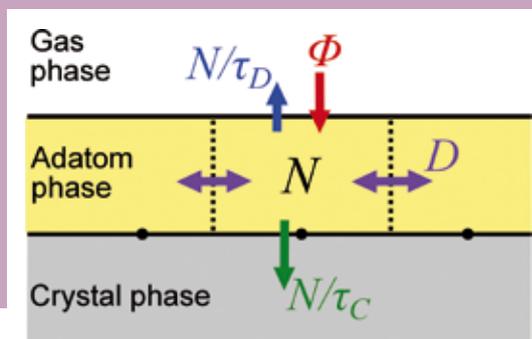
Originally, we aimed at depositing a non-conformal layer of Ge on top of Si pillars (*i.e.* not following the substrate profile), either as isolated caps or a continuous bridge, which were the most predictable configurations, depending on growth conditions and pillar spacing. In order to obtain selective Ge deposition with no oxide masking, *i.e.* avoiding the equilibrium conditions driving the filling of all the trenches because of the capillarity effect, the height of the pillars should be larger than the surface diffusion length, so that exchange of deposited material between the bottom and the top of the pillars is inhibited. To this end, the first requirement is to have pillars as tall as several micrometers: the Si(001) substrates were patterned by conventional photolithography and deep reactive ion etching (DRIE), based on the Bosch process (see fig. 2, left panels, top and perspective views by Scanning Electron Microscopy SEM). This technique is largely used in microsystem fabrication, providing very good vertical etching at a high rate (several micrometers per minute), but intrinsically wavy sidewalls, fortunately not critical in our case. Several square pillars arrays oriented along the $\langle 110 \rangle$ directions, with base width and spacing ranging from 1 to several micrometers, all of them 8 μm in depth, were patterned on a single wafer. Some arrays were arranged in square blocks, separated by larger trenches, containing tens to hundreds of pillars: a configuration which might be important for detector applications.

The second condition for this selected deposition is to

3



4



limit the surface diffusion length to be shorter than the pattern sizes, *i.e.* to be safely sub-micrometric. In the case of highly diffusing Ge species, this means to grow epitaxially at sufficiently low temperatures and high rates. This was nicely accomplished by an original plasma-activated deposition process, low-energy plasma-enhanced chemical vapor deposition (LEPECVD) [7], at a rate of 4 nm/s and growth temperatures T_G from 415 to 585 °C.

The deposition of 8 μm Ge in such growth conditions, unexpectedly resulted in closely spaced (approximately 50 nm apart), yet independent, Ge prisms, characterized by self-limited lateral expansion near the bottom of the prisms, subsequently evolving into purely vertical growth (top and perspective SEM views in the right side of fig. 2, upper and lower panels, respectively). Depending on the periodicity of the substrate pattern and the amount of material deposited, the arrays visible in fig. 2 can cover almost the entire substrate surface, resulting in space fillings up to 96%, with negligible accumulation of material at the bottom of the Si trenches. By preventing the formation of a continuous layer, crack propagation and wafer bowing are inhibited, no matter how thick the epitaxial deposit is made. This can be seen in the interference contrast image by Nomarski optical microscopy of fig. 3, showing the boundary between patterned and unpatterned regions of a 27 μm thick Ge deposit. The continuous region (blue) exhibits many cracks, due to the thermal stress developed during cooling-down from the growth temperature, but no cracks propagate into

Fig. 1 a) Schematic representation of the evolution of a dislocation loop nucleated at the surface, leading to a misfit dislocation segment at the interface (MD) and two threading dislocations reaching the surface (TD). b) Sketch of possible bowings. c) Nomarski microscope picture of cracks in 30 μm thick Ge on Si(001).

Fig. 2 SEM micrograph, top and perspective view, of a Si pillar patterned substrate (left) and of the array of 8 μm tall Ge crystals grown on top of such substrate (right). Si pillars are 2×2 μm² large and 8 μm deep, separated by 2 μm wide trenches. The Ge deposition was performed by LEPECVD at 560 °C and growth rate 4 nm/s.

Fig. 3 Nomarski micrographs of the border between patterned and unpatterned area after 27 μm Ge deposition at 490 °C. SEM top view of few towers in the patterned area is also reported in the inset.

Fig. 4 Schematic representation of the mechanism of adatom exchange at the surface leading to eq. (1) of the growth modelling.

the patterned region (gray). The inset shows an expanded SEM view of the self-aligned Ge prisms, exhibiting an aspect ratio (*i.e.* height-to-base) of about five.

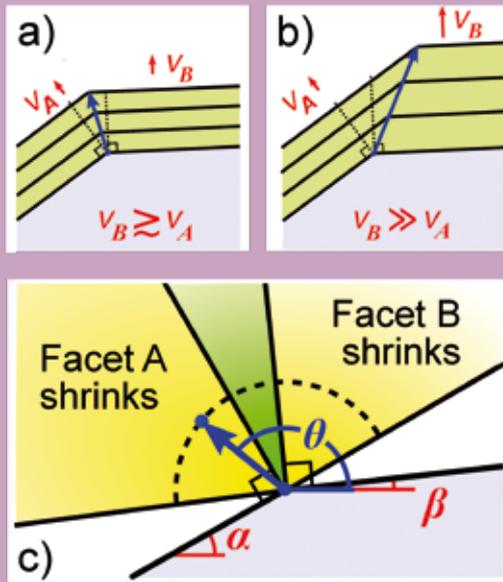
3 Modelling the deposition process

In order to identify the specific deposition features responsible for the multi-faceted Ge prisms observed in fig. 2, we set up a two-dimensional growth model accounting for the dynamics of adatoms at the surface, which are eventually incorporated in the crystalline phase. An empirical rate equation can be formulated in order to account for the temporal variation of the adatom density (typically fractions of a monolayer), due to flux balance between deposition, crystallization, etching (or desorption), and diffusion along the surface (see fig. 4). The evolution of the local adatom density N and the crystal growth rate v can be stated as

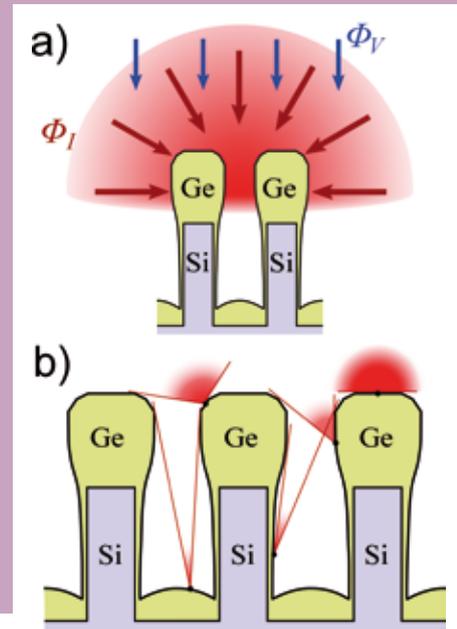
$$(1) \quad \begin{cases} \frac{dN}{dt} = \Phi - \frac{N}{\tau_C} - \frac{N}{\tau_D} + \frac{\partial}{\partial s} \left[D \frac{\partial N}{\partial s} \right], \\ v = \frac{N}{\tau_C}, \end{cases}$$

where Φ is the site-dependent incident flux, N/τ_C is the rate of crystallization (equal to the facet growth velocity v), and N/τ_D is the rate of desorption (or molecular etching) of adatoms from the surface to the gaseous phase, with τ_C and τ_D being the adatom life times for the two processes. The last term in the first equation accounts for surface diffusion by Fick's law: D is the diffusion coefficient, and the derivatives

5



6



are evaluated along the surface coordinate s . All quantities are local and parameters are expected to change according to the facet (essentially, $\{001\}$, $\{113\}$, $\{111\}$ and $\{110\}$ are the favored facets, as identified by High-Resolution SEM side views).

The typical experimental conditions consist of high deposition rates, 4 nm/s on $\{001\}$, and low T_G (415–585 °C). This implies a substantial limitation of the surface diffusion length λ , expected to be of the order of 100–200 nm, *i.e.* much shorter than the typical facet dimensions. The diffusion term in eq. (1) can then be neglected by considering a discretization of the surface profile in segments of average length λ , each one growing independently, according to the local growth rate v . At each time interval δt , segments are rigidly translated along their normal direction by the amount $v \cdot \delta t$, leading, in general, to stepped facets. Assuming stationary conditions, eq. (1) can be further simplified as

$$(2) \quad \begin{cases} \frac{dN}{dt} = 0 = \Phi - \frac{N}{\tau_C} - \frac{N}{\tau_D} = \Phi - \frac{N}{\tau} \\ v = \frac{N}{\tau_C} = \frac{\tau}{\tau_C} \Phi = \chi \cdot \Phi \end{cases}$$

where $\chi = (1 + \tau_C / \tau_D)^{-1}$ accounts for the fraction of incident flux Φ incorporated in the crystalline phase, resulting from the balance between crystallization and desorption rates, depending on facet orientation. The definition of the local growth rates v requires determining the actual deposition flux Φ impinging at each point along the crystal profile and the incorporation factors χ for the favored facets. In particular, as stated in eq. (2), all segments belonging to the same facet are expected to grow at a uniform rate, unless variations of local deposition flux Φ occur. In such a case, for convex profiles, present at the top of the Ge prisms, facets

with lower growth rates are expected to expand in size and to dominate the final prism morphology, as illustrated in fig. 5a) and 5b) for two neighboring facets A and B, growing with different velocities, v_A and v_B . If the difference in growth velocities is relatively small, as in the case of panel a), both facets extend and are preserved in the final shape, while for larger differences, as in the case of panel b), the slowest facet extends by consuming the neighboring facet. As shown in fig. 5c), by tracing the trajectory of the edge between two facets, indicated by the arrow, three different regimes are possible, according to the ratio of the growth velocity of neighbouring facets. If the ratio is ~ 1 (green area) both facets develop during the growth, otherwise (yellow areas) the slowest facet will prevail over the fastest. In this way, the relative growth velocity between facets can be fitted to the experimental morphology evolution of the Ge prisms, and the kinetic incorporation factors are obtained if the actual flux impinging on the surface is known.

4 Understanding the kinetic self-assembly

The modeling of the deposition flux can be based on the knowledge of the specific growth apparatus. In particular, the gaseous reactants in LEPECVD, mainly GeH_3 and GeH_2 radicals from decomposition of GeH_4 precursor, are produced in the plasma region and reach the sample surface, several centimeters far apart, only after a large number of collisions. This leads to an almost isotropic distribution of molecular velocities, the flux impinging on the sample surface originating from a hemispherical surface (see fig. 6). However, the vertical component along the plasma column is expected to be slightly favoured, because of charged

7

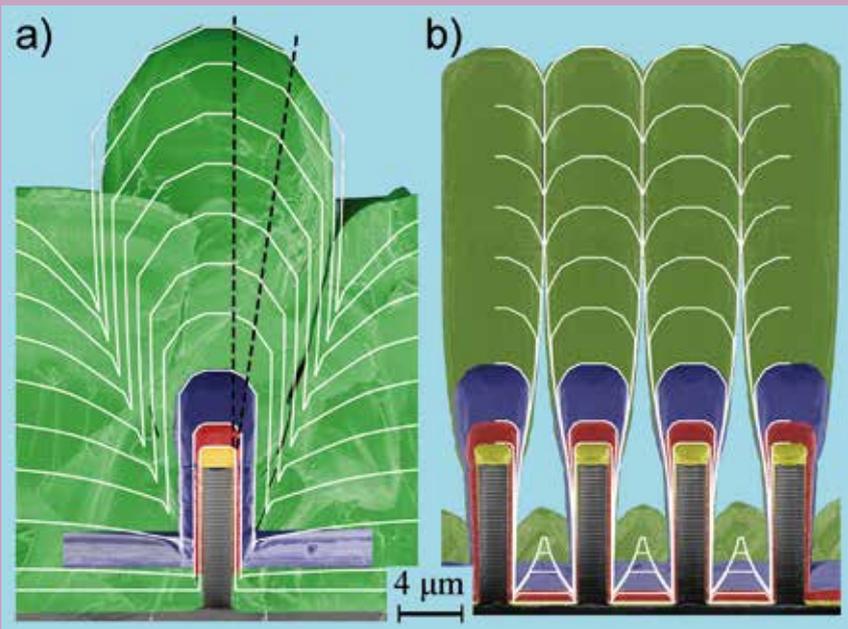


Fig. 5 Schematic description of the facet evolution for two arbitrary facets A and B when considering a) small differences in their growth rates or b) a significantly higher velocity for facet B. c) Map of the different growth regimes for a convex profile is shown, depending on the angle θ formed by the direction along which the edge is moving.

Fig. 6 a) Schematic representation of the flux modelling for the LEPECVD reactor as superimposition of a dominant isotropic flux contribution Φ_I and a vertical one Φ_V . b) Sketch of the different deposition flux impinging at each point along the profile, because of the local facet orientation and of mutual flux shielding.

Fig. 7 Comparison between SEM micrographs (colored background) and simulated profiles (white lines) for Ge deposition on a) one isolated pillar, and b) an ordered array of them, spaced by $4 \mu\text{m}$. SEM profiles are obtained by superimposing separate images at different deposition stages. Si pillars are $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ wide and $8 \mu\text{m}$ deep, and the growth temperature is $490 \text{ }^\circ\text{C}$.

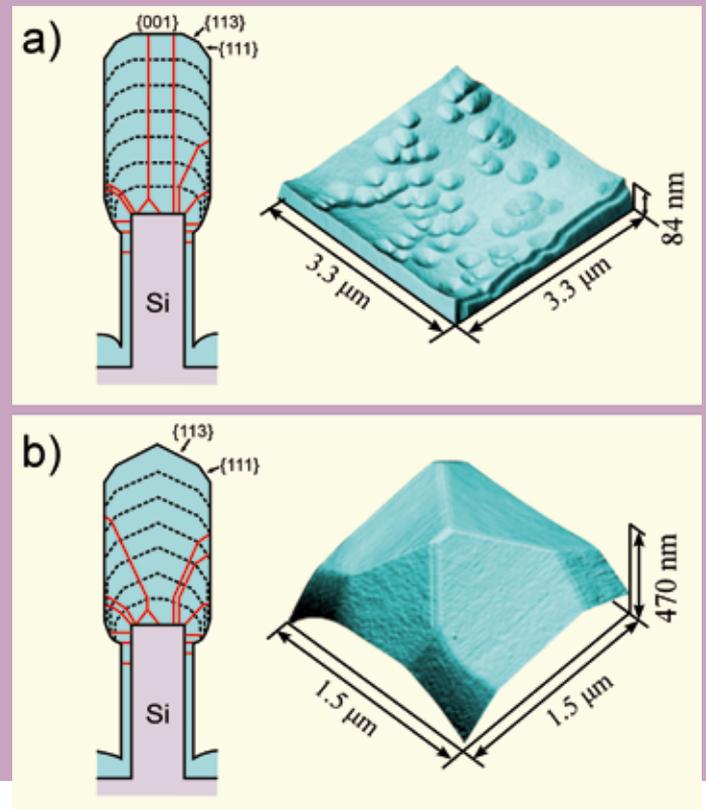
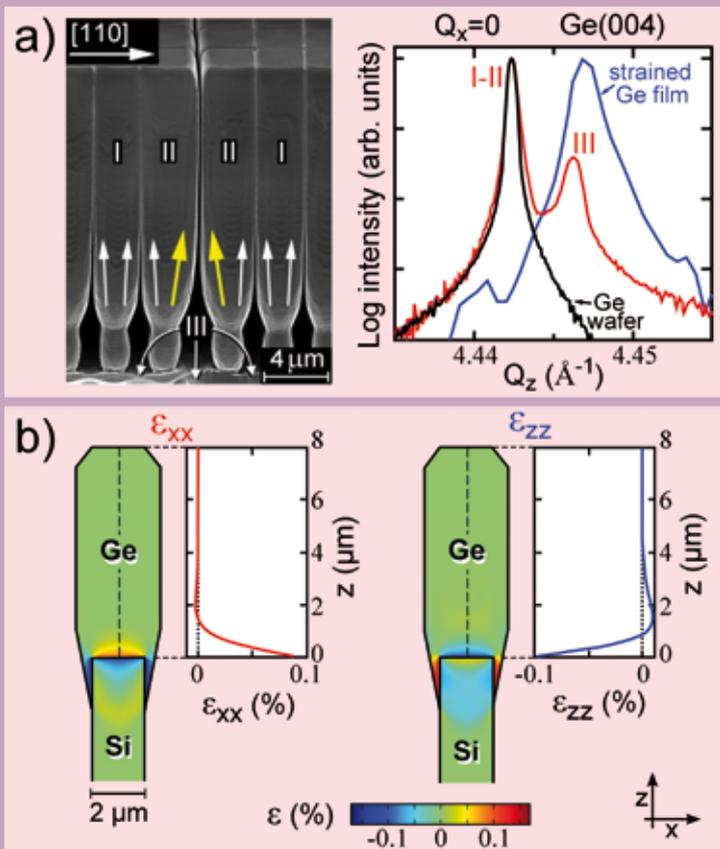
species driven by an electric field. On this basis, the flux geometry can then be effectively modelled, as indicated in fig. 6a), by superimposing a major isotropic contribution Φ_I ($\sim 70\%$ of the total flux) and a vertical one Φ_V , as fitted to the Ge deposition at the bottom of the patterned trenches, which is essentially determined by the vertical component. The actual flux at each point along the surface profile of the prism is then determined by the different portion of the flux distribution that can be collected, *i.e.* within the solid angle by which a small area of the surface (or segment, in our two-dimensional model) receives the molecular flux, as sketched in fig. 6b). Two effects determine the available flux: the facet inclination, excluding a larger part of the flux as the facet steepness increases, and the geometrical shielding provided by the neighbouring Ge prisms, which becomes more and more severe as the prisms get closer, because of their lateral expansion.

The definition of the kinetic incorporation factors χ is rather complicated, as these quantities are not available in the literature, nor easily determined by *ab initio* calculations. Therefore, they were extrapolated from SEM profiles of isolated prisms (actually, Si pillars $50 \mu\text{m}$ apart), measured at different growth stages (different background colors in fig. 7a). The absence of shielding effects by neighbors, just considering the different inclination of the facets on the flux distribution along the surface profile, allows the corresponding χ factors to be extracted from the evolution of the facet edges (dashed lines in fig. 7a), via the relative growth velocities of the different facets. The model was checked by simulations of the growth front (white lines in fig. 7a) for the same isolated prism, up to a Ge deposit of $\sim 27 \mu\text{m}$, with quite satisfactory agreement of the morphological evolution.

When considering an array of closely spaced pillars, flux variations along the prism profile during the growth process arise because of the mutual shielding from neighboring prisms getting closer. In particular, as the solid angle collecting the arrival of Ge radical species at the sidewalls of the prisms gets smaller and smaller, the growth velocity gets lower and lower, up to the point at which grazing incidence no longer allows material to stick, as suggested by molecular-dynamics simulations (here not shown). In this case, the lateral growth of the prisms at the sidewalls stops when they are some 50 nm apart, and the morphological evolution proceeds by purely vertical growth. The growth profiles of an ordered array of Ge crystals on Si pillars, originally separated by $4 \mu\text{m}$, are shown at different Ge deposition stages by a sequence of SEM pictures (background colors) in fig. 7b). Simulations of the growth front (white lines), as performed for the same pattern geometry, using the χ factors determined for the isolated pillars, are seen to accurately follow the overall profile evolution, provided that the local flux shielding is accounted for.

5 Elastic relaxation of the thermal strain

It is clear that detrimental cracks are inhibited in the patterned areas, because the elastic energy budget (due to the thermal stress), accumulated in the prisms a few micrometers in width, is not sufficient to produce ruptures: here is the first structural issue of the "Divide et Impera" concept. Moreover, the aspect ratio of the tall towers (Si plus Ge) plays an important role in elastically relieving any residual thermal strain and also in eliminating dislocations, as explained in the next section. In order to assess crystal



quality and strain status of the Ge prisms we employed high-resolution X-ray diffraction (XRD) with reciprocal space mapping (RSM) around the Si(004) and Si(224) reflections. A detailed analysis can be found in the supplementary material of [6]. Here we just report the symmetric Ge (004) reflection from patterned and unpatterned regions, with [001] taken along the z-axis and [110] along the x-axis. The data apply to 16 μm Ge deposited at $T_G = 440^\circ\text{C}$. In the right panel of fig. 8a), we display the cross-sections through the RSMs along the Q_z direction for $Q_x = 0$ for the patterned region (red solid line) and the continuous film in the unpatterned area (blue solid line), as compared to the one of a bulk Ge(001) wafer (black solid line). The corresponding SEM side view of the patterned sample is shown in the left top panel, where the large prismatic regions (I-II) and the small deposits at the bottom of the trenches (III) are indicated. We see that the full-width at half maximum (FWHM) of peak (I-II) is extremely sharp, as sharp as that of the reference Ge wafer. This is a strong indication for the nearly perfect crystal structure of the Ge prisms. Moreover, this peak appears exactly at the position expected for cubic Ge, demonstrating that the Ge material on the Si pillars is completely unstrained, as confirmed from the asymmetric (224) RSM (here not shown). In comparison, the peak for the 16 μm Ge film in the unpatterned area is not only broader, but also shifted to higher Q_z values, indicating

a tensile inplane strain ϵ_{xx} of 0.11 %. This is large enough to cause wafer bowing and layer cracking in the common planar substrates. The full relaxation of the thermal strain in the case of deposition on patterned Si substrates is purely elastic in origin, as provided by the high aspect ratio of the towers and confirmed by finite element method (FEM) calculations. In the two panels of fig. 8b) we show the color maps of the diagonal strain components ϵ_{xx} and ϵ_{zz} , taken for the central cross-section, and the corresponding numerical variation along the prism axis.

Some minor tilting of the crystal lattice (yellow arrow in the SEM view) is present for slightly asymmetric prisms close to the block margins (portion II), still not affecting the strain relaxation mechanism. For Ge layers deposited on patterned substrates, an additional weaker contribution (peak (III), some 0.013 % of the intensity of peak (I-II)) is present. This can be safely attributed to the tensile-strained ($\epsilon_{xx} \sim 0.09\%$) material deposited between the pillars.

6 Threading dislocation elimination

As stated in the first section of this paper, dislocations arise because of the lattice misfit, which cannot be doctored by elastic strain release, but for the case of tiny nanometric pillars, not presently useful for realistic applications. Still, the

10

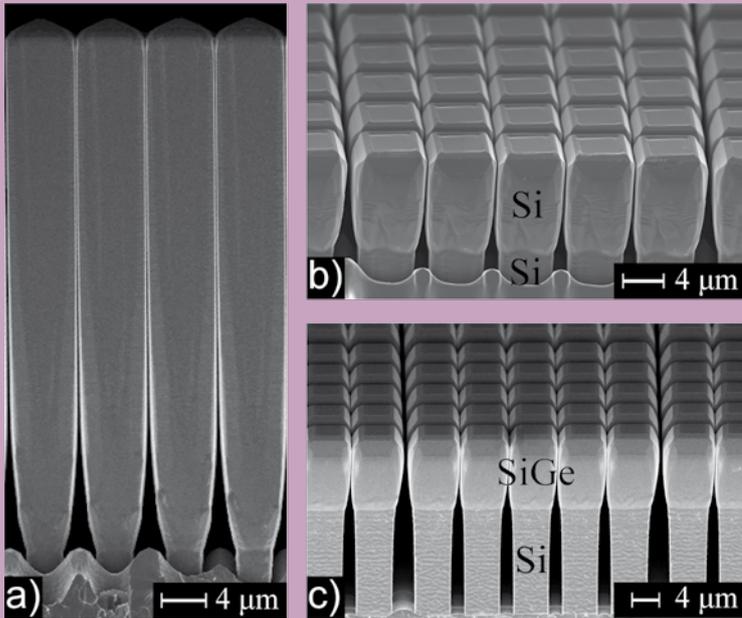


Fig. 8 a) Left: SEM micrograph of Ge crystals 16 μm tall, grown at 440 $^{\circ}\text{C}$. Si pillars underlying are separated by 1 μm -wide trenches, while pillar blocks are spaced by 2.5 μm . Right: X-ray scans (from high-resolution XRD measurements) along the Q_z direction in the vicinity of Ge(004) Bragg reflection for patterned and unpatterned areas compared with measurements on a high-quality Ge wafer. b) Color maps of ϵ_{xx} and ϵ_{zz} thermal strain components, calculated by FEM, for a central cross-section in a 8 μm tall Ge prism on a 8 μm tall Si pillar. The red and blue curves show the dependence of ϵ_{xx} and ϵ_{zz} along the central axis.

Fig. 9 Left: sketch of the facets bending effect on dislocations inside the crystals, both in the case of flat topped tower (dislocations still exist at the top) (a), and a fully faceted growth front (dislocations are trapped at the bottom of the prism) (b). Right: AFM images after selective etching of the free surfaces in 8 μm tall crystals grown at 610 $^{\circ}\text{C}$ on $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ pattern (a) and on $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ pattern (b). Pits present in the flat top case correspond to threading dislocations emerging at the surface.

Fig. 10 a) Lateral view of 50 μm tall Ge crystals grown at 490 $^{\circ}\text{C}$ on $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ large Si pillars, 8 μm deep and separated by 4 μm wide trenches. 50 nm wide channels separate each crystal preserving their vertical self-alignment. Perspective SEM micrographs of b) 8 μm tall Si crystals grown at 750 $^{\circ}\text{C}$ on Si pillars and c) 8 μm tall $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ crystals grown at 660 $^{\circ}\text{C}$ on Si pillars. Si pillars are $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ large and 8 μm deep, separated by 2 μm wide trenches.

key role of the tower morphology can be exploited also in controlling the TD density, as explained in the following. Since TDs lie on slanted $\{111\}$ crystallographic planes, all of them are geometrically expelled as soon as the aspect ratio of the prism is larger than 1.4. Such a simple concept, also named "aspect ratio trapping" [9], has been verified in much smaller structures, fabricated by Selected Area Depositions into dielectric windows on flat unpatterned substrates, exhibiting sufficiently large aspect ratios. In contrast to the latter case, where the thickness of the dielectric and the submicron pattern size govern the attainable aspect ratio, in our case this quantity can be tuned by varying the prism height.

In flat-top prisms of the kind visible in the SEM images of fig. 2, additional dislocations may be present, however, as oriented approximately along $[001]$ (see left panel in fig. 9a). They are commonly produced in pure Ge on Si (001) by the interaction of slanted TDs close to the interface region, eventually joining and climbing to the vertical direction [8]. Since cross-section Transmission Electron Microscopy, typically used to investigate the nature of dislocations, is poorly suited for a statistically relevant analysis of the TD density, we employed here also the method of surface pit counting after chemical wet etching of the samples, resulting in erosions at the emerging site of any dislocation. Indeed, an atomic force microscopy (AFM) analysis performed after

defect etching revealed evenly distributed etch pits on the (001) top facets (right image in fig. 9a).

Fortunately, all TD are always bent towards the direction perpendicular to inclined facets, so that the vertical growth of top faceted prisms results in full dislocation elimination (see left sketch in fig. 9b). We have demonstrated in [6] and [9] that the top surface morphology of Ge prisms can be controlled by adjusting the growth temperature and the pattern size. In particular, full faceting of the Ge growth front with $\{111\}$ and $\{113\}$ surfaces on small ($2 \times 2 \mu\text{m}^2$) Si pillars can be obtained at the higher $T_G = 585 \text{ }^{\circ}\text{C}$, because of some limited diffusion of adatoms from one facet to the neighboring one [6]. In the fully faceted prisms, the defects are indeed confined to their bottom part, as confirmed by the absence of etch pits in AFM images at the top, such as the one shown in the right panel of fig. 9b).

7 A viable path to detector applications

Imaging detectors are ubiquitous in science, technology, medicine and society, still requiring improved sensitivity and resolution for particle and photon detection, from high-energy to infrared radiation, depending on the application [10]. Direct conversion into an electrical signal without the use of intermediate phosphors, *i.e.* collection of photo-

generated carriers by an applied electric field, is the leading technology of avalanche photo-detectors (APDs). For X-ray detection, for instance, very thick films (absorber) of high crystalline quality (to reduce dark-current generation) are needed. Their monolithic integration onto a Si CMOS chip for signal processing is an especially intriguing possibility. Depending on the energy of the photons to be detected and the operating temperature, different crystalline semiconductors are required, because the energy gap between valence and conduction band is the critical issue, both in efficient photon detection, on the one hand, and in noise reduction on the other hand [10]. For example, Ge, Si, GaAs and SiC are good examples of emerging materials for APDs applications. Rather than depositing a continuous thick film, or bumping independent adsorbing structures on a CMOS, such technology would benefit a real breakthrough if independent micrometric prisms of crystalline material, as arranged in dense arrays, could be heteroepitaxially deposited by a low-temperature process. This would result in unequaled spatial resolution for imaging applications, even tunable by suitably parallel contacting blocks of prisms of different size at the top. In addition, this configuration could allow new strategies in the photon-counting modality. Here comes hence the second benefit of the “Divide et Impera” concept, specific for X-ray or particle detection: space filling up to 95% by tens of micrometers tall, defect- and strain-free prisms (see [fig. 10 a](#)) for the case of Ge is the ideal strategy to convey pulses generated by single photons or particles into the Si pillars, right down to the CMOS readout electronics. Such unparalleled spatial resolution, sensitivity and single-photon counting are expected provided that the challenging technology issues related to device processing are solved. A further major advancement in the application of this concept would also require extension of our growth modality to other semiconductors with different gaps. Actually, the observed phenomenon of surface filling by closely spaced, still independent, crystals should be valid for semiconductors other than Ge, provided that the necessary conditions of short diffusion paths, planar component in the molecular flux distribution, and pillar size and spacing are met. In the case of SiGe and Si, it was sufficient to progressively scale

the LEPECVD growth temperature to higher values, as shown in panels c) and b) of [fig. 10](#), respectively. Preliminary experimental indications show that Molecular Beam Epitaxy of GaAs and Hot Wall Reactor epitaxy of SiC may provide the same morphology as discussed in this paper for the case of Ge. It is still a long and technologically challenging way to device applications, but the concept presented here is sound and promising, open to suggestions of possible end-users.

Acknowledgements

Stefano Sanguinetti (University of Milano Bicocca), Franco Zappa and Alberto Tosi (Politecnico di Milano), Danilo Crippa (LPE srl, Baranzate), and Francesco La Via (CNR-IMM, Catania) are gratefully acknowledged for fruitful discussions and preliminary data disclosure. Pilegrowth Tech is a spin-off company of the University of Milano-Bicocca developing the technology reported in the present paper.

References

- [1] J. H. van der Merwe, *J. Appl. Phys.*, 34 (1963) 117; J. W. Matthews, S. Mader and T. B. Light, *J. Appl. Phys.*, 41 (1970) 3800.
- [2] D. D. Perovic, G. C. Weatherly, J. M. Baribeau and D. C. Houghton, *Thin Solid Films*, 183 (1989) 141.
- [3] A. Madhukar, *Thin Solid Films*, 231 (1993) 8; J. S. Park, J. Bai, M. Curtin, B. Adekore, M. Carroll and A. Lochtefeld, *Appl. Phys. Lett.*, 90 (2007) 052113.
- [4] V. K. Yang, M. Groenert, C. W. Leitz, A. J. Pitera, M. T. Currie and E. A. Fitzgerald, *J. Appl. Phys.*, 93 (2003) 3859.
- [5] M. Sakai, T. Egawa, M. Hao and H. Ishikawa, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 43 (2004) 8019.
- [6] C. V. Falub, H. von Känel, F. Isa, R. Bergamaschini, A. Marzegalli, D. Chrastina, G. Isella, E. Müller, P. Niedermann and L. Miglio, *Science*, 335 (2012) 1330. www.sciencemag.org/cgi/content/full/335/6074/1330/DC1
- [7] C. Rosenblad, H. R. Deller, A. Dommann, T. Meyer, P. Schroeder and H. von Känel, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 16 (1998) 2785.
- [8] A. Marzegalli, F. Isa, H. Groiss, E. Müller, C. V. Falub, A. G. Taboada, P. Niedermann, G. Isella, F. Schäffler, F. Montalenti, H. von Känel and L. Miglio, *Advanced Mater.*, in press (2013).
- [9] T. A. Langdo, C. W. Leitz, M. T. Currie, E. A. Fitzgerald, A. Lochtefeld, D. A. Antoniadis, *Appl. Phys. Lett.*, 76 (2000) 3700.
- [10] S. M. Gruner, *Physics Today*, 65 (2012) 29; J. Michel, J. Liu and L. C. Kimerling, *Nature Photonics*, 4 (2010) 527; S. Korpar, *Nucl. Instrum. Methods A*, 639 (2011) 88.

Leonida Miglio

Leo Miglio was born in Milano in 1957 and lives in Como. Full Professor of Condensed Matter Physics at the Department of Materials Science of the University of Milano-Bicocca, he teaches Nanotechnology and Solid State Physics. He has been the Dean of the PhD Curriculum in Nanostructures and Nanotechnology, the promoter and the Director of the Inter-University Center for Nanometric Epitaxial Structures on Silicon and Spintronics (L-NESS) of Politecnico di Milano and the University of Milano-Bicocca. Leo Miglio authored more than 200 international publications in the modelling and simulation of epitaxial films and nanostructures for ICT and PV applications. He filed five patent applications: one of them, along with an ETH Zürich colleague, concerns a technology platform for the heteroepitaxial integration of thick layers on patterned silicon substrates. He is the CEO of Pilegrowth Tech srl, spin-off of the University of Milano-Bicocca.

UNA NUOVA LUCE PER ILLUMINARE SUONI ANTICHI

STRUMENTI MUSICALI STORICI ANALIZZATI CON LA MICROTOMOGRFIA AL SINCROTRONE DI TRIESTE

NICOLA SODINI, FRANCO ZANINI

ELETTRA - Sincrotrone Trieste - Basovizza-Trieste, Italia



L'analisi strutturale degli strumenti musicali storici è fondamentale per la definizione di protocolli di restauro e conservazione, ma anche per lo studio di antiche tecniche di fabbricazione e per l'analisi acustica di questi preziosi oggetti. L'uso della microtomografia con luce di sincrotrone si è rivelata come lo strumento ideale per un approccio non distruttivo nell'analisi di strumenti di importanza storica come i violini del Settecento italiano o uno dei più importanti esempi della storia dell'organistica.

1 Introduzione

La tomografia computerizzata (Computed Tomography, CT) è una tecnica ben nota per la caratterizzazione morfologica degli strumenti ad arco, ed è stata utilizzata in maniera estesa in liuteria e acustica per più di vent'anni. A partire dai primi studi di fattibilità di Sirr e Waddle con uno strumento clinico [1], diversi autori hanno descritto l'uso di questa tecnica per la rivelazione di danni e riparazioni e per l'autenticazione di strumenti di elevato valore [2, 3], dimostrando le potenzialità di questo approccio. Le informazioni così ottenute hanno un ruolo fondamentale per la valutazione, l'assicurazione e l'identificazione di violini, viole e violoncelli, visto che il valore economico di uno strumento è strettamente legato alla presenza di difetti o riparazioni. Ed è altrettanto noto che grazie al sapiente uso di colle e vernici è possibile nascondere molte anomalie, incluse crepe, deformazioni e infestazioni di larve xilofaghe. Nel loro lavoro

del 1999 [3], Sirr e Waddle hanno ispezionato 17 fra viole e violini storici costruiti fra il 1633 e il 1872 da maestri cremonesi dello stampo di Guarneri del Gesù, Amati e Stradivari rilevando diversi gradi di danneggiamento o riparazioni sfuggite a ogni ispezione visiva. L'analisi tomografica, inoltre, ha permesso l'identificazione univoca degli strumenti attraverso l'analisi della struttura dei legni utilizzati, permettendo in alcuni casi la verifica dell'autenticità e quindi una forma di protezione contro perdite, furti o falsificazioni per violini il cui costo supera spesso il milione di Euro. Grazie a particolari software di analisi di immagini, la CT clinica è stata anche utilizzata per misurare le differenze nella densità del legno fra diversi punti di violini antichi e moderni [4]. Tali differenze nei differenziali di densità potrebbero essere legate ad analoghe variazioni nella distribuzione delle proprietà meccaniche, con evidenti effetti sull'efficacia vibrazionale degli strumenti. Il che potrebbe spiegare alcune differenze fra le prestazioni

acustiche di violini di diverse epoche e scuole. Più in generale, la CT clinica ha dimostrato di essere un mezzo estremamente efficace per analizzare strumenti musicali e, in particolare, strumenti ad arco, grazie all'approccio non distruttivo e non invasivo e alla possibilità di trattare i risultati in maniera diretta e grazie al formato digitale. Il limite principale di questo approccio, comunque, resta legato al basso livello di risoluzione spaziale degli strumenti in commercio, dove la tipica dimensione del voxel non scende sotto il livello di $0,4 \times 0,6 \times 0,6 \text{ mm}^3$.

2 Microtomografia con luce di sincrotrone.

La microtomografia (μCT) con raggi X è una tecnica di "imaging" tridimensionale con notevoli applicazioni nel campo dei beni culturali. Le nuove possibilità offerte dalle ultime generazioni di sorgenti di luce di sincrotrone, assieme allo sviluppo di nuovi rivelatori e di computer superveloci, hanno

stimolato l'interesse nei confronti di questa tecnica [5-7]. Le caratteristiche della luce di sincrotrone che hanno permesso lo sviluppo di nuove tecniche di imaging nel campo dei beni culturali, sono legate allo spettro continuo, che si estende dall'infrarosso ai raggi X duri, all'alta intensità e alla notevole coerenza spaziale del fascio di raggi X. Queste peculiarità permettono di ottenere tempi di esposizione ridotti, di sintonizzare l'energia dei fotoni in funzione della tipologia dei campioni e di utilizzare tecniche di sottrazione digitale [8]. La possibilità di utilizzare fasci monocromatici e l'alta collimazione del fascio, inoltre, permettono di ridurre eventuali artefatti nelle ricostruzioni e di migliorare la qualità dei dati finali. Tecniche di imaging in contrasto di fase che utilizzino sorgenti di raggi X altamente coerenti, presentano il vantaggio addizionale di permettere di esaminare campioni con basso contrasto in assorbimento, come colle e consolidanti tipicamente utilizzate nel restauro [9-10]. È noto che la struttura di interferenze tipiche delle

immagini in contrasto di fase è molto sensibile alle variazioni di densità e alla struttura interna di un campione. La μCT di fase è caratterizzata da un elevato contrasto di fase in regioni di variazione fortemente localizzata nell'indice di rifrazione del campione, come i bordi o l'interfaccia fra l'oggetto originale ed eventuali materiali inclusi. Il risultato è quindi un'immagine di questi domini, laddove nell'imaging convenzionale la formazione del contrasto è essenzialmente dovuta ad assorbimento, mentre la rivelazione dei bordi è fortemente limitata [11]. Uno dei limiti principali della μCT con luce di sincrotrone è legata al ridotto campo di vista dei rivelatori ad alta risoluzione spaziale, a causa della geometria particolare dei raggi X e delle dimensioni laterali degli strumenti in commercio. Visto che le condizioni ideali per l'analisi dei dati è ottenuta tipicamente quando le dimensioni orizzontali dei campioni in esame sono minori del campo di vista durante la rotazione, l'approccio tradizionale della μCT con luce di sincrotrone non è quello ottimale per lo studio di un violino intero.

Microtomografia in contrasto di fase

In radiologia convenzionale, la formazione dell'immagine è legata alle proprietà di assorbimento dei raggi X da parte del campione, e può venire espressa in termini di ottica geometrica. Il contrasto dell'immagine è originato da una variazione di densità, composizione e spessore del campione, e si basa solo sulla rivelazione di variazioni di ampiezza dei raggi X trasmessi. Ogni informazione sulla fase dei raggi X non viene presa in considerazione. Il limite principale di questa tecnica è lo scarso contrasto tipico di campioni molto sottili e/o a basso numero atomico, praticamente trasparenti ai raggi X. Rispetto alla radiografia in assorbimento, le tecniche di imaging in contrasto di fase si basano sull'osservazione degli sfasamenti dell'onda incidente introdotti dal campione, che vengono descritti in termini di ottica ondulatoria. Assorbimento e sfasamento sono effetti che avvengono quando i raggi X attraversano qualsiasi materiale, e la loro relazione appare nella definizione dell'indice di rifrazione complesso del materiale n , che nella regione dei raggi X è prossimo all'unità ed è dato da: $n = 1 - \delta + i\beta$, dove δ è legato alle proprietà rifrattive e β all'assorbimento. Nel range energetico fra 15 e 25 keV, il termine di sfasamento δ (dell'ordine di 10^{-7}) può essere anche mille volte maggiore del termine di assorbimento β (dell'ordine di 10^{-10}), ed è quindi possibile rivelare effetti di fase anche se l'assorbimento è trascurabile. L'osservazione di variazioni locali nella lunghezza di cammino ottico, determinata dalle variazioni di δ , è legata alla diffrazione alla Fresnel. In generale, informazioni di fase possono essere ricavate se la sorgente di raggi X ha un alto livello di coerenza spaziale, tipico del caso delle sorgenti di luce di sincrotrone di ultima generazione come ELETTRA.

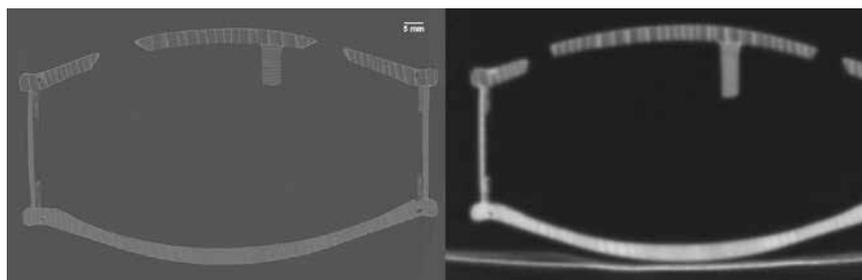


Fig. 1 A sinistra, scan transassiale di un violino da studio ottenuta presso SYRMEP. La sezione è stata presa al livello delle effe. Da notare la catena e gli inserti che uniscono le tavole superiore e posteriore alle fasce. A destra uno scan analogo ottenuto con uno strumento clinico.

3 Microtomografia con rivelatori di grande dimensione

Il rivelatore utilizzato per la prima acquisizione ad alta risoluzione di un'intera sezione di un violino è un prototipo chiamato "Phase Imaging for Clinical Application with Silicon detector and Synchrotron radiation" (PICASSO) e sviluppato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) [12]. Il rivelatore PICASSO è stato progettato per applicazioni in mammografia sfruttando le particolari caratteristiche dei fasci di luce di sincrotrone [13], ed è stato subito preso in considerazione per le applicazioni qui descritte grazie alla sua capacità di coprire tutta la larghezza del fascio di magneti curvante di ELETTRA (210 mm) con una buona risoluzione spaziale (0.05 mm).

PICASSO è un rivelatore microstrip al silicio, simile a quelli utilizzati per le alte energie, con la differenza di essere utilizzato in configurazione "edge-on", cioè con i fotoni che colpiscono il lato sottile del sensore, parallelamente alle striscie di silicio. Questa configurazione si adatta alla geometria laminare del fascio di raggi X e fornisce una struttura lineare di pixel con risoluzione pari a 0.05×0.3 mm (HxV). La risoluzione verticale può essere ridotta utilizzando un sistema di fenditure per ridurre l'altezza del fascio. L'utilizzo di un approccio "single-photon counting", inoltre, permette di migliorare il

contrasto e di superare i tradizionali limiti nell'intervallo dinamico di rivelatori a integrazione di carica, come CCD e "flat panel". Le immagini digitali a 32 bit così ottenute contengono così molte più informazioni rispetto al risultato visualizzabile sullo schermo di un computer o sulla pagina di una rivista.

3.1 Lo studio di fattibilità

Al fine di dimostrare le potenzialità di PICASSO con un fascio di luce di sincrotrone, abbiamo analizzato un violino da studio attraverso la zona centrale, all'altezza delle "effe". L'acquisizione è stata fatta presso la beamline SYRMEP [14] del laboratorio ELETTRA a Trieste. L'energia dei raggi X è stata fissata a 23 keV, e sono state acquisite 3600 proiezioni con un incremento angolare di 0,05 gradi e un tempo di acquisizione di 1 secondo per proiezione. I dati sono stati analizzati seguendo la procedura descritta nella referenza [15]. L'immagine così ottenuta può essere confrontata con il risultato ottenuto sullo stesso violino utilizzando un tomografo clinico di ultima generazione presso l'Azienda Ospedaliera – Università di Trieste. Il miglioramento della risoluzione spaziale pari a un ordine di grandezza permette di osservare diversi dettagli che non possono essere rilevati con i tradizionali strumenti clinici (fig. 1).

3.2 Il Guadagnini del 1753

Nato a Bilegno, vicino a Piacenza, nel 1711, Giovanni Battista Guadagnini è stato uno dei liutai più prolifici e talentuosi della sua generazione [16]. Il suo stile e la sua tecnica sono completamente diversi da ogni fabbricante di violini e violoncelli del suo tempo, ma al tempo stesso è stato in grado di produrre strumenti di eccellenza fin dal 1740, e quando si trasferì a Milano nel 1749, era già considerato dai suoi contemporanei uno dei più brillanti liutai dei suoi tempi. Il violino da noi esaminato proviene dai primi anni milanesi, ed è un esempio dei più tipici dell'opera del Guadagnini. La qualità eccezionale dei suoi capolavori e la bellezza dei materiali del periodo milanese riflettono la ricchezza dei suoi clienti e la disponibilità di legni di qualità e di pigmenti ricchi e brillanti in una delle più importanti città europee di quegli anni. Dopo il periodo milanese Guadagnini ha continuato a trasferirsi di città in città e ha lavorato ad alto livello a Cremona, Parma e Torino, dove è morto nel 1786 a 75 anni, ancora in piena attività.

3.3 Il setup sperimentale

Il violino è stato montato su un sostegno ammortizzato disegnato per evitare stress allo strumento, ma abbastanza stabile da evitare movimenti durante l'esposizione ai raggi X (fig. 2). La scelta di utilizzare un



Fig. 2 Il setup sperimentale per l'analisi dei violini.

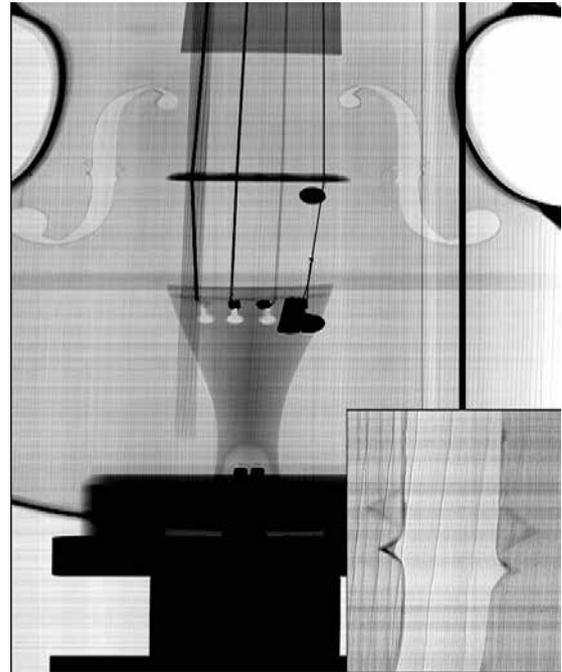


Fig. 3 Dettaglio di una "effe" del Guadagnini ricavata da una radiografia bidimensionale, a evidenziare una modifica sfuggita all'ispezione visiva.

fascio monocromatico ha permesso di ridurre la dose di radiazione assorbita dal violino, al fine di ridurre a livelli trascurabili ogni possibile danno alla vernice. Una umidità relativa (RH) di 55–60% e una temperatura di 20 °C sono considerati come la combinazione ideale per la conservazione del legno culturale. In caso di RH minore, il contenuto di umidità interna del legno cala, e il conseguente ritiro può indurre crepe nella tavola armonica o il distacco della tavola stessa dalle fasce laterali. Al fine di evitare questi problemi abbiamo deciso di realizzare un sistema di controllo della RH all'interno della stazione sperimentale di SYRMEP. Un primo stadio consiste in un umidificatore e un condizionatore per stabilizzare l'intera stazione sperimentale con un ambiente di $40\% \pm 5\%$ RH e 25 °C. Un controllo più preciso viene realizzato attorno al campione dove una cabina in Plexiglas ($500 \times 500 \times 1300 \text{ mm}^3$) è equipaggiata con un sistema di controllo dell'umidità Microclimate MCG4. Il primo stadio è

stato progettato per creare un ambiente dove è possibile esporre i campioni all'aria senza danni prima e dopo l'acquisizione dei dati, ed è necessario per garantire il corretto funzionamento del secondo stadio. Quando i due sistemi lavorano assieme, all'interno della cabina l'umidità è stabile a $53\% \pm 2\%$ RH e temperatura di 26 °C.

Le immagini tomografiche sono state ottenute ad un'energia di 23 keV con un numero totale di 3600 proiezioni da 1 secondo acquisite su 180 gradi. Le dimensioni orizzontali del fascio di raggi X e del rivelatore sono state sufficienti per acquisire immagini dell'intero violino in diverse posizioni di interesse, scelte grazie a una radiografia preliminare dell'intero strumento ottenuta tramite una scansione del violino di fronte al rivelatore. Questo approccio ci ha permesso di rivelare una modifica delle effe del violino che era sfuggito a una ispezione visiva (fig. 3). Qui mostriamo due esempi fra le diverse sezioni esaminate. Il primo esempio è relativo a una slice presa al

livello della cordiera (fig. 4): possiamo chiaramente vedere che la catena è stata rimossa e incollata su una pezza in legno, mentre altre due pezze appaiono sul lato destro della tavola armonica. Questo approccio permette di misurare con estrema precisione lo spessore di ogni dettaglio della sezione, ed è anche possibile misurare gli anelli di accrescimento del legno per applicazioni dendrocronologiche. Una seconda sezione è stata scelta al livello della base del violino (fig. 5): un restauro importante è stato effettuato in questa zona, ma altre informazioni sono legate alla deformazione della fascia sinistra causata dall'uso della mentoniera e alla presenza di riempitivi e di fori di tarlo. L'intera misura è stata realizzata senza rimuovere le corde metalliche, come da richiesta del proprietario del violino. L'alto contrasto delle immagini finali non sarebbe stato ottenibile con un rivelatore convenzionale, e solo l'esteso intervallo dinamico di PICASSO ci ha permesso di raggiungere questo risultato [17,18].

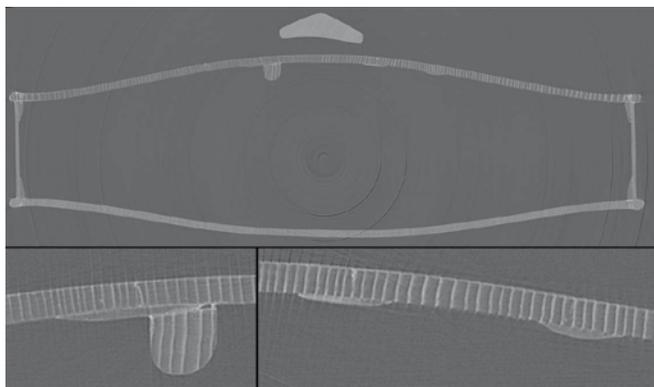


Fig. 4 Sezione del Guadagnini al livello della cordiera. In dettaglio due zone restaurate con delle pezze in legno.

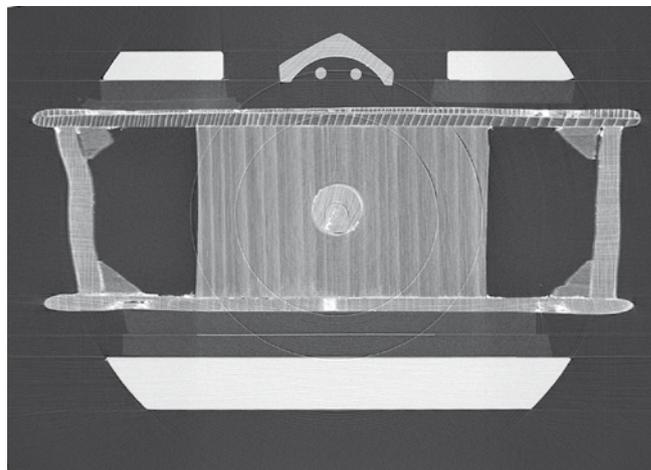


Fig. 5 Sezione del Guadagnini al livello della base, dove sono evidenti tracce di restauro e di alcune patologia a carico delle fasce laterali.

4 Organi medievali con canne di cartone: tecniche costruttive

Poco è dato sapere riguardo la costruzione di canne di cartone nella tradizione degli organi positivi: all'inizio del 1476 il Cardinale di Pavia scriveva due lettere a Galeazzo Maria Sforza, Duca di Milano, per raccomandare un tale Maestro Giovanni da Gaeta, "Maestro di organi di carta" [19]. Tutte le informazioni in nostro possesso vengono dalla più diffusa tradizione degli organi portativi. Ma anche in questo caso, mentre abbondano documenti e testimonianze ed è disponibile un'abbondante iconografia in merito, non sembra siano sopravvissuti organi autentici. Tutti i dettagli tecnici riguardo questi strumenti portatili derivano da dipinti, sculture e bassorilievi. In queste rappresentazioni la maggior parte degli organi sembrano avere canne di metallo, soprattutto stagno, mentre non ci sono riferimenti specifici all'uso di rame (non raro negli organi liturgici)

mentre il piombo sembra da scartare sia per il costo che per il peso della struttura finale. Non si fa menzione di canne di legno o carta, anche se questi materiali sembrano avere parecchi vantaggi rispetto al metallo. Geoffrey Bridges, lo storico più autorevole nel campo degli organi antichi, ammette che è pressochè impossibile sapere che tipo di carta venisse utilizzato, e altrettanto si può affermare riguardo le tecniche di fabbricazione utilizzate per assemblare le canne di carta [20-21]. Organi positivi con simili canne sono rari a causa della difficoltà nel fabbricarli e nel conservarli adeguatamente. Erano molto più cari rispetto a quelli tradizionali, e venivano di solito ordinati da persone estremamente facoltose, come Lorenzo de' Medici, Isabella d'Este o i membri della famiglia reale ungherese [22]. Il loro scopo era quello di produrre strumenti dal suono morbido e dolce, finalizzato alla musica da camera: "Rari sono li Organi fabricati con Canne di carta per la troppa difficoltà che vi è nel formarli, ed anco





Fig. 6 Un dettaglio delle canne di carta dell'organo di Lorenzo da Gusnasco.

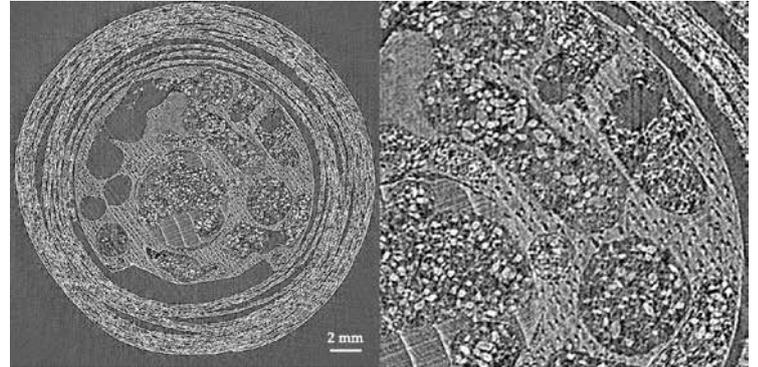


Fig. 7 Una sezione relativa a una canna di carta dell'organo di Lorenzo da Gusnasco al livello del piede di legno. Nel dettaglio si nota la presenza di larve di insetti xilofagi.

per conservarli. E in vero l'invenzion e il fine di chi opera in questa maniera non è per altro, che per formare istrumenti dolci, anzi dolcissimi, e di poca voce, e questi servono più da Camera, mentre qualche gran Signore è a pranzo, e da virtuosi li venga sonato, o cantato, come se ne trovano in molti luoghi" [23].

Altrettanto vaghe sono le testimonianze riguardo la colla usata per arrotolare e fissare le canne e il trattamento utilizzato per proteggere la superficie delle canne stesse. Nel novembre del 1517 Vincenzo Musto scriveva, a nome di Alfonso d'Este, per ringraziare Isabella d'Este riguardo una ricetta di Lorenzo da Pavia e per richiedere ulteriori informazioni riguardo la colla utilizzata per i suoi strumenti musicali e quella che usava per le canne degli organi. Pochi giorni dopo Isabella rispondeva, dichiarando che Giacomo, fratello del defunto Lorenzo, non aveva ricette scritte ma che aveva trovato alcuni contenitori fra i suoi effetti: uno contenente una

colla chiara per gli strumenti e uno contenente una colla scura per le canne. Isabella aggiungeva che un esperto costruttore d'organi sarebbe stato perfettamente in grado di dedurre da ciò la composizione delle colle. Per quanto riguarda lo strato finale, diversi autori suggeriscono l'uso di uno strato protettivo a base di gommalacca da applicare all'interno e all'esterno delle canne [24].

4.1 L'organo positivo di Lorenzo da Pavia (1494)

L'unico organo con canne di carta sopravvissuto ai giorni nostri appartiene alla collezione di strumenti musicali dei Musei Civici Veneziani, conservato al Museo Correr (fig. 6). L'autore dell'organo è Lorenzo Gusnasco da Pavia, noto per i suoi rapporti con le più importanti famiglie dei suoi tempi [25]. Mentre la destinazione originale dello strumento, realizzato nel 1494 è ancora ignota, sappiamo che è stato acquistato dal Correr attorno al 1874.

La documentazione sull'analisi e il restauro dell'organo è scarsa, e il primo studio completo è stato pubblicato nel 1976 da Marco Tiella [26]. L'importanza dello strumento, comunque, ha sempre limitato la possibilità di analizzarlo, e la non distruttività delle tecniche da impiegare è sempre stata una richiesta fondamentale. Anche in questo caso le analisi microtomografiche sono state condotte presso la linea SYRMEP di ELETTRA. In fig. 7 è riportata una sezione al livello del piede di legno della stessa canna, con una risoluzione spaziale finale di 10 μm . I parametri sperimentali sono stati ottimizzati per la definizione del numero e dello spessore degli strati di carta, ed è possibile anche apprezzare il loro stato di conservazione. Ma è anche possibile estrarre informazioni importanti riguardanti la parte lignea. Anzitutto è possibile determinare, in maniera non invasiva, le diverse qualità di legno utilizzate dal Gusnasco, ma anche rilevare la presenza di fori causati

dall'infestazione di insetti xilofagi. Grazie al contrasto di fase è anche possibile caratterizzare la tipologia delle larve all'interno del campione [27].

5 Conclusioni

L'approccio combinato della tomografia con luce di sincrotrone e di un rivelatore a larga area accoppiato al fascio laminare di raggi X è uno strumento importante per la valutazione tridimensionale non invasiva di strumenti musicali antichi e moderni. A parte ovvie applicazioni come la valutazione dendrocronologica [28] o l'analisi di qualità di strumenti di grande valore, questa tecnica può essere di grande valore per la caratterizzazione degli strati esterni degli strumenti ad arco, dove sia le vernici che i "filler" sono responsabili delle relative prestazioni acustiche [29]. Più in generale, questo approccio può essere di fondamentale importanza per la valutazione e la definizione di protocolli di conservazione di strumenti di notevole importanza storica, artistica ed economica.

Ringraziamenti

Gli autori sono in debito con diversi colleghi per il loro contributo, che a diverso titolo hanno permesso di realizzare le misure descritte in questo articolo: Beatrice Bentivoglio-Ravasio, Rongchang Cheng, Elisabetta e Donatello Cividin, Diego Dreossi, Alberto Giordano, Peter Herrestal, Lucia Mancini, Emanuele Marconi, Michela Palazzo, Luigi Rigon, Camillo Tonini, Giuliana Tromba, Leonardo Trotta. Le misure sono state parzialmente finanziate da Cividin Costruzioni.

Bibliografia

- [1] S. A. Sirt, J. R. Waddle, *Radiology*, 203 (1997) 801.
- [2] F. Gattoni, C. Melgara, C. Sicola, C. M. Uslenghi, *Radiol. Med.*, 97 (1999) 170.
- [3] S. A. Sirt, J. R. Waddle, *Radiographics*, 19 (1999) 639.
- [4] B. C. Stoel, T. M. Borman, *PLoS ONE*, 3 (2008) 1.
- [5] L. Mancini, G. Tromba, F. Zanini, *J. Neutron Res.*, 14 (2006) 75.
- [6] H. Roemich, F. Zanini, K. Wittstadt, C. Mueller-Weinitschke, N. Sodini, *Nondestruct. Test. J.*, 13 (2008) 30.
- [7] D. Dreossi et al., *"Wood Science for Conservation of Cultural Heritage: State of the Art"* (Florence University Press, Firenze) 2010, p. 34.
- [8] J. Kaiser et al., *Eur. Phys. J. D*, 32 (2005) 113.
- [9] A. Snigireva, I. Snigireva, V. Kohn, S. Kuznetsov, I. Schelokov, *Rev. Sci. Instrum.*, 66 (1995) 5486.
- [10] J. Baruchel et al., *J. Synchrotron Rad.*, 7 (2000) 196.
- [11] P. Cloetens, M. Pateyron-Salomé, J. Y. Buffière, G. Peix, J. Baruchel, F. Peyrin, K. Schlenker, *J. Appl. Phys.*, 81 (1997) 5878.
- [12] L. Rigon et al., *Nucl. Instrum. Methods A*, 608 (2009) S62.
- [13] D. Dreossi et al., *Nucl. Instrum. Methods A*, 576(1) (2007) 160.
- [14] A. Abrami et al., *Nucl. Instrum. Methods A*, 548 (2005) 221.
- [15] L. Rigon et al., *e-Preservation Sci.*, 7 (2010) 71.
- [16] D. Rosengard, *"Giovanni Battista Guadagnini: The life and achievement of a master maker of violins"* (Carteggio Media, Haddonfield) 2000.
- [17] F. Zanini, A. Giordano, *Strad*, 123 (2012) 36.
- [18] R. Chen et al., *J. Cult. Herit.* 13S (2012) S44.
- [19] C. Sartori, *The Musical Quarterly*, 43 (1957) 57.
- [20] G. Bridges, *Galpin Soc. J.*, 45 (1992) 107.
- [21] G. Bridges, *Galpin Soc. J.*, 47 (1994) 163.
- [22] P. P. Donati, *"La musica a Firenze al tempo di Lorenzo il Magnifico"* (Olschki, Firenze) 1993, p. 275.
- [23] B. Barcotto, *"Regola e Breve Raccordo"* (Stamperia Centrale, Padova) 1652.
- [24] D. A. Hyland, G. A. Ausley, *"The Art of Organ Building"*, Vol. 2 (Courier Dover, N. Chemsford, MA) 1988.
- [25] W. F. Prizer, *Early Music Hist.*, 2 (1982) 87.
- [26] M. Tiella, *The Organ Yearbook*, 4 (1976) 4.
- [27] B. Bentivoglio-Ravasio et al., *J. Ent. Acarol. Res. (Ser II)* 43 (2011) 149.
- [28] J. Topham, D. McCormick, *The Strad*, 112 (2001) 846.
- [29] J.-P. Echard, B. Lavédrine, *J. Cult. Herit.*, 9 (2008) 420.

Nicola Sodini

Nicola Sodini si è laureato a Firenze in Scienze Forestali e Ambientali, e ha conseguito presso la stessa Università un Dottorato in Scienza e Tecnologia del Legno. Ha collaborato con il Comune di Genova alla conservazione del "Cannone", il Guarneri del Gesù del 1743 posseduto da Niccolò Paganini. Dal 2007 lavora a ELETTRA, dove si è occupato in particolare di microtomografia di strutture lignee, investigando la possibilità di utilizzare approcci innovativi per studiare la struttura microscopica di campioni di grandi dimensioni. È anche responsabile dello studio di ambienti controllati per l'analisi di oggetti artistici di rilevanza storica e artistica.

Franco Zanini

Franco Zanini si è laureato a Trieste in Fisica dello Stato Solido e, dopo un'esperienza come ricercatore presso il sincrotrone dell'Università del Wisconsin, ha iniziato a lavorare presso ELETTRA, il sincrotrone triestino, dove ha sviluppato programmi di ricerca legati all'analisi microstrutturale nel campo dei beni culturali e delle tecnologie alimentari. Assieme ai suoi colleghi ha sviluppato tecniche di analisi innovative che hanno permesso, fra l'altro, di fare luce su molti aspetti della conservazione e del restauro delle vetrate decorate delle più importanti cattedrali europee (Canterbury, Chartres, Le Mans, Colonia).



CENTO ANNI FA, CON LA TEORIA DI BOHR, LA GENESI DELL'ATOMO

ALESSANDRO PASCOLINI

Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei"

Università di Padova, Padova, Italia

INFN, Sezione di Padova, Padova, Italia



Copenhagen 6 marzo 1913
Caro prof. Rutherford
Mando allegato il primo capitolo del mio lavoro sulla costituzione degli atomi. Spero che i prossimi capitoli seguano entro alcune settimane. [...] Ho tuttavia alcune difficoltà a mettere tutto assieme nello stesso tempo, e sarò estremamente felice ad avere il lavoro pubblicato nel minor tempo possibile, dato l'accumularsi di pubblicazioni sull'argomento [...] per cui le sarò estremamente grato se lei gentilmente comunicherà per me il presente primo capitolo al Phil. Mag. [...] Spero che lei trovi che io ho individuato un ragionevole punto di vista sulla delicata questione dell'uso simultaneo della vecchia meccanica e delle nuove assunzioni introdotte dalla teoria della radiazione di Planck. Sono veramente ansioso di sapere cosa lei possa pensare di tutto questo [...]
Molto sinceramente suo
Niels Bohr

Il "primo capitolo" allegato da Niels Bohr (fig. 1) a questa lettera apre il suo fondamentale lavoro "sulla costituzione degli atomi e delle molecole", che la rivista *Philosophical Magazine* pubblicherà in tre parti, a luglio, settembre e novembre 1913 (vedi fig. 2). L'importanza di questo lavoro nella storia della scienza è difficilmente sopravvalutabile: trasformerà l'atomo da immagini speculative contrastanti in un'entità fisica ben definita, punto di partenza per un vastissimo programma di ricerca, collocherà in un contesto preciso gli studi sulla radioattività, indicherà percorsi operativi alla fisica e chimica molecolare, rivoluzionerà la teoria della radiazione e darà una svolta significativa alla teoria dei quanti, con la quantizzazione di sistemi materiali singoli e introducendo il principio di corrispondenza.

Come dirà Max Planck nella sua conferenza Nobel

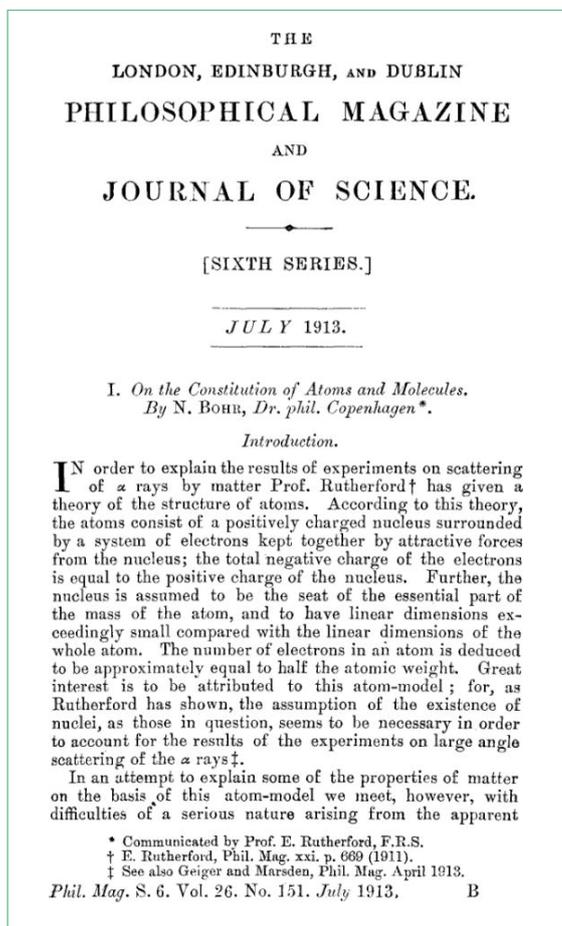
"Se vari esperimenti ed esperienze [...], in diversi campi della fisica, forniscono una prova imponente in favore dell'esistenza del quanto d'azione, l'ipotesi dei quanti riceve tuttavia il suo massimo supporto dalla fondazione e dallo sviluppo della teoria dell'atomo di Niels Bohr. Perché toccò a questa teoria di scoprire, nel quanto d'azione, la chiave a lungo cercata per la porta d'ingresso al paese incantato della spettroscopia, che dalla scoperta dell'analisi spettrale aveva ostinatamente respinto ogni sforzo di effrazione. E appena la via fu aperta, un'improvvisa ondata di nuove conoscenze si riversa su tutto il campo e sui campi vicini sia della fisica sia della chimica".

In questo lavoro ripercorriamo alcune tappe essenziali del giovane Bohr verso il suo mirabile contributo scientifico, nel quadro delle ricerche del suo tempo.



Fig. 1 Niels Hendrik David Bohr attorno al 1913, cortesia del Niels Bohr Archive

Fig. 2 Prima pagina della prima parte dell'articolo di N. Bohr "On the constitution of Atoms and Molecules", riprodotta da The Philosophical Magazine, series 6, vol. 26, no. 151 (1913) 1-25, con il permesso di Taylor & Francis, © 1913 (<http://www.tandfonline.com>)



analitici, coerenti con le leggi fondamentali della fisica. I primi modelli atomici, nella tradizione della scuola inglese, erano invece generalmente intesi solo come immagini suggestive e semplificate della realtà irraggiungibile, analogie dei possibili meccanismi, un aiuto a comprendere un qualche aspetto fenomenologico, speculazioni prive di una base formale consolidata e coerente.

Fra le prime descrizioni non effimere, lord Kelvin (allora ancora William Thomson) attorno al 1880 propose gli atomi come vortici in un fluido perfetto onnipervasivo, analogia ripresa da Joseph John Thomson (dal 1884 successore di Kelvin quale "Cavendish professor of Physics" a Cambridge), che la sviluppò dal punto di vista matematico e nel 1890 collegò il modello al sistema periodico degli elementi, sottolineando le analogie fra una disposizione di vortici e la regolarità degli elementi chimici. Abbandonato il modello a vortici, nel 1897 Kelvin propose un "atomo epiniano" composto da una sfera di fluido elettrico positivo contenente particelle negative, da lui chiamate "electroni" (per distinguerle dagli elettroni) fra cui agivano forze non coulombiane.

Una volta individuato nell'elettrone un elemento costitutivo degli atomi, apparvero naturali analogie con il Sistema Solare. (Elettroni orbitanti attorno a un centro di carica positiva). Un primo modello planetario venne proposto in termini puramente qualitativi, senza approfondirne le proprietà dinamiche, da Jean Perrin nel 1901 per spiegare la radioattività e l'emissione di luce. Hantaro Nagaoka considerò (1904) un modello più evoluto, con gli elettroni disposti uniformemente su anelli rotanti attorno un vasto centro elettricamente positivo. Fu subito dimostrato che il modello "saturniano" di Nagaoka era meccanicamente instabile: spostamenti radiali di un elettrone nel piano dell'orbita originano oscillazioni di ampiezza crescente fino a distruggere l'atomo stesso. Tale instabilità meccanica si

1 Lo stato dell'atomo nel 1913

L'ipotesi atomica nel secolo XIX veniva presentata dai chimici come molto plausibile e conveniente, ma del tutto priva di verifica, mentre la maggior parte dei fisici accettava gli atomi, senza nutrire molto interesse verso di loro, in particolare al di fuori dell'Inghilterra. Gli unici dati a caratterizzare gli atomi si riducevano al peso atomico e alla posizione nella tavola periodica degli elementi, forniti dalla chimica. Speculazioni fisiche sulla costituzione degli atomi predatano la scoperta dell'elettrone nel 1897, ma solo con la nuova particella i modelli atomici iniziarono a diventare più realistici.

È opportuno precisare che i vari modelli atomici prima di Bohr sono ben lontani dall'accezione attuale di modello fisico, quali, per esempio, il modello standard o il modello a strati nucleare, i quali hanno capacità sia descrittive che predittive, essendo quantitativi e definiti da enti matematici

aggiunge all'instabilità radiativa presente in tutti i modelli con elettroni in moto accelerato, durante il quale, in base all'elettrodinamica, emettono radiazioni e perdono energia fino al collasso della struttura atomica. Il problema delle instabilità fu una delle ragioni principali per l'abbandono dei modelli a forze centrali.

Intanto Thomson aveva individuato sei classi di ostacoli principali da superare per costruire una consistente architettura atomica basata su elettroni:

1. la natura della carica positiva necessaria per la neutralità dell'atomo: Thomson fece suo il fluido elettrico positivo senza massa proposto da Kelvin; James Hopwood Jeans (1901) introdusse l'idea di elettroni positivi, nascosti nella profondità atomica, con un enorme numero di elettroni concentrati sulla superficie; elettroni positivi furono anche considerati da John William Strutt lord Rayleigh e da Oliver Lodge nel 1906, nonostante le contrarie evidenze sperimentali; unità positive, mistura di cariche opposte ("dinamidi") indivisibili e inseparabili compaiono nell'atomo di Philipp Eduard Anton von Lenard (1903);
2. il numero di elettroni in un dato atomo e la sua relazione con il peso atomico A : data la piccola massa dell'elettrone, se solo essi contribuiscono ad A , sia i modelli con elettroni positivi che quelli con fluido positivo richiedevano un numero enorme di elettroni, migliaia di volte il valore di A ; ciò anche per poter collegare alle loro oscillazioni la grande molteplicità delle righe spettrali;
3. la dimensione spaziale dell'atomo e la distribuzione degli elettroni;
4. l'instabilità radiativa: il problema varia di gravità a seconda dei modelli e del numero di elettroni, favorendone la massima molteplicità;
5. la forma della radiazione spettrale: le formule spettrali, per la loro semplicità a fronte della complessità degli spettri, sono difficilmente riconducibili a oscillazioni arbitrarie del sistema di elettroni, per cui vanno individuate le condizioni di compatibilità; queste difficoltà convinsero la maggior parte dei ricercatori, incluso Thomson, a rimandare il problema a fasi più evolute del modello;
6. la natura degli oscillatori: le informazioni spettroscopiche, incluse le differenti modifiche delle righe di uno stesso spettro al variare delle condizioni di generazione o alla presenza di campi magnetici, suggerivano che fosse necessario associare numerosi diversi sistemi di vibratori a uno stesso spettro.

Thomson non solo formulò i problemi, ma egli e i suoi studenti furono all'inizio pressoché i soli fisici a lavorare alla loro soluzione; nel 1903-4 trasformò la prima cruda descrizione dell'atomo in un modello quantitativo e raffinato,

che fino al 1910 sarà considerato il miglior candidato a una teoria atomica: migliaia di elettroni (tanti da fornire tutta la massa atomica e ridurre l'irraggiamento) si muovono senza attrito su orbite circolari coplanari concentriche all'interno di una sfera di elettricità positiva con una densità di carica costante. La sfera diffusa priva di massa era un conveniente artificio a garantire, con la sua forza di richiamo lineare, l'equilibrio dinamico del sistema degli elettroni.

La determinazione del numero effettivo di elettroni per atomo era cruciale anche perché Thomson aveva scoperto che gli atomi di elementi successivi nella tavola periodica differivano fra di loro per l'aggiunta di un solo elettrone; nel 1906, tenendo conto dei dati sperimentali sulla diffusione di radiazione X e beta, giunse a una drastica riduzione della popolazione elettronica. Ciò riapriva il problema della perdita di energia per irraggiamento e, effetto ancora più importante, costringeva ad attribuire quasi tutta la massa atomica alla sfera diffusa positiva che avrebbe dovuto essere un mero artificio matematico. Il modello inoltre non era assolutamente in grado di spiegare, senza assunzioni artificiose, le regolarità spettroscopiche, per cui l'interesse degli altri fisici nel suo approccio gradualmente venne meno, apparendo sempre più evidente che non avrebbe potuto svilupparsi in una teoria generale e consistente.

Un processo particolare di cui il modello di Thomson non riuscì a render conto fu la diffusione delle particelle alfa da atomi pesanti, mentre era stato in grado di spiegare quella di raggi beta sulla base di diffusione multipla: nel 1910 Hans Johannes Wilhelm Geiger ed Ernest Marsden, lavorando sotto la direzione di Ernest Rutherford, con grande sorpresa di tutti, trovarono che una particella alfa su circa 8000 dopo l'urto contro un foglio sottile di oro riemergeva dal lato di incidenza.

Rutherford comprese che un tale risultato era solo possibile se la massa atomica fosse tutta concentrata in una "particella" praticamente puntiforme con una carica elettrica positiva e se la diffusione fosse dovuta a una singola interazione; nel maggio 1911 fu in grado di spiegare quantitativamente gli esperimenti di diffusione delle particelle alfa con l'ipotesi del nucleo atomico. Bohr, nel suo lavoro del 1913, così caratterizzerà il modello di Rutherford: "il prof. Rutherford ha proposto una teoria della struttura degli atomi. Secondo questa teoria, gli atomi consistono di un nucleo carico positivamente circondato da un sistema di elettroni tenuti assieme da forze attrattive verso il nucleo; la carica negativa totale degli elettroni è uguale alla carica positiva del nucleo. Inoltre, si assume che la parte essenziale della massa dell'atomo risieda nel nucleo, che ha dimensioni lineari estremamente piccole rispetto alle dimensioni lineari dell'atomo intero. Si deduce che il numero di elettroni in un atomo è approssimativamente uguale a metà del peso

atomico" (si noti come ancora agli inizi del 1913 non fosse chiaro il numero di elettroni dei singoli atomi).

Tutti i modelli atomici finora considerati si basavano strettamente sulla meccanica ed elettromagnetismo classici, ignorando gli sviluppi paralleli della teoria quantistica di Planck ed Einstein, che al tempo della prima conferenza Solvay (1911) appariva ormai consolidata nella trattazione di sempre maggiori fenomeni riguardanti la radiazione e la sua interazione con la materia.

Un primo tentativo di applicazione della teoria quantistica alla struttura atomica, è dovuto all'austriaco Arthur Erich Haas, che nel 1910 adattò il modello di Thomson alla descrizione dell'atomo di idrogeno, come composto da un unico elettrone (ipotesi allora non accettata universalmente) rotante sulla superficie della sfera positiva di raggio a ; detta ν la frequenza di rotazione, Haas quantizzò l'energia potenziale dell'elettrone come $E = e^2/a = h\nu$, ottenendo una determinazione del valore di h e della carica elettrica elementare e in termini di a e della massa dell'elettrone, utilizzando per ν la frequenza limite dello spettro sperimentale dell'idrogeno. Va osservato che il suo obiettivo non era impiegare la teoria dei quanti per giungere alla struttura dell'atomo, ma, all'opposto, di esprimere la costante di Planck in termini di quantità meccaniche.

Nello stesso anno Johannes Stark di Aachen suggerì atomi consistenti di elettroni e di un massiccio "ione atomico" (corrispondente all'atomo chimico) contenente un numero di quanti ("archioni") di carica positiva, e legò la frequenza dell'emissione spettrale delle molecole alla differenza di energia potenziale di due stati degli elettroni di valenza mediante la costante di Planck.

Nel 1911 John William Nicholson di Cambridge riprese un modello di tipo planetario-saturniano con un piccolissimo centro di elettricità positiva circondato da elettroni disposti in anelli di raggio fisso rotanti con una precisa frequenza; era convinto che la materia terrestre fosse evoluta a partire da forme più semplici ancora esistenti nel cosmo e da studiare con tecniche spettroscopiche. In nebulose e nella corona solare individuò quattro sub-elementi: il più semplice il "coronio" con due elettroni e di peso atomico 0,513, l'"idrogeno", il "nebulio", e il "protofluoro", con tre, quattro e cinque elettroni sullo stesso anello, rispettivamente, e di peso atomico 1,008, 1,628, and 2,362; in seguito aggiungerà il "proto-idrogeno" (un elettrone) e l'"arconio" (6 elettroni), precisando che i nuclei positivi degli elementi terrestri, formati da combinazioni di cariche positive e negative, risultano molto più complessi dei corrispondenti proto-elementi. La sua teoria portò ad analisi e previsioni spettroscopiche per numerose linee osservate nella corona solare e in nebulose, con buoni accordi coi dati sperimentali, ancorché dedotte da ipotesi discutibili. Nelle sue descrizioni degli spettri e per

determinare le dimensioni degli atomi, nel 1912 introdusse la costante di Planck per quantizzare il momento angolare (appunto delle dimensioni di un'azione) degli atomi semplici, variabile solo per multipli interi di $h/2\pi$. La teoria di Nicholson trovò molto interesse e resterà per alcuni anni un modello alternativo a quello di Bohr, finché gli spettri da lui attribuiti ai proto-elementi non si rivelarono generati da atomi "terrestri" fortemente eccitati.

In questo panorama, nella tarda primavera del 1912 Bohr decise di dedicarsi con tutta la sua forza e caparbia tenacia alla ricerca di una formulazione coerente della struttura atomica consistente con i dati empirici e basata sul modello nucleare di Rutherford.

2 Lo scienziato come giovane uomo

Niels Bohr, assieme a Einstein, è una figura emblematica della fisica e della cultura scientifica del secolo scorso: svolse un ruolo centrale nello sviluppo delle nostre conoscenze della natura e rivoluzionò lo stesso stile e organizzazione della ricerca, divenendo un punto di riferimento per la comunità scientifica mondiale dagli anni '20 alla sua morte. Inoltre egli fu più di altri coinvolto nei problemi umani posti dalla scienza nel suo impatto sulla società. Bohr era fortemente radicato nella cultura danese, ma aperto a ragionare su scala mondiale e sensibile ai maggiori problemi internazionali; di fatto impiegò la propria autorevolezza e fama a livello mondiale per sollecitare azioni concrete ai massimi livelli politici finalizzate a creare un mondo aperto, quale presupposto per una pace globale.

Nella primavera del 1913, alla vigilia dei lavori che daranno il via alla sua ascesa, il libero docente Bohr, assistente di Martin Knudsen presso il "Polytekniske Loereanstalt" di Copenhagen, si presenta come un fisico estremamente competitivo, ambizioso, determinato e un duro lavoratore. L'anno prima, quando la cattedra di fisica all'università era stata lasciata libera da Christian Christiansen, il neodottore Bohr aveva concorso per la sua assegnazione, ma gli era stato preferito il più anziano e titolato Knudsen.

Niels Hendrik David Bohr era nato il 7 ottobre 1885 in uno dei più bei palazzi di Copenhagen di proprietà della nonna materna Jenny Adler, vedova del ricco banchiere e uomo politico ebreo danese David Baruch; Niels era il secondo figlio del trentenne Christian Bohr e di Ellen Adler dopo la sorella Jenny e avrà un fratello un anno e mezzo più giovane, Harald, che diventerà un importante matematico e resterà una figura centrale nella vita dello stesso Niels. Christian Bohr con un dottorato in medicina aveva intrapreso la carriera universitaria, diventando professore di fisiologia (venne proposto due volte per il premio Nobel in medicina) e fu rettore dell'università di Copenhagen per il biennio 1905-06;

come professore aveva diritto a occupare l'ampio ed elegante appartamento professorale all'interno dell'università, e lì visse Niels fino al suo dottorato. I Bohr facevano parte delle famiglie patrizie danesi e Niels utilizzerà il potere e l'influenza derivanti da tale collocazione sociale per lo sviluppo delle istituzioni scientifiche e, nei momenti critici del secolo scorso, per aiutare persone in difficoltà; nei rapporti con i colleghi non fece pesare la propria classe sociale ma, pur restando sostanzialmente un uomo semplice, il senso di sicurezza derivante dall'ambiente della sua formazione gli permise di trattare direttamente e senza complessi anche con le massime autorità politiche mondiali (inclusi Churchill e Roosevelt).

La famiglia di Bohr non era religiosa ma i figli furono battezzati nella fede luterana prima di andare a scuola, perché non trovassero problemi nei rapporti con gli altri scolari e con gli insegnanti. I due fratelli rinunceranno all'appartenenza alla chiesa luterana prima dei loro matrimoni, celebrati con rito civile. Questioni religiose non avranno alcun peso nella vita e nel pensiero di Niels, attento invece a problemi filosofici e culturali in molti campi, con una predisposizione alla ricerca della complessità (il suo aforisma preferito era lo schilleriano "Nur die Fülle führt zur Klarheit"¹). Dai tempi del liceo partecipava alle discussioni fra i colleghi del padre, che si riunivano regolarmente in casa Bohr per proseguire i dibattiti iniziati nelle riunioni della "Videnskabernes Selskab" (l'Accademia Reale Danese) su questioni scientifiche e culturali. Assieme ad altri studenti di varie discipline aveva creato un gruppo di discussione su temi filosofici, che continuerà come associazione di ex-studenti, col nome di "Ekliptika".

Niels e il fratello erano molto sportivi, con particolare interesse per il calcio; fin dai tempi del liceo giocavano in squadre di primo piano, Niels in porta e Harald mediano; Harald partecipò alle olimpiadi di Londra (1908) con la nazionale danese che vinse la medaglia d'argento.

Come lui stesso dirà, il suo interesse per la fisica risale a prima del liceo, in gran parte per influenza del padre; nel 1903 iniziò gli studi di fisica all'università con Christiansen come docente principale, con astronomia, chimica e matematica come materie complementari. Niels raggiunse il grado di *magister scientiarum* nel dicembre 1909 con una tesi sull'applicazione della teoria dell'elettrone alla spiegazione delle proprietà fisiche dei metalli, un argomento estremamente avanzato che affrontò praticamente da solo; tema che svilupperà per la tesi di dottorato (dedicata alla memoria del padre, morto il 2 febbraio 1911) ottenuto nel maggio 1911.

Bohr si proponeva di estendere la teoria di Lorentz, che considerava il metallo come composto da ioni positivi immobili e da un gas di elettroni interagenti con gli ioni in urti

elastici e deduceva le proprietà termiche ed elettriche con tecniche di meccanica statistica. La trattazione dava conto di osservazioni empiriche ma presentava significative difficoltà e problemi insoliti, che Bohr voleva chiarire considerando forze elettrone-ione più generali, dipendenti dalla distanza relativa. Il lavoro si presenta esauriente ed erudito e manifesta il potere critico dell'autore, la sua padronanza della matematica e la sicura comprensione dei principi fisici coinvolti. Trovò e corresse vari errori delle trattazioni precedenti, ma non solo non riuscì a risolvere tutti i punti dubbi, ma mise in luce ulteriori paradossi; ciò gli fece intuire che la radice del problema stava nell'impiego della meccanica classica per trattare gli elettroni legati nell'atomo, e che fosse quindi necessario un suo superamento, probabilmente in qualche forma di teoria quantica alla Planck. È la prima occasione in cui Bohr fu portato a considerare la teoria dei quanti come possibile rimedio ai limiti della trattazione classica di un sistema materiale a livello microscopico.

3 L'esperienza inglese (1911-12)

Grazie a un finanziamento della Fondazione Carlsberg per un anno di studi all'estero, alla fine del settembre 1911 Niels si recò a Cambridge per iniziare una ricerca post-dottorato al Cavendish Laboratory, sotto la guida di Thomson, in quel periodo impegnato a riformulare tutta la fisica sulla base dell'esistenza dell'elettrone; Bohr a Cambridge ebbe modo di seguire corsi avanzati ma soprattutto di entrare in contatto con fisici di grande levatura, in uno dei principali centri di ricerca mondiali; il suo lavoro prevedeva uno studio sperimentale sui raggi catodici, che non riuscì a decollare, mentre il giovane danese, anche per difficoltà con la lingua, non riusciva a interagire utilmente con l'ambiente, e in particolare con Thomson, per consolidare il suo lavoro sulle proprietà dei metalli e poterlo poi pubblicare.

Nel mese di dicembre 1911 avvenne una svolta decisiva per il futuro scientifico di Bohr, quando incontrò Rutherford e decise di trasferirsi al suo laboratorio a Manchester, che costituiva il principale centro per la ricerca sperimentale sulla radioattività. Rutherford, neozelandese formatosi con Thomson, era vigoroso, estroverso, brillante, moderno, e, appena quarantenne, già un'indiscussa autorità scientifica mondiale. La personalità e lo stile di Rutherford influiranno notevolmente a forgiare in Bohr la sua futura natura di leader.

A Manchester dal marzo 1912, Bohr trovò grande disponibilità e una guida sicura in Rutherford e la collaborazione e amicizia di giovani ricercatori di altissimo livello, in particolare George Charles von Hevesy, un chimico-fisico di origine ungherese, futuro premio Nobel per la chimica per le applicazioni chimiche e biologiche degli isotopi radioattivi, Henry Gwin Jeffreys Moseley, impegnato nello studio dei raggi X (cadrà nel 1915 nella battaglia di

¹ Solo il molteplice porta alla chiarezza.

Suvla Bay a Gallipoli durante la prima guerra mondiale, l'anno in cui era stato candidato al premio Nobel), e Charles Galton Darwin (pronipote del grande naturalista), che aveva appena concluso un lavoro sulla perdita di energia della radiazione alfa nell'attraversamento della materia.

Bohr impiegò i primi mesi ad apprendere le basi della radioattività e a raffinare il suo lavoro sui metalli; sospese le previste ricerche sperimentali a causa della momentanea carenza di emanazione di radio e rinunciò definitivamente a occuparsi dei metalli (la redazione di una pubblicazione in inglese sull'argomento era risultata troppo complicata), ai primi di giugno informa il fratello di essere passato a un nuovo problema, che comunque coinvolgeva gli elettroni atomici: il perfezionamento della teoria di Darwin dell'assorbimento delle radiazioni alfa. Bohr comprese che i limiti di tale teoria erano dovuti al considerare liberi gli elettroni atomici interagenti con le alfa, trascurando il loro legame col nucleo; Bohr invece li descrisse come "oscillatori atomici", legati al nucleo da forze elastiche e, anticipazione importante dell'evoluzione del suo pensiero, impose dei vincoli quantistici: "secondo la teoria della radiazione di Planck [...] la minima quantità di energia che possa venir emessa da un oscillatore di frequenza ν è $h\nu$ " (Bohr chiama h la costante di Planck).

Va osservato che mentre a Manchester negli studi di diffusione delle alfa si trascurava la presenza degli elettroni e per il loro assorbimento non si considerava l'esistenza del nucleo (approssimazioni corrette, ma che sottolineavano la limitata portata attribuita al modello nucleare), Bohr riteneva cruciale considerare l'atomo nella completezza della sua struttura, come proposta dal modello di Rutherford.

Nel suo lavoro sull'interazione fra raggi alfa ed elettroni, Bohr si rese così conto dell'instabilità meccanica del modello, già causa dell'abbandono del modello di Nagaoka, ma ignota a Rutherford e ai suoi collaboratori, che, d'altra parte, trattavano separatamente il nucleo e gli elettroni. Un ulteriore limite del modello notato da Bohr è la mancanza di una qualsiasi indicazione per l'estensione spaziale dell'atomo.

Da Hevesy Bohr apprese l'esistenza di più sostanze radioattive di quanti siano gli elementi della tavola periodica, ossia degli isotopi atomici (termine che sarà introdotto nel 1913 da Frederick Soddy) caratterizzati da identiche proprietà chimiche ma diversa massa atomica. Bohr immediatamente colse nel modello di Rutherford la possibilità di una netta distinzione fra fenomeni chimici e fenomeni intra-nucleari: "fui rapidamente assorbito nelle implicazioni teoriche generali del nuovo modello atomico e specialmente nella possibilità che esso offriva di una netta distinzione delle proprietà chimiche e fisiche della materia tra quelle direttamente originate nel nucleo atomico stesso e quelle dipendenti primariamente dalla distribuzione degli elettroni legati a distanze molto grandi rispetto alle dimensioni

nucleari. Mentre la spiegazione delle disintegrazioni radioattive doveva essere cercata nella costituzione intrinseca del nucleo, era evidente che le ordinarie caratteristiche fisiche e chimiche degli elementi manifestavano proprietà del sistema degli elettroni circondanti il nucleo. Era immediatamente chiaro che, data la grande massa del nucleo e la sua piccola estensione confrontata con quella di tutto l'atomo, la costituzione del sistema elettronico dovrebbe dipendere quasi esclusivamente dalla carica elettrica totale del nucleo. Tali considerazioni suggerivano immediatamente la prospettiva di basare il computo delle proprietà chimiche e fisiche di ogni elemento su un singolo numero intero, ora generalmente noto come numero atomico, esprimente la carica nucleare come multiplo dell'unità elementare di elettricità".

Bohr suggerì quindi che l'ordinamento degli elementi nella tavola periodica corrispondesse al numero Z di elettroni e che gli elementi "elettronicamente equivalenti" fossero atomi con lo stesso Z (e quindi con nuclei con la stessa carica elettrica Ze) e differente massa atomica A ; dedusse in modo logicamente cogente le leggi dello spostamento radioattivo, (anticipando lo stesso Soddy), dato che si sapeva che le radiazioni alfa avevano carica elettrica $Z = 2e$ e quelle beta $Z = -e$; come Bohr racconterà in seguito, "la conclusione più immediata è che l'elemento, a seguito del decadimento radioattivo, [...] si sposta nella tavola periodica degli elementi di due posizioni verso il basso o di una verso l'alto a seconda si abbia una diminuzione o un aumento della carica nucleare, cioè emissione di raggi alfa o beta rispettivamente". Bohr sottopose a Rutherford questa sua proposta, sottolineando come tale spiegazione dei processi radioattivi costituiva un potente elemento a sostegno del suo stesso modello atomico, ma Rutherford lo dissuase dalla pubblicazione: "quando mi rivolsi a Rutherford per conoscere le sue reazioni a tali idee, egli espresse, come sempre, vivo interesse in ogni promettente semplicità, ma con caratteristica cautela mise in guardia contro il pericolo di sovra-enfatizzare la portata del modello atomico ed estrapolare da evidenze sperimentali comparativamente magre". Rutherford, oltre alla cautela con cui considerava il suo modello, era ancora dell'opinione corrente che la radioattività non fosse completamente di origine nucleare.

Il 24 luglio 1912 Bohr era rientrato a Copenhagen, e, dopo il matrimonio con Margrethe Nørlund (3 agosto), nel suo viaggio di nozze, il 12 agosto, era di nuovo da Rutherford per consegnare il suo lavoro sul rallentamento delle particelle alfa. I mesi passati a Manchester risulteranno fondamentali per la sua formazione e il suo lavoro, al di là dei contatti e delle acquisizioni scientifiche: vi aveva trovato un'atmosfera congeniale per la sua natura sensibile, e in tale atmosfera aveva potuto concentrarsi efficacemente su un tema di amplissimo respiro in un dominio assolutamente vergine.

4 Il programma di Bohr sulla questione atomica

Bohr ormai aveva individuato come suo obiettivo scientifico la definizione di una piena e consistente teoria della struttura atomica (un programma in un certo senso analogo a quello di Thomson) portando alle estreme conseguenze il modello di Rutherford, che con la sua instabilità, derivante inevitabilmente dalla meccanica e dall'elettrodinamica classiche, creava una contraddizione così acuta con l'evidenza chimica e fisica della stabilità delle strutture atomiche e molecolari. Tali difficoltà attirarono l'attenzione di Bohr, che, era già convinto che per spiegare i fenomeni atomici fosse necessario un allontanamento radicale dalle concezioni classiche. Accertato che la stabilità dell'atomo di Rutherford era al di là delle teorie classiche, la situazione si semplificava considerevolmente dato che egli così poteva prenderla per garantita senza ulteriori analisi e procedere a svelare le conseguenze ulteriori del modello.

Bohr, nella sua conferenza in occasione del premio Nobel (1922), illustra questo punto con un'analogia astronomica: "data la straordinaria somiglianza del modello atomico a un sistema planetario, quale il nostro Sistema Solare, proprio come la semplicità delle leggi che governano i moti del Sistema Solare è intimamente connessa con il fatto che le dimensioni dei corpi che si muovono sono piccole rispetto alle orbite, così le corrispondenti relazioni nella struttura atomica ci forniscono la spiegazione degli aspetti essenziali dei fenomeni naturali che dipendono dalle proprietà degli elementi." L'analogia fra un sistema planetario e il modello atomico permette di individuare immediatamente differenze essenziali fra i due sistemi e il punto specifico di demarcazione fra la meccanica classica e la nuova meccanica atomica ancora da scoprire. "I moti dei corpi in un sistema planetario, anche se obbediscono alla legge generale di gravitazione, non saranno completamente determinati da questa legge da sola, ma dipenderanno in larga parte dalla storia precedente del sistema [...] Se un giorno un corpo estraneo abbastanza grande dovesse attraversare il nostro Sistema Solare, noi dovremo aspettarci fra gli altri effetti che da quel giorno la lunghezza dell'anno sia differente dal valore attuale. Nel caso degli atomi la situazione è completamente diversa. Le proprietà definite e immutabili degli elementi richiedono che lo stato di un atomo non possa subire cambiamenti permanenti a causa di azioni esterne. Non appena l'atomo è lasciato di nuovo a se stesso, le sue particelle costituenti devono muoversi in un modo che è completamente determinato dalle cariche elettriche e dalle masse delle particelle. Di ciò troviamo l'evidenza più convincente negli spettri, ossia nelle proprietà della radiazione emessa dalle sostanze in alcune circostanze, che possono essere studiate con grandissima precisione [...] e che sono sempre esattamente le stesse, entro i limiti dell'errore sperimentale, e del tutto indipendenti dal

precedente trattamento delle sostanze."

Nella ricerca di concetti alternativi su cui costruire la nuova meccanica non si doveva guardare lontano: come Bohr dirà nella Conferenza Faraday "la scoperta fondamentale di Planck del quanto elementare d'azione [...] aveva svelato un nuovo aspetto di atomicità nelle leggi naturali [...] L'insufficienza dei concetti classici per render conto delle reazioni atomiche era dovuta proprio al fatto che un'analisi dettagliata dei moti infra-atomici avrebbe implicato la considerazione di tratti di percorso elettronici per cui l'azione è dello stesso ordine di grandezza del quanto, o anche inferiore. Certamente i due aspetti fondamentali di atomicità, simbolizzati dai quanti di elettricità e di azione, sono intimamente connessi".

In un promemoria a Rutherford (giugno 1912) Bohr ricorre quindi a un'imposizione quantistica per stabilizzare le orbite elettroniche e fissarne la dimensione: un elettrone rimane stabile solo se energia cinetica E e frequenza orbitale ν sono legate dalla relazione $E/\nu = K$, con la costante K strettamente collegata al quanto d'azione h , ma non necessariamente coincidente con h ; nella lettera a von Hevesey del 7 febbraio 1913 prima scrive $E = h \nu$ ma poi osserva che questa relazione va corretta per un fattore numerico "in conformità con quanto ci si deve attendere da considerazioni teoriche [...] Questa ipotesi, per cui non verrà dato alcun tentativo di fondamento meccanico (poiché sembra senza speranza) è scelta perché è l'unica che sembra offrire la possibilità di una spiegazione globale della varietà di risultati sperimentali che si stanno infittendo e sembra confermare le concezioni del meccanismo della radiazione, quali quelle proposte da Planck ed Einstein".

Va osservato che Bohr, non essendo al corrente del lavoro di Haas, non ha precedenti cui rifarsi nella scelta del vincolo quantistico per un sistema materiale come l'atomo, per il quale non poteva ritenere immediatamente valide le condizioni introdotte da Planck per la radiazione.

A questo punto Bohr traccia il suo programma di costruzione degli atomi e delle molecole, aggiungendo via via un elettrone all'orbita più esterna e un'unità di carica positiva al nucleo (per cui usa l'espressione tedesca "Kern"), senza la necessità di modificare le orbite interne (a differenza di Thomson), consistentemente con la sua intuizione che le proprietà chimiche dipendono solo dagli elettroni più esterni ("elettroni di valenza"); trova (erroneamente) che un'orbita stabile può avere al massimo sette elettroni, e quindi un legame con la periodicità della tavola degli elementi. Come prima applicazione considera la struttura della molecola d'idrogeno (schematizzata come composta da due nuclei e da due elettroni ruotanti sulla stessa orbita a spiegare il legame molecolare) e, imposta la condizione d'equilibrio fra l'interazione coulombiana e la forza centrifuga del moto orbitale, esprime energia, frequenza e dimensione in termini della costante universale K , per cui trova, sulla base dei valori

sperimentali delle costanti atomiche, un valore prossimo a 0,6 h; particolarmente importante per gli sviluppi successivi l'espressione dell'energia

$$E = \frac{\pi^2 m e^4 X^2}{2K^2},$$

ove X vale 1 per l'atomo d'idrogeno, 1,049 per la molecola d'idrogeno e 1,75 per la molecola di elio.

Fornisce poi modelli per altre molecole, trovando, fra l'altro una dimostrazione teorica del fatto che in natura non può esistere libera una molecola biatomica di elio. Il suo programma prevedeva la totalità delle questioni atomiche: il volume atomico e la sua variazione con la valenza, la periodicità del sistema degli elementi, le condizioni della combinazione di atomi in molecole, le energie di eccitazione di raggi X caratteristici, la dispersione, il magnetismo e la radioattività.

5 Bohr e lo spettro dell'idrogeno

Bohr nel memorandum per Rutherford non aveva affatto considerato gli spettri e il suo progetto sulla struttura atomica non includeva gli aspetti legati all'emissione e assorbimento della radiazione, nonostante fosse acquisita la stretta relazione fra struttura interna della materia e i segnali spettrali, in una tradizione che risaliva a Newton, che in appendice alla "Opticks" si chiedeva: "Tutti i corpi, se riscaldati oltre un certo grado, emettono luce e risplendono? E l'emissione è forse dovuta ai moti vibratorii delle loro parti?"

Con la scoperta dell'elettrone divenne ragionevole collegare gli spettri a moti infra-atomici degli elettroni: l'opinione corrente, sulla base dell'elettrodinamica, riteneva che la linea spettrale di una data frequenza dovesse essere generata da una carica vibrante alla stessa frequenza; solo atomi ionizzati erano considerati responsabili degli spettri, generati quando l'elettrone ritornando alla sua orbita iniziale fa vibrare gli elettroni nelle orbite più alte alla loro frequenza di risonanza.

Bohr ancora nel gennaio 1913 (lettera a Rutherford) e ai primi di febbraio (lettera a Hevesy) non prevedeva di occuparsi di spettri, ritenendoli troppo complicati per servire da guida nello studio degli atomi. A sollecitare la sua attenzione alla spettroscopia furono i successi ottenuti da Nicholson con un modello analogo a quello nucleare e condizioni di quantizzazione equivalenti a quelle di Bohr, dato che i valori ottenuti per l'idrogeno nei due casi portavano a grandi discrepanze. Il confronto critico dei risultati di Nicholson con i suoi porta Bohr a uno sviluppo cruciale per la sua teoria: si convince infatti che la differenza è dovuta al fatto che "lo stato del sistema considerato nei miei calcoli va identificato con quello degli atomi nel loro stato permanente (naturale)[...] mentre gli stati del sistema

considerati da Nicholson al contrario sono di natura meno stabile".

Ciò suggerisce a Bohr di dotare il suo atomo di una serie di livelli energetici ammissibili, di energie $E = \tau K v$ per valori crescenti di $\tau = 1, 2, \dots$ (o più in generale $E = f(\tau) K v$, con $f(\tau)$ funzione da scoprire): allora la propria teoria può riguardare sia lo stato "naturale" con $\tau = 1$, sia gli stati altamente eccitati di Nicholson, con τ molto grande. L'introduzione degli stati atomici eccitati porterà rapidamente Bohr vicino alla versione finale del suo atomo.

In tempi rapidissimi Bohr si impadronì del nuovo campo e il successivo 6 marzo fu in grado di trasmettere a Rutherford la prima parte completa del suo lavoro, la chiave di volta del quale è appunto l'interpretazione dello spettro dell'idrogeno.

Bohr in una conversazione con Rosenfeld (1954) ricordò come un suo amico spettroscopista, Hans Marius Hansen, assistente al laboratorio fisico del politecnico, attrasse la sua attenzione sulla grande semplicità con cui le serie spettrali erano rappresentate da Gustav Robert Rydberg, con formule in grado di esprimere leggi generali. Una formula particolarmente semplice è quella espressa per lo spettro visibile dell'idrogeno (vedi fig. 3) nel 1885 da Johann Jacob Balmer (un professore di Basilea), per collegare le 4 frequenze scoperte da Anders Jonas Ångström; in termini di numeri d'onda ($\sigma = 1/\lambda$, con λ lunghezza d'onda) la formula risulta

$$\sigma_n = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{con } n = 3, 4, 5, 6.$$

Balmer trovò per la costante R (costante di Rydberg) un valore che presenta un errore inferiore a 0,1% rispetto alla determinazione attuale ($10967758,1 \pm 8 \text{ m}^{-1}$); la formula si dimostrò immediatamente valida per altre righe trovate in osservazioni astronomiche, corrispondenti a valori di n fino a 15. Ai tempi di Bohr erano note 33 righe della serie e altre due serie sempre dell'idrogeno, quella di Theodore Lyman nell'ultravioletto (1906) e quella nell'infrarosso di Friedrich Paschen (1908) corrispondenti alla formula generale

$$\sigma_{m,n} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{con } n = 4, 5, 6, 7, 8$$

con $m = 1$ e $m = 3$, rispettivamente.

In seguito Bohr ebbe a dire: "Appena vidi la formula di Balmer, il quadro completo mi fu immediatamente chiaro". Leon Rosenfeld, che conosceva intimamente Bohr e il suo modo di ragionare, suggerisce che Bohr, intuito che "la struttura della formula di Balmer impone di concepire il meccanismo dell'emissione radiativa come una transizione fra due stati stazionari, i cui aspetti quantitativi sono fissati nelle modalità indicate dal postulato quantico [...] Posso vividamente immaginare cosa successe poi: egli avrebbe pazientemente rigirato la formula di Balmer nella sua mente, come (per dire) un geologo rigirerebbe una pietra



Fig. 3 La serie di Balmer dello spettro dell'idrogeno: le prime quattro righe si trovano nel visibile alle lunghezze d'onda (in nanometri): H_{α} , 656,3; H_{β} , 486,1; H_{γ} , 434,1 e H_{δ} , 410,2; le altre nell'ultravioletto col valore limite a H_{∞} , 364,6 nm.

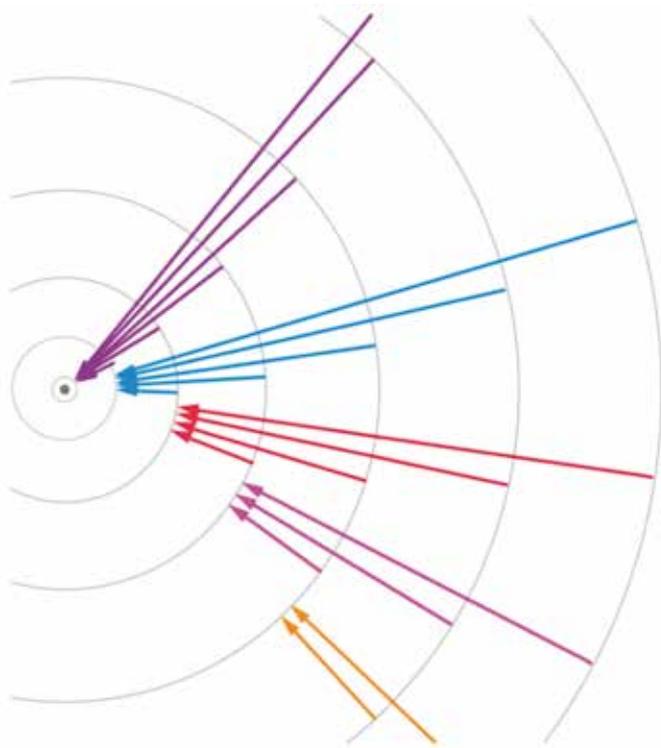
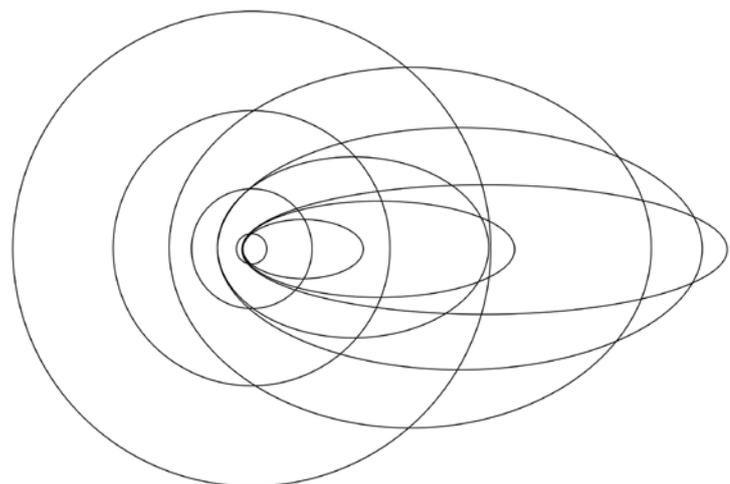


Fig. 4 Rappresentazione schematica dei primi stati stazionari dell'idrogeno rappresentati da orbite circolari, come nel primo lavoro Bohr, e delle serie spettrali di Lyman (colore violetto) nell'ultravioletto, verso lo stato con indice 1, di Balmer (azzurro) nel visibile, allo stato con indice 2, di Paschen (colore rosso) nell'infrarosso, allo stato con indice 3, di Brackett (colore fucsia) nell'infrarosso, allo stato con indice 4, e di Pfund (colore ocra) nell'infrarosso, allo stato con indice 5.

Fig. 5 Rappresentazione degli stati stazionari dell'idrogeno mediante orbite circolari ed ellittiche.



fra le sue dita, osservandola da ogni angolatura, scrutando tutti i dettagli della sua struttura, tentando vari approcci, analizzando in modo critico la necessità logica di ogni passo da lui stesso fatto; con una rapida occhiata avrebbe esplorato le sue conseguenze sottoponendole alle prove sperimentali."

Bohr collega la frequenza $\nu_{m,n} = c \sigma_{m,n}$ di una riga spettrale all'energia della radiazione emessa mediante la relazione di Planck ottenendo la formula di Bohr-Balmer

$$E_{m,n} = h\nu_{m,n} = hc\sigma_{m,n} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{con } n > m.$$

La formula suggerisce un'immediata analogia con l'espressione dell'energia dell'idrogeno trovata nel promemoria del 1912, in particolare una volta riscritta per gli stati stazionari tenendo conto della nuova relazione $E = f(\tau) K\nu$,

$$E(\tau, K) = \frac{\pi^2 m e^4}{2f(\tau)^2 K^2},$$

data la dipendenza quadratica inversa del termine corrente da n in un caso e K nell'altro. L'analogia nasconde una differenza fondamentale della natura della frequenza nei due casi: in un caso si tratta della frequenza della radiazione emessa dall'idrogeno e dall'altra della frequenza del moto orbitale di un livello ammissibile.

A questo punto, in assenza di una teoria quantistica generale, Bohr per la descrizione quantistica degli atomi introdusse due postulati, che nella sua conferenza in occasione del premio Nobel formulò "come segue:

1. Fra gli stati di moto possibili in un sistema atomico esiste un certo numero [discreto] di cosiddetti stati stazionari, i quali, nonostante che il moto delle particelle in questi stati obbedisca in larga parte alle leggi della meccanica classica, possiedono una stabilità peculiare, non spiegabile meccanicamente, di natura tale che ogni cambiamento permanente del moto del sistema debba consistere in una transizione completa da uno stato stazionario all'altro.
2. Mentre, in contraddizione con la teoria elettromagnetica classica, non vi è radiazione dall'atomo negli stati stazionari, un processo di transizione fra due stati stazionari può essere accompagnato da emissione di radiazione elettromagnetica, che avrà le stesse proprietà di quella che sarebbe emessa secondo la teoria classica da una particella carica elettricamente che esegue una vibrazione armonica con frequenza costante. Questa frequenza ν non ha alcuna relazione semplice con il moto delle particelle dell'atomo, ma è data dalla relazione

$$h\nu = E' - E'',$$

dove h è la costante di Planck ed E' ed E'' sono i valori di energia dell'atomo nei due stati stazionari che formano lo stato iniziale e finale del processo radiativo."

I postulati di Bohr erano audaci, e alla maggioranza dei fisici del tempo dovette apparire quasi inimmaginabile che la radiazione emessa o assorbita da un atomo non dovesse coincidere con alcuna frequenza dei suoi movimenti interni e che il processo potesse avvenire anche senza ionizzazione. Inoltre, l'eliminazione di oscillatori elementari imponeva una revisione della teoria della radiazione di Planck, alla base della stessa teoria dei quanti. Bohr era pienamente consapevole che questo punto era il più eretico delle sue assunzioni e lo mette chiaramente in evidenza nel lavoro.

Le ipotesi di Bohr rendono ragione della struttura discreta degli spettri (vedi fig. 4), motivata dal fatto che gli stati atomici ammissibili sono discreti (vedi fig. 5). Con la scelta esplicita $\tau h/2 = f(\tau) K\nu$ per l'energia dello stato corrispondente all'indice τ , la formula di Bohr-Balmer esprime l'energia della radiazione emessa nella transizione dallo stato con $\tau = n$ allo stato con $\tau = m$ e per la costante di Rydberg nel caso di atomi idrogenoidi (ioni di nuclei con carica Z e con un solo elettrone) ottiene immediatamente

$$R_Z = \frac{2\pi^2 m e^4 Z}{h^3},$$

che nel caso dell'idrogeno ($Z = 1$) con i valori allora disponibili delle costanti elettroniche differisce dal valore noto di R meno del 7%. La generalizzazione della formula al caso $Z = 2$ permetterà a Bohr di assegnare correttamente all'elio ionizzato le righe dello spettro trovate da Charles Pickering (1896), attribuite all'idrogeno ma discordanti con la formula di Balmer.

Il punto cruciale per Bohr rimane quello di trovare una motivazione per la sua scelta arbitraria per la quantizzazione dell'energia degli stati stazionari; nel corso del 1913 darà tre derivazioni differenti, due nella prima parte del lavoro e una in un articolo presentato alla "Fysik Forening" il 20 dicembre. La prima si muove nell'ambito della teoria della radiazione di Planck, con una stretta analogia ai suoi oscillatori e accettando la costruzione degli stati stazionari a partire da atomi ionizzati, per ottenere la condizione di quantizzazione e successivamente derivare (in modo imperfetto) la formula di Balmer e la costante di Rydberg; Bohr si rese conto dell'incompatibilità della teoria di Planck con il suo modello di emissione e ribalterà l'approccio, accettando come dato empirico la formula di Balmer, che assieme al suo secondo postulato dà l'energia degli stati stazionari in funzione di R . Per determinare l'espressione teorica della costante di Rydberg considera l'emissione fra due stati vicini corrispondenti ad alti valore di τ , per cui la frequenza di emissione vale approssimativamente

$$\nu = R [(\tau - 1)^{-2} - \tau^{-2}] \sim 2R/\tau^3$$

e quindi è estremamente bassa; Bohr introduce a questo

punto un nuovo postulato, che evolverà nel principio di corrispondenza: in tali condizioni si può ricorrere alla fisica classica e uguagliare la frequenza della radiazione con quella meccanica dell'orbita dell'elettrone nel campo elettrico del nucleo, in analogia al fatto che per basse frequenze anche la formula di Planck si riconduce all'espressione classica di Rayleigh-Einstein-Jeans. In questo modo ottiene l'espressione di R , senza procedere ad alcuna ipotesi per la quantizzazione degli stati stazionari.

Il principio di corrispondenza, che stabilisce il legame concettuale e operativo fra la meccanica classica e la teoria quantistica, rielaborato in termini generali diverrà uno dei concetti fondamentali della teoria dei quanti.

Nelle parti II e III del lavoro Bohr sviluppa i temi indicati nel suo memorandum del 1912: la struttura degli atomi multi-elettronici, la periodicità del sistema degli elementi e la struttura delle molecole. In questi lavori si limita alla caratterizzazione dello stato fondamentale e rinuncia, per la loro complessità, ad analisi spettroscopiche, ma enuncia l'estensione a ogni sistema atomico e molecolare dei suoi due postulati sugli stati ammissibili e l'emissione di radiazione. In queste due parti Bohr non ha a disposizione criteri universali di quantizzazione per cui deve ricorrere a varie informazioni sperimentali e ipotesi forzate; ottiene dei risultati corretti (fra cui una cogente motivazione per attribuire il decadimento beta unicamente a processi nucleari, l'interpretazione del processo alla base dei raggi X, il legame molecolare omopolare) ma anche soluzioni errate; l'importanza delle sue intuizioni in questi contesti sta soprattutto nell'aver indicato un programma di ricerca che impegnerà la comunità dei fisici atomici e molecolari negli anni successivi.

Nel dimostrare il loro interesse nella teoria di Bohr, Rutherford ed Einstein subito notarono, accanto al distacco dalla formulazione classica, anche la messa in questione dei presupposti alla base della ricerca fisica: la mancanza di un preciso nesso causale nel passaggio da uno stato stazionario a un altro e l'incompletezza della descrizione della radiazione emessa. Questi problemi segnalano la necessità di una profonda rifondazione concettuale della fisica per poter inquadrare correttamente le proprietà del

microcosmo, rifondazione che sarà fornita nel decennio successivo dalla meccanica quantistica, che comporta la rinuncia al determinismo e alla conoscenza completa di tutte le osservabili microscopiche, come implicato dai principi di indeterminazione e di complementarità. E l'attenta guida di Bohr sarà cruciale nella definizione e sviluppo del nuovo quadro concettuale e delle sue conseguenze per tutta la scienza.

Fonti Bibliografiche:

- N. Bohr, "On the Constitution of Atoms and Molecules", *Philos. Mag.*, ser. 6, 26 (1913) 1-25 (Part I), 476-502 (Part II), 857-875 (Part III).
- N. Bohr, "The Structure of the Atom" (1922), tr. ingl. *Nature*, CXII (1923) 29-44.
- N. Bohr, "Chemistry and the Quantum Theory of Atomic Constitution, Faraday Lecture May 8th 1930", *J. Chem. Soc.*, parte I (1932) 349-384.
- N. Bohr, "The Rutherford Memorial Lecture 1958. Reminiscences of the Founder of Nuclear Science and of Some Developments Based on his Work", *Proc. Phys. Soc.*, 78, n. 6 (1961) 1083-1115.
- C. G. Darwin, "The Discovery of Atomic Number in Niels Bohr and the Development of Physics", a cura di W. Pauli (Pergamon Press, Londra) 1955.
- J. L. Heilbron, "Lectures in the History of Atomic Physics 1900-1922", in *Rendiconti della Scuola Internazionale di Fisica Enrico Fermi*, corso LVII, "Storia della Fisica del XX secolo", a cura di C. Weiner (Academic Press, New York) 1977.
- J. L. Heilbron and T. S. Kuhn, "The genesis of the Bohr atom, Historical Studies", *Phys. Sci.*, 1 (1969) 211-290.
- H. Kragh, "Resisting the Bohr Atom: The Early British Opposition", *Phys. Perspect.*, 13 (2011) 4-35.
- H. Kragh, "Niels Bohr and the Quantum Atom: The Bohr Model of Atomic Structure 1913-1925" (Oxford University Press, Oxford) 2012.
- T. S. Kuhn, "Alle origini della fisica contemporanea. La teoria del corpo nero e la discontinuità quantica", (1978), tr. it. (Il Mulino, Bologna) 1981.
- P. Langevin et M. de Broglie, (Editors), "La Théorie du Rayonnement et les Quanta: Rapports et discussions de la réunion tenue a Bruxelles, du 30 octobre au 3 novembre 1911" (Gauthier-Villars, Parigi) 1912.
- A. Pais, "Il danese tranquillo, Niels Bohr, un fisico e il suo tempo 1885-1962", (1991) tr. it. (Bollati Boringhieri, Torino) 1993.
- M. Planck, "The Genesis and Present State of Development of the Quantum Theory (1920)", tr. ing. in *Nobel Lecture in Physics 1901-1921* (Elsevier, Amsterdam) 1967.
- L. Rosenfeld, Introduction, in N. Bohr, "On the Constitution of Atoms and Molecules" (Munksgaard, Copenhagen) 1963.
- V. F. Weisskopf, "Niels Bohr, the Quantum and the World (1967)", *Physics in the Twentieth Century: Selected Essays* (The M.I.T. Press, Cambridge, Mass) 1972.

Alessandro Pascolini

Alessandro Pascolini è Professore Associato di Fisica Teorica all'Università di Padova, ove insegna anche un corso di "Scienza per la Pace" e dirige il master in Comunicazione delle Scienze. È membro del Consiglio Direttivo del Centro Diritti Umani dell'ateneo patavino, partecipa alle Pugwash Conferences on Science and World Affairs ed è vicepresidente dell'International School on Disarmament and Arms Control.

I suoi interessi di ricerca riguardano la Fisica Nucleare Teorica, la Storia della Fisica e le Tecnologie Militari e loro controllo. Si dedica ad attività di promozione della cultura scientifica in Italia e in Europa, in particolare realizzando mostre e producendo audiovisivi. La Società Europea di Fisica gli ha conferito il premio 2004 per la divulgazione scientifica.



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

XCIX CONGRESSO NAZIONALE

Trieste, 23 - 27 Settembre 2013



PROGRAMMA GENERALE DEL CONGRESSO

<http://congresso.sif.it/>

Lunedì 23 Settembre

- 9:00–11:00 Cerimonia di Inaugurazione, Saluti Autorità, Introduzione del Presidente, Premiazioni:
- Medaglie ai Soci Benemeriti della SIF
 - Premi per le Migliori Comunicazioni al Congresso Nazionale di Napoli 2012
 - Premi per giovani laureati in Fisica dopo il maggio 2006 e dopo il maggio 2010
 - Premio “Giuliano Preparata”
 - Premio “Emiliano Sali”
 - Premio “Luigi Giulotto”
 - Borsa “Ettore Pancini”
 - Premio per l’Outreach
 - Premio “Guglielmo Marconi”
 - Premio per la Didattica o Storia della Fisica
 - Premio “Giuseppe Occhialini” SIF-IOP (Institute of Physics)
 - **Premio “Enrico Fermi”**
- 11:00–12:00 Relazione Generale Speciale - Centenario Bruno Pontecorvo
V.A. MATVEEV (Dubna and Moscow, Russia): *Legacy of Bruno Pontecorvo and research perspectives at JINR.*
- 12:00–13:00 Relazione Generale Sezione III (Fisica astroparticellare, astrofisica e cosmologia):
P. DE BERNARDIS (Roma): *2013 results from the Planck satellite, and beyond.*
- 14:30 16:00 Relazioni Generali Sezione I (Fisica nucleare e subnucleare) Speciale LHC
F. GIANOTTI (Geneva, Switzerland): *Higgs boson in ATLAS: most recent results and their implications.*
G. TONELLI (Pisa e Geneva, Switzerland): *Bosone di Higgs: risultati recenti di CMS.*
- 16:00–19:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni

Martedì 24 Settembre

- 9:00–13:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 14:00–15:00 Relazione Generale Sezione II (Fisica della materia):
P.B. LITTLEWOOD (Argonne and Chicago, USA): *Polariton condensation.*
- 15:00–17:00 Tavola Rotonda: *Scienza e società: la ricerca fondamentale impegnata nel trasferimento tecnologico.*
Moderatore: S. FALCIANO (Vicepresidente Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Roma)
Interventi di:
- S. FALCIANO:
Introduzione.
 - L. CIFARELLI (Presidente SIF, Bologna):
L’impatto della Fisica sull’economia europea.
 - A. SANGIOVANNI-VINCENTELLI (Berkeley, USA):
Buona pratica di trasferimento tecnologico: una storia di successo.
 - M. FERMEGLIA (Rettore Università di Trieste):
Il trasferimento tecnologico nell’Accademia.
 - C. RIZZUTO (Presidente Sincrotrone Trieste):
Il trasferimento tecnologico nella Ricerca Pubblica.
 - S. CENTRO (Padova):
Strumenti per il trasferimento tecnologico.
 - N. AMODIO (Confindustria, Dirigente Area di Ricerca, Innovazione e Education, Roma):
La visione dell’industria riguardo la collaborazione con Accademia e Ricerca.
 - R. SIGARI (Presidente e CEO Eurotech, Udine):
Per un trasferimento tecnologico a forte impatto economico e sociale: ripensando

PROGRAMMA GENERALE DEL CONGRESSO

17:00–19:00 Assemblea Generale dei Soci della SIF

Ordine del giorno:

- 1) Approvazione dell'ordine del giorno.
- 2) Approvazione del verbale dell'Assemblea Generale dei Soci del 18 Settembre 2012.
- 3) Relazione del Presidente.
- 4) Relazioni del Collegio dei Revisori dei Conti e approvazione dei bilanci consuntivi 2012.
- 5) Ratifica e nomina dei Revisori dei Conti.
- 6) Discussione e approvazione della Relazione del Presidente.
- 7) Open access nell'editoria scientifica.
- 8) Nuove iniziative di outreach della SIF.
- 9) Varie ed eventuali.

Mercoledì 25 Settembre

9:00–10:00 Assemblea Elettorale

10:00 Apertura del Seggio Elettorale

10:00 12:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni

12:00–13:00 Relazione Generale Sezione VIIa (Fisica degli acceleratori):
M. PULLIA (Pavia): *Acceleratori per adroterapia: il CNAO.*

14:00–15:00 Relazione Generale Sezione IVa (Geofisica, fisica dell'ambiente e oceanografia fisica):
A. BIZZARRI (Bologna): *Physical processes occurring during an earthquake: what can we learn from models of seismic sources?*

15:00–16:00 Relazione Generale Sezione Va (Fisica applicata):
A. CATTAI (Geneva, Switzerland): *Tecnologie per i rivelatori futuri e loro applicazioni.*

16:00–19:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni

20:30 Cena Sociale

Giovedì 26 Settembre

9:00–10:00 Relazione Generale Sezione I (Fisica nucleare e subnucleare):
P. ROSSI (Newport News, USA e Frascati, RM): *Jefferson Lab: a journey from quarks to matter and beyond.*
Relazione Generale sponsorizzata da EPJ 

10:00–12:00 SISSA Honorary PhD Degree to Peter Higgs.

12:00–13:00 Relazione Generale Sezione Vb (Fisica per i beni culturali):
E. LEHMANN (Villigen, Switzerland): *Contribution to the knowledge about cultural heritage objects by means of neutron and X-ray investigations.*

14:00–15:00 Relazione Generale Sezione II (Fisica della materia):
R. BENZI (Roma): *Solved and open questions in turbulence.*

15:00–19:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni

Venerdì 27 Settembre

9:00–12:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni

10:00 Chiusura del seggio elettorale

12:00–13:00 Relazione Generale Sezione IVb (Biofisica e fisica medica):
A. OLIVO (London, UK): *Sviluppo delle tecnologie a contrasto di fase per applicazioni mediche e biologiche - dai sincrotroni alle sorgenti X convenzionali.*

14:00 15:00 Relazione Generale Sezione VI (Fisica generale, didattica e storia della fisica):
H. KRAGH (Aarhus, Denmark): *Aspects of Niels Bohr's 1913 theory of atoms and molecules.*

15:00–19:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni

19.00 Assemblea di ratifica e proclamazione degli eletti

ALBA, THE SPANISH LIGHT SOURCE

CATERINA BISCARI, SALVADOR FERRER,
GASTÓN GARCÍA, INMACULADA RAMOS
CELLS-ALBA*, Cerdanyola del Vallès, Barcelona, Spain

ALBA is the Spanish 3rd-generation synchrotron light source, located in Cerdanyola del Vallès, near Barcelona, recently come into operation with seven Phase-I Beamlines. The e^- beam energy is 3 GeV, and the photon energy available in these first beamlines ranges from UV up to hard X-ray of tens of keV. Different techniques of synchrotron radiation utilization are available including diffraction, spectroscopies and imaging. We will describe the project, its history, present status and future perspectives.

1 Introduction

Synchrotron light emitted by accelerated electrons, first detected in 1946 in the General Electric synchrotron, has been parasitically used during decades in High Energy Physics (HEP) synchrotrons, until 1968, when the first dedicated synchrotron, Tantalus, was built [1]. Since then the number of light sources and their users has steadily increased and their utilization across different disciplines opens daily new horizons.

The evolution of their characteristic is usually schematized into generations: the first generation corresponding to the HEP rings, the second generation to the dedicated rings, the third generation to the more advanced rings, with lower emittance and filled with insertion devices, the fourth generation corresponding finally to the Free-Electron Lasers (FEL) driven by high-brilliance LINACS.

The main differences among generations can be summarized in one parameter: the photon beam brilliance, the number of photons per time and phase space unit and energy bandwidth.

Synchrotron light emitted in accelerators is distinguished by the high brilliance of the source due to small cross-section of the electron beam and high degree of collimation of the radiation, the broad and continuous spectral range from infrared up to the hard X-ray region, the high degree of polarization which can be tuned by variable orientation magnetic fields and the pulsed time structure defined by the electron bunches frequency and length.

An electron bunch in a magnetic field emits a continuous spectrum around the critical wavelength, λ_c , expressed as

$$\lambda_c (\text{\AA}) = 5.59 R (m) / E^3 (\text{GeV}),$$

where R is the bending radius of the electron trajectory in the magnetic device and E is the electron energy. Half of the total power is emitted with wavelengths lower than λ_c and half above that value, being the maximum flux around it.

By choosing the electron energy and the dipole length of a synchrotron ring, the critical wavelength of radiation emitted along all dipoles is defined. Insertion devices (wigglers and undulators) with different magnetic fields, even variable ones either in intensity or in orientation, provide a large variety of possibilities in a single infrastructure.

ALBA is a third-generation light source, the newest source in the Mediterranean Area.

* www.cells.es

2 ALBA history

ALBA project was approved in 2003 and funded in equal parts by the central Spanish Government and the Regional Catalan one. It has been built on a green field, resulting in a modern and efficient infrastructure [2].

The construction began in 2006, after few years dedicated to the design and to the training of a new team of experts, coming from Spain and from abroad. The building and the services were ready by 2008, when the accelerator installation started. The whole accelerator was ready and commissioned by 2010, the seven first beamlines (BLs) were in the meantime installed, and have been commissioned in 2011-12.

First official users have been hosted in Spring 2012, and in these first months of 2013 all the Phase-I BLs are operational.

3 ALBA description

The photon beam characteristics depend strongly on the electron beam energy and emittance, and on the magnetic fields of dipoles and insertion devices in the storage ring.

The choice of these parameters defines the boundaries of the source, of the needed infrastructures and therefore also the cost range.

Several 3rd-generation light sources are based on 3 GeV electron beam: the infrastructure dimensions well fit national laboratories, and the applications range from structural biology to material science through condensed matter, with hundreds of users in an ever increasing community. The development of undulator technology with small gaps and short periods allows to reach high photon energy also in these medium-size synchrotrons.

The photon beam brilliance strongly depends on the electron beam emittance, which is a measure of the electron transverse beam dimension and divergence, and is an invariant along the synchrotron storage ring. Once the energy is defined, the emittance depends strongly on the total length of the storage ring circumference: the larger the number of dipoles, or the lower their magnetic field, the lower the emittance of the electron beam, and therefore the higher the photon beam brilliance.

ALBA main parameters are shown in [table I](#). Among the sister light sources ALBA is the one having the most compact design, optimised in order to reach a low emittance, even with a ring circumference shorter than other similar facilities, still keeping space for several insertion devices.



Fig. 1 ALBA building containing accelerator, beamlines and offices.

Electron beam energy	3 GeV
Storage ring circumference	269 m
Natural horizontal emittance	4.4 nm rad
Nominal beam current	250 mA
Number of insertion straight sections	17
Number of Phase-I BeamLines	7

Tab. I ALBA light source main parameters.

4 The infrastructure

ALBA is located inside the "Parc de l'Alba", a 340 hectares space, where other research and technological institutions are set or will be in the future. It is one of the strategic Catalan plans, with the possibility of becoming a powerful motor of scientific, technologic and business activities in the South of Europe, with potential for creating thousands of jobs.

The main building of the Alba synchrotron is snail shaped and has a diameter of more than 140 meters. It contains the main elements of this scientific facility: the accelerator and the beamlines. An office annex and two secondary structures contain auxiliary technical facilities. The design and construction of ALBA has taken into account exemplary eco-efficiency criteria including a high level of prefabrication and recyclability, excellent thermal and acoustic insulation, and energy and water saving measures. The Alba synchrotron also stands out for its compact volumes and natural shapes, which allow it to blend in with its natural surroundings.

The dimensions of the electron and the photon beams are of few mm in the vertical plane. The basement on which the accelerator and the beamlines are placed needs a mechanical stability of that magnitude, both for the high-frequency and the low-frequency range, which means mechanical and thermal stability. ALBA covers a total area of 30000 m², satisfying the above-mentioned requirements: the accelerator and the experimental hall hosting BLs and experimental hutches are built on a donut-shaped concrete basement, 1 m thick, laying on 2 m gravel, assuring a high degree of mechanical stability.

5 Accelerators

The photon source is a synchrotron ring, with a full energy injector chain [3]. The electron beam is produced in a 90 kV DC thermionic gun, followed by a bunching system designed to reduce the energy spread and the electron losses. The gun produces pulses of few nC at a few Hz rep rate.

A LINear ACcelerator (LINAC) made up by two travelling-wave constant-gradient accelerating sections increase the beam energy up to 100 MeV. The LINAC works both in single bunch and in multibunch mode.

The 100 MeV beam is injected into the booster, which accelerates the beam up to the final 3 GeV energy. The booster and the storage ring share the same tunnel, about 300 m long, surrounded by 1 m thick concrete wall, being their length almost the same. The choice of a booster length similar to the storage ring one has the advantage of a low emittance of the electron beam and therefore good injection efficiency into the storage ring.

The storage ring circumference is 269 m long. The electron beam is bunched, with a maximum number of bunches of 448, as defined by the harmonic number (ratio between total orbit length and rf wavelength). The beam temporal structure can be tuned from single bunch configuration, to all bunches filled, or bunches train, according to the user requests. Figure 2 shows a layout of the accelerator and the present beamlines.

The lattice is optimized for high photon flux density. A large number of straight sections in spite of the relatively short circumference is available, thanks to the very compact lattice design, which incorporates quadrupolar field component in the dipoles.

The injector chain allows working on top-up operation mode, whose implementation is in progress. In the meantime the beam for users is injected twice per day, with a maximum current which is smoothly increasing and recently has reached values of 135 mA. Higher currents are avoided in order to reduce heat load variation in the BL optics.

Sub-micron stability for the stored electron beam is needed and effectively achieved with a system of slow orbit feedback in the accelerator.

The storage ring contains 16 dipoles, 8 short straight sections, 12 medium and 4 long ones. Some of these sections are used for housing the RF cavities (6 in total, placed in pairs) and the injection kickers. The vacuum chamber has up to 34 windows for the light extraction. Nine of them are presently used (2 for accelerator

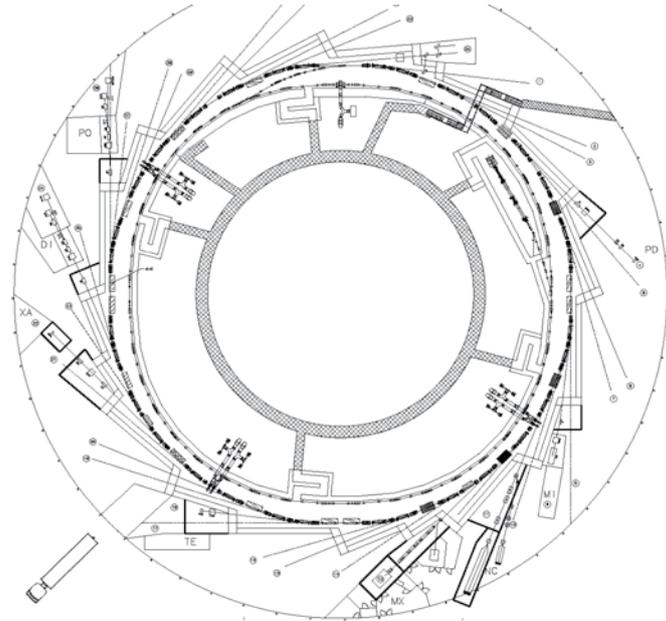


Fig. 2 ALBA layout showing accelerators and beamlines.

diagnostics, 7 for the Phase-I Beamlines), and the others are witness of the large potentiality of ALBA for the future. The nominal current is 250 mA and all systems have been designed to cope with a higher current, up to 400 mA.

Regular operation [4] of the accelerator with currents up to 120 mA is performed, with twice per day injection, while preparing for top-up operation by the end of 2013.

The accelerator and beam lines control system is based on the open source Tango and the graphical interface Sardana developed in ALBA and thereafter adopted by several new-generation synchrotron light sources.

6 ALBA beamlines

We can classify the initial ALBA BLs (whose main characteristics are summarized in [table II](#)) into three groups for their scientific application [5]: those mainly devoted to Biosciences, those devoted to Condensed Matter, especially magnetic structures, electronic and nanoscience, those devoted to material science with applications in Chemistry and different multidisciplinary areas.

In the first group we find MISTRAL, NCD and XALOC.

MISTRAL [6] (*Transmission Soft X-Ray Microscopy, 270–2600 eV*) is an X-ray full-field transmission microscope which allows obtaining cryo-tomographies of biological material of very high spatial resolution (30 nm in 2D). It is optimised in the water window, *i.e.* in the spectral range between the absorption edge of carbon and oxygen. It produces 3D images of complete cells thanks to the X-rays penetration depth, in contrast with transmission electronic microscopy that involves sample slicing. The possibility of a complete rotation of the sample in few minutes allows precise tomographic reconstructions. Samples are kept in cryogenic conditions during the experiments. The field of view can be changed from 10 μm to 16 μm .

NCD [7] (*Non-Crystalline Diffraction, 6.5–13 keV*) is specialized in the study of crystalline samples with large periodicities that usually exhibit high structural disorder. Large (SAXS) and small (WAXS) periodicities are investigated with two detectors at different positions. SAXS data at ms acquisition rate allow to investigate fast kinetic processes. Examples are biological applications (fibre tissues and solutions), and polymers. The optics allows variable beam spot size at the sample, minimum 70 (horizontal) \times 30 (vertical) μm^2 .

Port	Beamline	End-stations	Experimental techniques	Scientific applications
4	MSPD	2	High-resolution powder diffraction High-pressure diffraction	Structure of materials, Time-resolved diffraction
9	MISTRAL	1	Soft X-ray full-field transmission X-ray microscope. Optimized on the "water window"	Cryogenic tomography of biological objects. Spatially resolved spectroscopy
11	NCD	1	High-resolution small- and high-angle X-ray scattering/diffraction	Structure and phase transformations of biological fibres, polymers, solutions. Time-resolved X-ray studies
13	XALOC	1	X-ray diffraction from crystals of biological macromolecules	Macromolecular crystallography, with particular emphasis on large-unit-cell crystals
22	CLÆSS	1	EXAFS, XANES, Quick-EXAFS	Material science, chemistry, time-resolved studies
24	CIRCE	2	Photoemission microscopy (PEEM) Near atmospheric pressure photo-emission (NAPP)	Nano-science and magnetic domain imaging (PEEM). Surface chemistry (NAPP)
29	BOREAS	2	Circular Magnetic Dichroism Resonant Magnetic Diffraction	Magnetism, surface magnetism and magnetic structures

Table II – Main characteristics of ALBA Phase-I Beamlines.

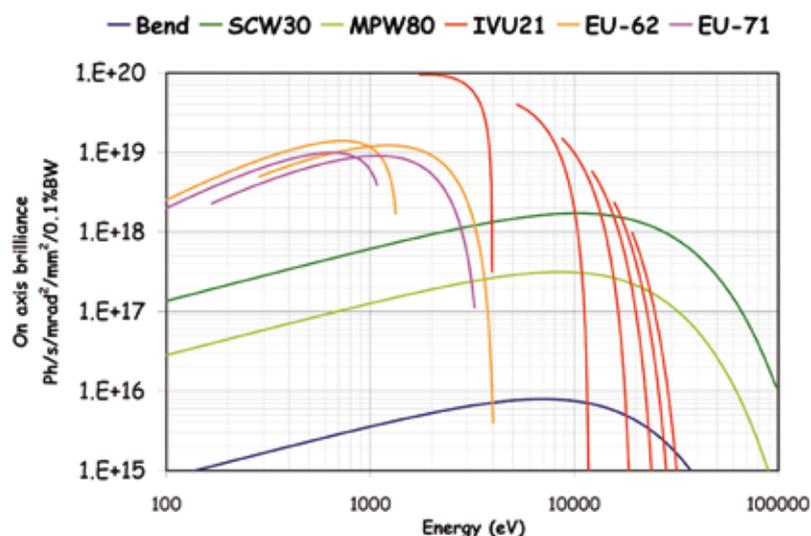


Fig. 3 Brilliance of ALBA photon sources as a function of the energy.

XALOC [8] (*Macromolecular Crystallography, 5–22 keV*) is the BL dedicated to protein structure determination through X-ray crystallography. It is a single-crystal diffraction line where few micrometer samples can be measured, at a rate of hundreds per day. It has a very stable optics, an ultra-precise goniometer, a robot arm which automatically exchanges the samples, a quick detector with a large dynamic range and practically zero background noise. The beam spot size at the sample is variable, minimum 50 (horizontal) \times 6 (vertical) μm^2 .

The second BL group includes CIRCE and BOREAS.

CIRCE [9] (*Photoemission Microscopy & Spectroscopy, $h\nu = 100\text{--}2000\text{ eV}$*) is a soft X-ray BL, whose photons are produced in a variable polarization undulator, which allows the selection of different polarization configurations. It has two end-stations: PEEM has a photoemission microscope used to perform chemical imaging of the surface by energy analysing the emitted photoelectrons. The lateral resolution can be 20 nm for good samples. In addition, the microscope can image surface magnetic domains by taking advantage of the different photoelectron yield in dichroic absorption when circularly polarized photons of the appropriate energy impinge the sample. The other end station, NAPP, which stands for Near-Ambient-Pressure Photoemission, has not lateral resolution but allows to measure photoemission spectra while having the sample at pressures up to 20 mbar. This is achieved thanks to a powerful differential pumping which maintains a pressure difference of 11 decades between the sample and the electron energy analyser. Photoemission at near ambient pressure is a powerful new tool for investigating surface chemical reactions and surfaces of liquid samples.

BOREAS [10] (*Resonant Absorption & Scattering, 80 to 4000 eV*) is a line using photon beams similar to CIRCE ones (soft X-rays with tuneable polarization). The first experimental end-station is dedicated to X-ray magnetic circular dichroism (XMCD) and X-ray magnetic linear dichroism (XMLD) techniques, which allows the study of advanced magnetic materials under magnetic fields of up to 6 T along the axis and up to 2 T in the horizontal/vertical plane perpendicular to the beam. The second experimental end-station will be dedicated to soft-X-ray magnetic scattering (SXRS). This instrument is based on an ultra-high-vacuum reflectometer including a newly developed revolving magnet (based on high-temperature superconducting coils of copper compounds) for the research of magnetic anisotropies on magnetic surfaces, thin films, nanostructures and bulk single crystals. Variable beam spot size at the sample, minimum 100 (horizontal) \times 20 (vertical) μm^2 .

Finally the third BL group includes MSPD and CLÆSS.

MSPD [11] (*Material Science and Powder Diffraction, 8 to 50 keV*) is a classic powder diffraction BL, *i.e.* it is used for crystalline powder samples whose grain is much smaller than the transverse dimensions of the photon beam. It has two end stations, placed one after the other. The

first end-station is dedicated to experiments of diffraction under high pressure with diamond anvil cells and a CCD detector, allowing the users to analyse the crystalline structure of matter under extreme pressure (up to ~ 50 GPa). The second end-station is equipped with a large heavy duty-3 circle diffractometer, with two detectors, that allows to efficiently collect high-resolution data by means of 13 analyser crystals and also to collect data very rapidly (for the study of chemical kinetics, phase transitions, etc.) with a microstrip photon-counting detector system (MythenII, microstrip system for time resolved experiments). For high-pressure end-station: minimum beam spot size 10 (horizontal) \times 10 (vertical) μm^2 , for the high-resolution powder diffraction variable beam spot size at the sample, minimum 100 (horizontal) \times 100 (vertical) μm^2 .

CLÆSS [12] (*Absorption & Emission Spectroscopies, 5.0 to 45 keV*) is an absorption BL equipped with a fast monochromator which allows recording EXAFS spectra (extended X-Ray absorption fine structure) in 1–3 minutes. In the future it should operate at approximately 100 ms in the intermediate energy range (7–9 keV). It will have an original X-ray spectrometer, in-house design, which shall allow to perform high-energy resolution fluorescence spectral analysis and inelastic X-ray scattering experiments. The beamline has two chemical reactors and an automated system for the management of gases in order to perform measurements of XANES/EXAFS during chemical reactions under conditions close to those relevant to industrial catalysis (tens of bars and hundreds of degrees Celsius). Beam spot size at the sample: 300 (horizontal) \times 150 (vertical) μm^2 .

Figure 3 shows the brilliance of the different photon sources corresponding to the seven beamlines.

7 Start of the operation period

The first official user of ALBA arrived on 7 May 2012, to perform an experiment on nanostructured high- T_c superconducting materials at the Boreas BL, and we consider that day as the beginning of the operation period. Nevertheless friendly users were already coming to use and help in commissioning the BLs already at the end of 2011, and the operation calendar of 2012 has seen a total number of 4000 machine hours dedicated to BL commissioning, machine running, BL users.

In 2013 the number of hours will reach up to 5000, and the increase in operation time will be completely dedicated to BLs.

All BLs have already received official users. Two user calls have been opened, one in 2011 and the second one in 2012 fall. About 200 proposals with $\sim 20\%$ of international representation of the principal investigator were presented to each of the two calls. Inside the Spanish representation the majority (45%) come from Catalunya, followed by Madrid, Valencia and Aragón. Beamtime is awarded to proposals based on scientific excellence, after the evaluation of an international

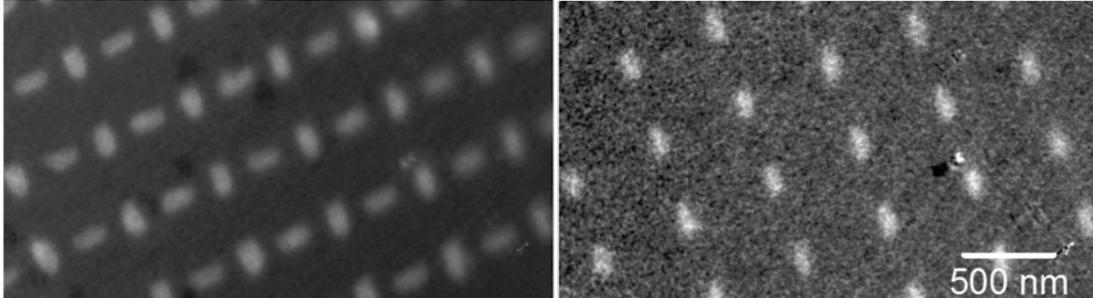


Fig. 4 Circe: magnetic domains in nanostructure of permalloy particles.

panel. 46% in the first user call and 47% in the second one have obtained beamtime in ALBA, almost maintaining the proposal countries distribution. Since 2014 two user calls per year will be announced.

About half of the proposals come from Bioscience Area, with a majority of macromolecular crystallography. About one third is Material Science, and the remnant 10–15% is for other areas, mainly Chemistry.

First industrial users are already performing feasibility studies to define the interest of ALBA instruments for their R&D programs. Fields which are mainly approaching us are pharmaceutical, adhesives, detergents, catalysis. Fostering private utilization of the facility is one of the strategic priorities of ALBA, not as much for the economic impact, which is expected to be marginal, but for the opportunity of improving the R&D activities of the industry especially in Spain.

8 Examples of research in the field of Material Science at Alba.

Choosing the most significant results in a newly born user facility is a delicate task. Since we have not here the space for describing all of them, we are forced to highlight a limited sample, reporting to the references for the rest of the results.

8.1 Magnetism

In the field of modern magnetism, circular magnetic dichroism is the most successful technique exploited in the last two decades in synchrotron laboratories. It is based on the different absorption coefficient of a magnetic material when it is illuminated with circularly polarized X-rays with right or left helicity. The dichroic effect is most pronounced if the energy of the photons is precisely tuned to that of a dipolar transition in the absorbing atoms. At Alba Boreas (BL29), Circe (BL24) and Mistral (BL9) are BLs that may exploit this effect since they provide circular polarization. The magnetic dichroic effect is widely used to image magnetic domains in nanostructures since the domains with magnetization parallel or antiparallel to the spin of the photons absorb differently giving contrast in the image. Figure 4 shows a result from Circe.

The sample is a fabricated magnetic nanostructure of permalloy particles (courtesy of J. Nogues, ICN, Barcelona). The image at the left shows the morphology and periodicity of the particles. The image at

the right is a dichroic image obtained by subtracting images obtained with right- and left-handed polarizations. Only 50% of the nanodots are visible, those that have their magnetization parallel to the direction of the incoming photon beam. The lateral resolution at the image is 20 nm. Figure 5 shows a transmission image from Mistral of a sample consisting in a multilayer stack of Co and Pt ultrathin layers (courtesy of S. Mangin, Univ. Nancy, France). The magnetic domains are perpendicular to the plane of the sample and they point inwards or outwards. The photon beam shows different absorption among both domains which results in the magnetic contrast that reveals a labyrinth structure.

8.2 Phase transitions at high pressures

The MSPD beamline is specialized in powder diffraction experiments. One of the two operating instruments allows the study of materials at elevated hydrostatic pressures. Figure 6 shows powder diffraction data at different pressures from a sample of AgCuS taken at 29 keV photon energy with a beam focused into a 50 μm x 50 μm spot.

The data highlight the occurrence of two phase transitions at 1.4 and 5.7 GPa. [13]. Theoretical modelling suggests an enhanced metallic character of the high-pressure phase.

9 Outlook into the future

The next years will be dedicated to exploiting the potentiality of the infrastructure for hosting new BLs. Infrared spectro-imaging, angular-resolved photoemission and nanofocusing are among the new proposed programs.

Building the ALBA infrastructure and its technological instruments has produced as byproduct the creation of different laboratories, used during the construction and the installation, which now represent excellent tools for new developments and collaboration with other facilities.

Among them let us mention the magnetic measurement laboratory where magnets for several accelerators have been and are continuously measured, in a collaborative framework with other teams, like CIEMAT, SESAME, CERN.

The metrology laboratory, which has been developed on internal design, has become a reference in the synchrotron light community, and collaborations with several laboratories are on-going.

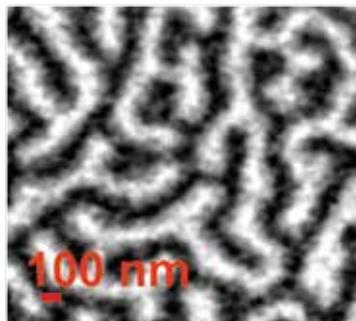


Fig. 5 Mistral: transmission image of a multilayer stack of Co and Pt.

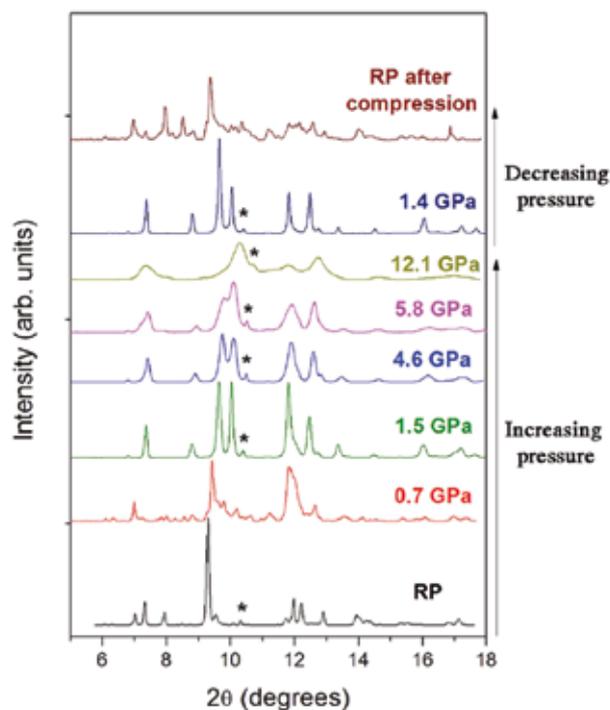


Fig. 6 MSPD: Powder diffraction data from an AgCuS sample.

A high-power rf laboratory is another of the facilities which will be provided to national and international accelerator groups for testing rf structures.

10 Conclusions

The first phase of ALBA has been successfully completed: the construction of the infrastructure and of the accelerator, its commissioning, the installation of the first seven BLs, and their start of operation and hosting of users.

ALBA is an example of the qualitative step that the Science and Technology Spanish System has performed in the last decade. Once the Institutions and Research groups reach a critical volume, it is strategic to grow not only by aggregation, but with complementary tools like the large Scientific Infrastructures to multiply the return of the system as a whole.

ALBA, with its Phase-I Beamlines and with the foreseen development of the next years, aiming to include new techniques and complementary infrastructures in order to exploit at maximum the initial investment, has the vocation of contributing to such effort.

Acknowledgments

The authors have described the work realized by the whole ALBA team with passion, dedication and professionalism. We want to thank all of them with a special mention to Prof. Ramon Pascual and Dr. Joan Bordas.

References

- [1] A. Sessler, E. Wilson, *Engines of Discovery: A Century of Particle Accelerators* (World Scientific) 2007.
- [2] J. Bordas *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods A*, 543 (2005) 28.
- [3] D. Einfeld, "ALBA synchrotron light source commissioning", *Proceedings of IPAC 2011, San Sebastian, JACoW*, 2011, pp. 1-5 <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2011/papers/moxaa01.pdf>
- [4] M. Pont, "Operation status of ALBA synchrotron light source", *Proceedings of IPAC 2013, New Orleans, JACoW*, 2012, pp.1659-1661 <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2012/papers/tuppp023.pdf>
- [5] I. Peral, S. Ferrer, in M. Suárez *et al.* (Editors) "Synchrotron Radiation in Mineralogy", *Seminarios SEM 6* (2009) pp. 7-28.
- [6] E. Pereiro *et al.*, *J. Synchr. Radiat.*, 16 (2009) 505, <http://www.cells.es/Beamlines/XM>
- [7] <http://www.cells.es/Beamlines/NCB>
- [8] J. Juanhuix, S. Ferrer, *Synchrotron Radiation Instrumentation: Ninth International Conference*, edited by Jae-Young Choi and Seungyu Rah, (American Institute of Physics) 2007, pp.824-827, <http://www.cells.es/Beamlines/XALOG>
- [9] V. Pérez-Dieste *et al.*, *J. Phys. Conf. Ser.*, 425 (2013) 072023, <http://www.cells.es/Beamlines/CIRCE>
- [10] <http://www.cells.es/Beamlines/VP>
- [11] M. Knapp *et al.*, *Z. Kristallogr. Proc.*, 1 (2011) 137, <http://www.cells.es/Beamlines/MSPD>
- [12] <http://www.cells.es/Beamlines/CLAESS>
- [13] D. Santamaria-Perez *et al.*, *Inorg. Chem.*, 52 (2013) 355.

Caterina Biscari

Born in Modica, Italy, 1957. Licenciada en Ciencias Físicas in the Universidad Complutense de Madrid, and Dottore cum laude in Physics at the Università degli Studi di Napoli. Since 2012 Director of the Synchrotron Light Source ALBA, Spain. Her professional experience has developed in the particle accelerator physics, initially at CERN at the ProtonSynchrotron Division, and since 1985 to 2012 at the LNF-INFN. She contributed to the design, construction, commissioning and operation of different accelerators, among others the e+e- collider DAFNE in Frascati, the CERN Linear Collider Test Facility CTF3, the Italian hadron therapy facility, CNAO in Pavia. Member of different Machine Advisory Committees (LHC, ESS, NSLS-II, HZB), and of the EPS Executive Committee, fellow of the European Physical Society.

JEFFERSON LAB: A JOURNEY FROM QUARKS TO MATTER AND BEYOND

PATRIZIA ROSSI

Jefferson Lab, Newport News, VA, USA

1 Introduction

"[...] It is sometimes claimed that the origin of mass is the Higgs mechanism that is responsible for the breaking of the electroweak symmetry that unbroken would forbid quark masses.

This is incorrect. Most, 99%, of the proton mass is due to the kinetic and potential energy of the massless gluons and the essentially massless quarks, confined within the proton [...]"

The above excerpt from David J. Gross' Nobel Lecture is a vivid description of Jefferson Lab's primary mission: to expand our knowledge of the universe by studying how quarks and gluons build the matter.

In their search for answers, physicists at Jefferson Lab smash electrons into atoms using the Continuous Electron Beam Accelerator Facility (CEBAF).

To expand the opportunity for discovery Jefferson Lab is upgrading its facility by doubling the energy of its accelerator's electron beam from 6 GeV to 12 GeV. This project is currently under construction and it will start the commissioning at the end of 2013.

Very recently the last missing piece in the current Standard Model was discovered: the Higgs boson. It plays a unique role by explaining why the other elementary particles, except the photon and gluon, are massive. However, this is not the end of the story. The interaction of quarks and gluons in high-energy experiments is well described by the Quantum Chromodynamics (QCD), but an exact understanding of how QCD works under normal conditions found in the every day world is quite limited.

The question remains why a free quark or gluon has never been measured instead always found confined in nucleons and other hadrons (the collective name of particles interacting in the strong force). We still do not know how

the fundamental particles, quarks and gluons, fit together and interact to create different types of matter and why the quarks are only responsible for a tiny fraction of the mass of the nucleon and other hadrons. In short, we do not have the answer for how these phenomena emerge from QCD or the properties of matter as we know them.

With the discovery of the Higgs boson the Standard Model has given us more insight into the types of matter and forces we deal with but, although highly successful, it is not entirely adequate to describe the universe.

There is dark matter out there that makes up nearly a quarter of all the energy in the universe but so far we have only succeeded in studying it indirectly. Another mystery is dark energy, which accounts for 73% of the universe!

Dark matter and dark energy do not fit in the Standard Model and physicists are clueless to understand what they are.

Through its unmatched combination of beam energy, quality and intensity, the Jefferson Lab 12 GeV upgrade aims to make profound contributions to the study of the fundamental structure of proton and neutron and to understanding how the nucleons bind together to form the nucleus. With the 12 GeV upgrade physicists plan to address one of the great mysteries of modern physics – the mechanism that "confines" quarks to exist only together with other quarks and never alone. Last but not least, an upgraded CEBAF will allow physicists to study the limits of the Standard Model for a potential discovery of the nature of new physics at the low-energy precision frontier complementing information from the high-energy frontier at the Large Hadron Collider.

2 CEBAF: a powerful microscope to look at the heart of the matter

How do physicists at Jefferson Lab look at the heart of matter?

If we want to look inside the structure of the nucleon and nuclei an ordinary microscope does not work. We need a giant microscope that enables us to "see" things a million times smaller than an atom. A particle accelerator is the giant microscope we need.

In quantum mechanics the wavelength (λ) of a particle is related to its energy by the simple relation $\lambda = h/p$, where h is Planck's constant ($h = 6.62606957(29) \times 10^{-34}$ J s). So the higher the energy of the particle, the shorter its quantum-mechanical wavelength, and the smaller the features can be resolved. The basic concept, thus, is to direct a beam of particles at a sample and determine the structure by studying the pattern of diffraction.

Electrons are a powerful tool to probe the structures of complex nuclei and individual nucleons. Quantum electrodynamics provides, in fact, an explicit and well-understood description of the interaction of electrons with charges and magnetic moments.

If we want to look inside the structure of matter at the transition region between the energy regime where strongly interacting matter is understood as nucleon bound states and the regime where the underlying quark-gluon structure appears, the electron accelerator we need requires a specific combination of characteristics: multi-GeV energy for spatial resolution and kinematic flexibility, high duty factor to allow coincidence experiments, high intensity for precise measurement of relatively small electromagnetic cross-sections, and beam polarization. These are the requirements that drove the construction of the CEBAF

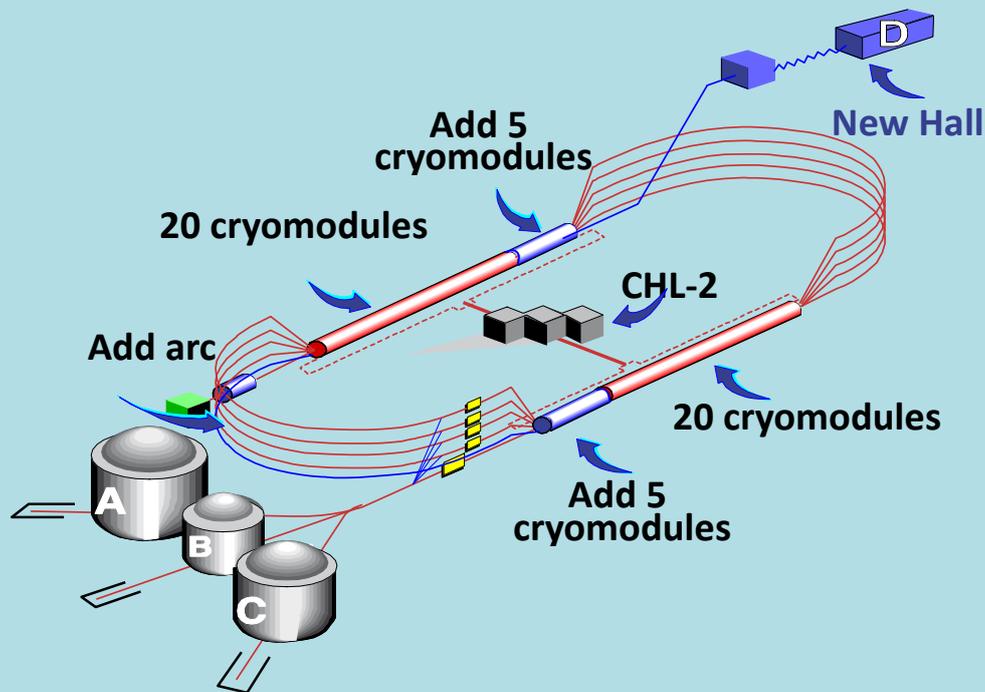


Fig. 1 Sketch of the accelerator upgrade.

accelerator.

CEBAF was the first large-scale application of superconducting radiofrequency (SRF) technology in the world and it has been the first large high power continuous-wave (CW) recirculating electron-linac based on SRF technologies. Now days CEBAF is the world's most advanced particle accelerator for investigating the quark structure of the atom's nucleus.

Designed for a maximum energy of 6 GeV, CEBAF has operated continuously for 17 years since 1995; its last run at 6 GeV successfully completed in the spring 2012. CEBAF comprises two antiparallel linacs linked by nine recirculation beam lines for up to five passes. The electron beam, focused to about the width of a human hair, can travel around the racetrack shape 7/8 mile and 25 feet underground tunnel, in five millionths of a second. The beam gains energy with each lap it completed around the accelerator, up to the maximum of energy. When the desired energy is reached, the beam is delivered to one of the lab's three experimental halls, named Hall A, Hall B and Hall C. Experiments can receive beams from different passes, making it possible to run simultaneous experiments at different energies and intensity. The high intensity – up to 200 μA , and high polarization – up to 85%, of the electron gun enable unprecedented study of spin physics.

In the late 1990's the concept for an energy doubling to 12 GeV was defined, and the plan was approved and funded starting in 2004. The construction of the upgrade started in 2007. The design features and excellent performance of the accelerator made it possible to plan the upgrade without substantially altering the construction scheme of the accelerator.

The energy doubling is achieved by adding

10 new cryomodules to the existing 40 in free space at the end of each linac and by upgrading the magnets in the original 9 arcs to higher fields. The injection line also needs to double the energy to match the linac. In addition, a new arc (Arc 10) provides an additional pass to deliver 12 GeV beam to the new Hall D while beam for the existing Halls A, B and C is extracted at 11 GeV. The new Hall D adds the capability of a photon beam. Included in the scope of the upgrade are new experimental detectors for the Halls B and C and infrastructure upgrades for Hall A. A sketch of the accelerator upgrade is shown in fig.1.

3 The nucleon: so real and so elusive

The journey inside the nucleon started in the late 50's when Hofstadter discovered the proton was not a point-like particle. Half a century of experimental study and theoretical analysis have taught a lot about it, yet its certain fundamental properties still hold puzzles and surprises.

For this journey, our favorite mean of transportation has been lepton scattering experiments, mainly deep inelastic electron scattering (DIS). A simplified but effective description of this process used to dig inside the nucleon, involves hypothesizing that the interaction takes place via the emission of a single virtual photon from the electron. The electron scatters as it emits the photon; the photon then "hits" the other electric charge, with a momentum transfer \mathbf{q} that depends on the electron energies and on the scattering angle ϑ .

DIS experiments taught us most of what we know about the partonic structure of the nucleon and how quarks and gluons share its total momentum. The surprise was thus

enormous when in 1997 in a polarized DIS experiment the EMC collaboration discovered that the quarks generate only 30% of the proton's spin! This finding literally astonished physicists.

What makes a proton spin? That is one of the biggest mysteries in physics. Although researchers do not fully understand yet the underlying physics of this phenomenon, they do know that spin plays a fundamental role in our life: contributes to the stability of the universe, magnetic interactions, and is a vital component of technologies like Magnetic Resonance Imaging (MRI) machines that are used in hospitals around the globe. Spin deserves doubtless all our attention!

Physicists suspected the remaining spin came from gluons. However, as with the quark spin, experiments proved later on that gluon spin accounts only for a small fraction of the missing proton spin. The parton orbital angular momentum was the natural candidate to explain this deficiency. It is worth mentioning that DIS processes are studied in a frame in which the momentum of the parton is almost collinear with the nucleon momentum, so that the target can be seen as a stream of partons, each carrying a fraction x of the longitudinal momentum of the proton. Although simple and elegant, this description offers a merely unidimensional view of the nucleon.

It became clear that, in spite of the many achievements, we were still profoundly far from fully understanding the nucleon and the QCD and that experimental results required a new way to investigate and describe the strongly interacting matter.

In understanding the microscopic structure of the nucleon, we had so far relied mainly on two types of physical quantities: its spatial distribution of charge and current probed

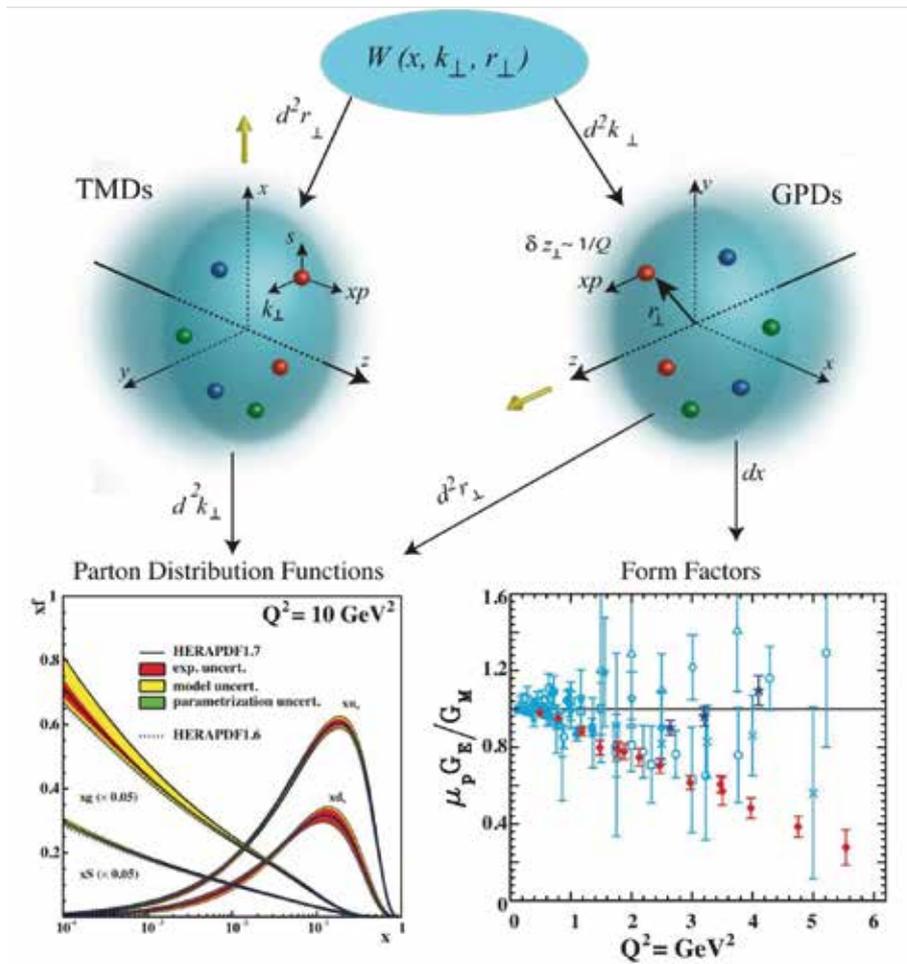


Fig. 2 The Wigner distributions yield a unified description of a nucleon in terms of the position and momenta of its constituents. The uncertainty principle precludes knowing both position and momentum simultaneously, but the three-dimensional Generalized Parton Distributions (GPDs) and Transverse-Momentum-Dependent Distributions (TMDs) provide a powerful spatial and momentum tomography. The differential variables along the arrows indicate the variable integrated over to move from the upper to lower distributions.

through elastic lepton scattering and described by the elastic form factors, and its longitudinal momentum distributions probed through DIS experiments and described by the parton distribution functions.

Although form factors and parton distribution functions have provided much to shape our physical picture of the nucleon, they have similar deficiencies. The form factors contain no dynamical information on the constituents, such as their speed and angular momentum, and the momentum distributions provide no knowledge of their spatial locations.

To address one of the key questions for understanding the structure of the nucleon, namely how its spin is apportioned between the spin of its constituents and their orbital angular momentum we need a new representation able to describe the correlation between their momentum and spatial coordinates. The Wigner distributions, a quantum-mechanical concept, provide this new framework. They have inspired a three-dimensional description of the nucleon through the construction of quantities known as generalized parton distributions (GPDs) and transverse momentum-dependent distributions (TMDs), shown in fig. 2.

The GPDs emerge after integrating the Wigner distributions over the transverse momentum and longitudinal position of partons. They encode the correlation between the quark/gluon transverse position in the

nucleon and its longitudinal momentum, *i.e.*, hold information how the transverse spatial shape of the nucleon changes when probing quarks with different longitudinal momentum. In other words GPDs can be viewed as form factors distributions at different values of the longitudinal momentum of the quark. They can be measured in exclusive electron-nucleon scattering processes at large Q^2 ($= -q^2$) where a virtual photon interacts with a single quark in the nucleon.

The most prominent processes to access GPDs are Deeply Virtual Compton Scattering (DVCS), which has been recognized being the cleanest process, and the Deeply Virtual Meson Production (DVMP), which provides information depending on the type (flavor) of quarks. Due to the space-momentum correlation information encoded in the GPDs it is possible through the so-called Ji sum rule link a certain combination of GPDs to the total angular momentum of a parton in the nucleon. The first exploratory results indicate that up and down orbital angular momenta are approximately equal and opposite, thus giving a small net contribution to the proton spin.

The TMDs arise by integrating the Wigner distributions over the spatial position of the parton and are functions of both the longitudinal momentum fraction x and transverse motion k_{\perp} of partons. They offer a momentum tomography of the nucleon complementary to the spatial tomography of GPD.

When adding the spin degree of freedom, TMDs may link the parton spin to the parent proton spin and to the transverse motion, and also the parton transverse momentum to the nucleon spin. At leading order there are eight independent TMDs each one describing the transition of a nucleon with one polarization in the initial state to a quark with another polarization in the final state. Three of them survive when integrated in the transverse momentum, the other five – related to different couplings between spin and transverse motion – describe new, so far unexplored, properties of the motion of quarks and gluons inside protons and neutrons.

As an example, the Sivers function describes the correlation between the momentum direction of the struck parton and the spin of its parent nucleon and is hence related to the orbital motion of partons inside the proton.

TMDs can be measured in Semi-Inclusive Deep Inelastic Scattering (SIDIS), in which the nucleon is no longer intact and one of the outgoing hadrons is detected in coincidence with the scattered lepton.

Accessing GPDs and TMDs requires a dedicated long-term experimental program. GPDs are not measured directly, but rather enter into different combinations and weighted integrals over x . To unravel them requires measuring a variety of observables in many kinematical bins of Q^2 , x , t (the momentum transfer to the nucleon) and a variety of channels, including both DVCS and

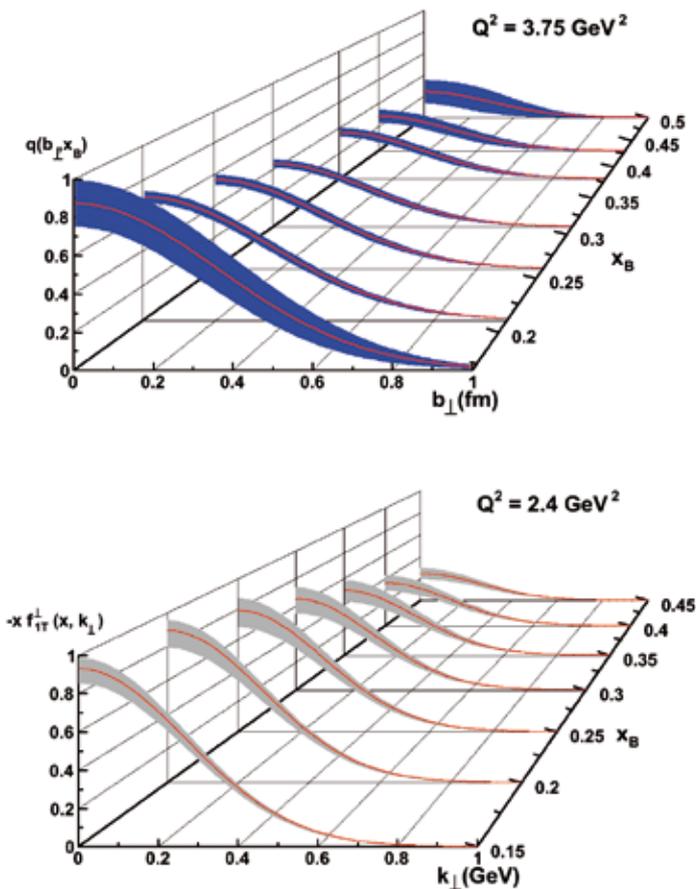


Fig. 3 12 GeV projected data for the nucleon transverse profile in terms of the distance of a quark relative to the center of the nucleon at a fixed Q^2 and different x values (upper panel). Silvers function for the up quark as a function of k_T at different values of x (lower panel).

DVMP for mesons having different isospins. To perform a model-independent extraction of the TMDs high precision measurements of semi-inclusive pion and kaon production with multidimensional binning in momentum transfer Q^2 , invariant mass of the unobserved system W , the final tagged-hadron energy fraction z and transverse momentum P_T , are essential. Unpolarized, longitudinal and transversely polarized proton and deuteron targets are also mandatory for these studies.

The 12 GeV CEBAF upgrade combined with the large acceptance CLAS12 detector in Hall B (and the future SOLID and SBS detector in Hall A) and high-resolution spectrometers in Hall A and C offers such a program. The increased energy of the electron beam to 12 GeV provides the highest polarized luminosity for precision measurements of key polarization observables crucial in these studies. A suite of approved experiments planned in Hall A, B and C will provide the necessary high precision data for different channels and reactions over a wide kinematical range.

In fig. 3 are presented the 12 GeV projected data for the nucleon transverse profile in terms of the distance of a quark relative to the center of the nucleon at a fixed Q^2 and different x values (upper plot); in the same figure the Silvers function for the up quark as a function of k_T at different values of x are showed (lower plot).

4 The strongly interacting matter and the mystery of the quark confinement

As described above, the strong force is the most complicated interaction, mainly because of the way it varies with distance, radically different from gravitational and electromagnetic forces. With gravity and electromagnetism, the farther apart the objects or charges are, the weaker the force. This does not happen with the strong force. If a quark is somehow pulled away from its neighbors the field of the strong force “stretches” between the quarks. When there is enough energy in the field, the energy will be converted into a new quark/antiquark pair and the field of the strong force returns to a relaxed state. This peculiar nature of the QCD helps to explain two astonishing feature of the strong force: why adding together the masses of the three quarks in the nucleon one gets... only about 1% of the proton or neutron mass, and why a single quark has never been found alone, meaning that quarks are always found in clusters. Because individual quarks cannot be removed from their clusters, we say that they are “confined” in larger particles. It is this confinement that makes the study of quarks extremely difficult.

The experimental observation of the powerful gluon fields believed to be responsible for mass generation and quark confinement is the drive motivation for the construction of the new experimental Hall D.

Theoretical studies, now confirmed by

lattice QCD simulations, indicate that the quark confinement occurs through the formation of a string-like “flux tube” between quarks. This conclusion (and proposed mechanisms of flux-tube formation) can be tested by determining the spectrum of the gluonic excitations of mesons. These mesons consist of a quark and antiquark held together by gluons, but unlike conventional mesons, the gluons are excited.

How are we looking for these hybrid mesons made of a quark-antiquark pair and one or more gluons? And what is the smoking gun unambiguous evidence of them?

Experimentally physicists smash particle beams into atoms and detect the products of the reaction. The vast majority of mesons produced travel the distance of the diameter of a proton and then decay in 10^{-23} seconds or so. Physicists, thus, must infer their existence from the fragments they leave behind. In most cases they are other mesons with more extended lifetimes, long enough to be detected.

Like human beings are unequivocally identified by their fingerprints, the fingerprints of the particle they are after is called J^{PC} . The quantum number J , total angular momentum, is determined by how the spins of the constituent quarks aligns and by the relative angular momentum of the two quarks as they move about each other. Parity (P) and charge conjugation (C) describe the symmetry of the quark-antiquark pair under mirror inversion and particle-antiparticle interchange, respectively. The particle is said

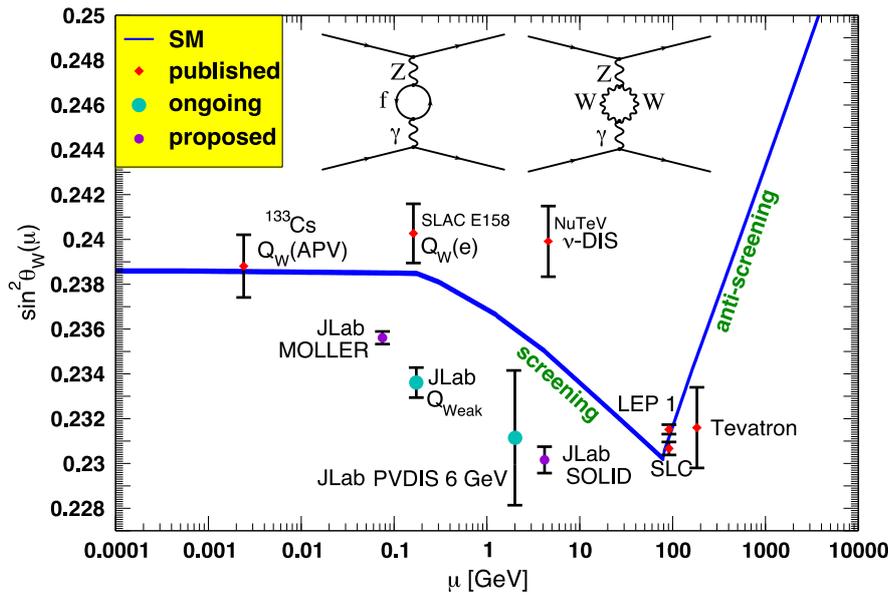


Fig. 4 The Standard Model prediction for $\sin^2\theta_W$, along with published measurements (red) and projected precision (shown at arbitrary y-axis values) for current and proposed Jefferson Lab projects (ref. [1]).

to be symmetric, and the relevant quantum “number” is assigned a plus symbol if the quantum-mechanical wave function is unaltered after one of these operations; if not, it is antisymmetric and given a minus symbol. According to the basic rules of quantum mechanics a meson can have only certain combinations of J, P and C . If we assume that a flux tube holds the two quarks, then the tube can vibrate and each different way of vibration corresponds to a unique kind of hybrid meson. In this case the J^{PC} numbers will have values that just the two quarks themselves cannot produce, or as we say, they will have exotic quantum numbers.

There are tantalizing suggestions that exotic hybrid mesons do exist and it is essential that we produce many of them and study their properties in detail if we want to fully understand the strong force and how it confines quarks.

The proposed 12 GeV energy upgrade at Jefferson Lab can make these measurements. QCD theory indicates that photon beams should be ideal for creating exotic particles: quantum mechanically, the photon has a high probability of briefly acting like a virtual quark-antiquark pair with their spins aligned and the reaction with a proton target should easily create particles with an exotic value of J^{PC} . Moreover, there is evidence from lattice calculations that such excitations might exist and lead to a $J^{PC} = 1^{++}$ exotic multiplet with mass below 2.7 GeV.

The GlueX experiment at Jefferson Lab will use a beam of linearly polarized 9 GeV photons incident on a liquid hydrogen target. A solenoid-based hermetic detector will collect data on meson resonance production through decays to charged and neutral final state particles. Statistics after the first full year of running will increase the current world photoproduction database from a few

thousand events per final state to millions of events.

Complementary measurements to the GlueX experiment, but with low-multiplicity final states using nearly-real polarized photons will be made by the CLAS12 detector in Hall B.

If we do not find these exotics, our picture of the strongest force in the universe must have serious flaws. Significant changes to the theory of nature’s building blocks will then be needed.

5 Search for physics beyond the Standard Model

A number of features of our universe, including the observation of neutrino oscillations, the predominance of matter over antimatter, the existence of dark matter and dark energy, tell us that new and unknown physics exists outside of the framework of the Standard Model (SM) of fundamental interactions.

Exploring the fundamental laws of physics at the heart of relativity and quantum mechanics has historically been in the scope of particle physics experiments as often requires huge accelerators and particles colliding at high energies. However, these searches now benefit from cutting-edge technology, expertise and facilities pertaining to nuclear science. Nuclear physics, thus, can play a central role in looking for “beyond the Standard Model” physics through high-sensitivity tests of deviations from SM predictions that complement ongoing energy frontier explorations at the LHC.

Parity-violating electron scattering has developed into a powerful tool to study possible SM-violating effects in the low-energy domain.

Parity is a fundamental symmetry in physics, is the property by which nature tells left from right. To say that nature exhibits mirror symmetry, or invariance under parity, is to say

that if a phenomenon is known to occur, then the mirror image of that phenomenon can also occur in nature equally often.

In 1957 it was demonstrated that, unlike all the fundamental interactions in nature, the interaction responsible for the beta decay of the neutron, named weak interaction, violates parity conservation.

Later on it was shown that the electromagnetic and weak interactions can be treated as different aspects of a single electroweak interaction with four mediating vector bosons involved: the massless photon, and the others, W^+, W^-, Z^0 , massive. The theory contains an arbitrary constant to be determined experimentally: the weak mixing angle $\sin^2\theta_W$, which defines the relative strengths of the electromagnetic, g_e , and the weak, g_W and g_Z , couplings. Over the past decade, experiments at high energies have measured $\sin^2\theta_W$ with high precision resulting in agreement with the theoretical predictions. But as for any coupling constant, the parameters describing large distance scales differ from the parameters describing small distances, causing $\sin^2\theta_W$ to change as a function of the four-momentum transfer Q of an interaction. In order to fully explore the Standard Model, measurements must be performed at several different Q values. At low Q , tests of the electroweak theory in the weak neutral current sector are typically less sensitive by more than an order of magnitude. Thus experiment has to have a very high sensitivity to discover potential new physics.

The parity-violating neutral current interaction can be measured at low Q^2 in electron-nucleon scattering experiments. But the weak interaction is ... weak, thus electrons will mainly interact with matter via the electromagnetic force which overwhelm the Z^0 signal! At Q^2 of few GeV^2 , the values we deal with at Jefferson Lab, the ratio of the weak/

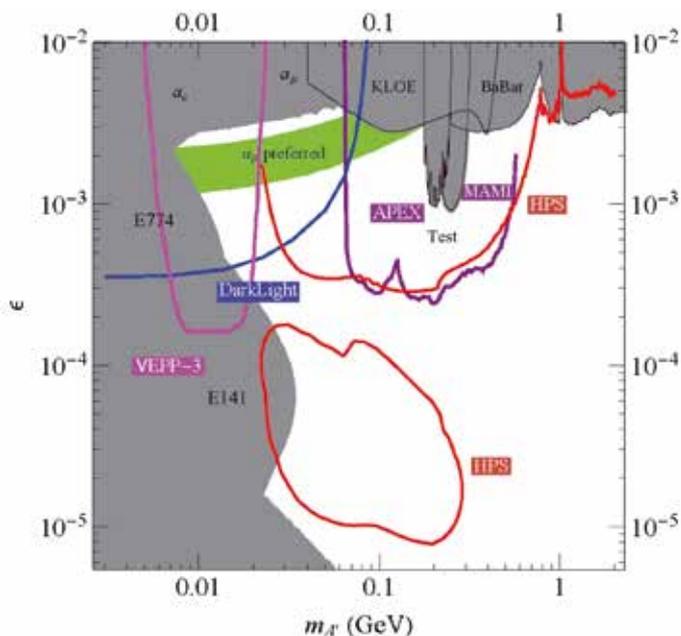


Fig. 5 The 90% confidence level limits for the existing and planned searches for heavy photons (A'). The various lines show the exclusion zones from previous and planned measurements. The proposed and planned measurements at JLab are shown by the lines marked HPS, APEX and DarkLight. See (ref. [1]) for more details.

electromagnetic amplitudes is $\sim 10^{-5}$.

However, the nature of the weak interaction, namely the fact it violates-parity, can help us in this game. If we measure two mirror-image scattering processes in the same experimental conditions, the difference between the two counting rates will isolate the weak contribution. In practice we will measure the ratio of the difference over the sum, which cancels out all the errors of normalization and allow accurate measurement of small quantities. This ratio is called a parity-violating asymmetry and it is basically the ratio of the two probabilities (rather than the square of this ratio as in cross-section measurement!). This is a small quantity but directly proportional to the Z^0 signal and, in principle, measurable with a good precision thanks to the absence of normalization errors.

To get a mirror-image of a scattering process it is enough to keep all the particles directions and flip the spin (the parity operation reverses the sign of vectors like position and momentum but lets axial vectors, like spin, unchanged).

The usual method for experimental studies of parity-violating electron scattering involves a longitudinally polarized electron beam incident on an unpolarized target. One can periodically flip the helicity of the electron beam and measure the fractional change in the scattering rate, known as the parity- violating asymmetry A_{PV} :

$$A_{PV} = \frac{d\sigma_R - d\sigma_L}{d\sigma_R + d\sigma_L} \simeq \left[\frac{-G_F Q^2}{4\sqrt{2}\pi\alpha} \right] \times \mathcal{F}.$$

Here, $d\sigma_L$ and $d\sigma_R$ are the differential cross-sections for left and right helicity electrons, respectively, G_F is the Fermi constant and α is the fine-structure constant. \mathcal{F} is the parameter characterizing the properties of the target and the weak interaction which ultimately depends

on the weak mixing angle. For typical fixed target experiments, at low Q^2 A_{PV} ranges from roughly 10^{-4} to as small as 10^{-7} thus precise measurements are, both systematically and statistically, particularly challenging. The big challenge in this measurement is that one must flip the spin very precisely without changing any other parameter of the beam. If these other parameters change by even a tiny amount, they lead to a change in scattering rate due to the electromagnetic interaction, which would mimic the weak-interaction effect.

With its superb control of the beam properties under helicity reversal (Jefferson Lab has succeeded in controlling the beam positions at the level of 5 nanometers, almost the size of an atom, between flips of the spin), highly intense and highly polarized beam, Jefferson Lab uniquely suited to these types of experiments. The laboratory has already started precision measurements to look for new physics beyond the SM with the 6 GeV beam demonstrating the ability to reach statistical errors approaching 0.01 parts per million (ppm) and systematic errors of a few parts per billion (ppb). With this accuracy on A_{PV} measurements, it has now become possible to probe for extensions of the Standard Model of electroweak interactions, which may for example involve the interactions of new massive ($M > M_Z$) bosons that couple to electrons and/or quarks and which may cause small deviations from the SM predictions at relatively low energies revealable in very high precision experiments.

There are presently two proposals to measure A_{PV} at the upgraded CEBAF. They will measure the weak mixing angle $\sin^2\theta_w$ in parity-violating electron-electron scattering (Møller scattering), and in deep inelastic electron scattering (PVDIS). Figure 4 shows the Standard Model prediction for the energy dependence of the weak mixing angle in

comparison with measurements. The new measurements will significantly improve the precision of the experimental database. Both experiments will be sited in experimental Hall A and require construction of new detectors beyond the scope of the present upgrade project.

Besides the parity-violating experiments, a new avenue to look for physics beyond the Standard Model with the CEBAF upgrade will be opened in the sector of the "dark matter". The experimental signature of a dark-matter particle could be seen through the decay of the associated force-carrying dark photon, called A' .

At present, one of the strongest indications from precision searches for new forces beyond the Standard Model comes from the latest and highly precise result of the muon's magnetic moment. When compared with the current theoretical prediction for the Standard Model expectation, the result indicates a difference of roughly 3.5 standard deviations, a strong hint that something is amiss. The existence of an A' , which behaves analogously to the photon, could naturally explain this discrepancy, as well as several intriguing dark-matter-related anomalies like the dramatic excess of positrons ranging in energy from 10 GeV to several hundred GeV shown by recent satellite measurements.

Unlike normal photons, A' s are supposed to have mass that is only indirectly detectable, after they have decayed into pair (or in some cases also in $\mu^+\mu^-$, or $\pi^+\pi^-$). But they would have a small coupling to electrically charged matter, including electrons, and thus interact very weakly with ordinary matter. In fig. 5 the ratio $\epsilon = (\alpha'/\alpha)$ of A' coupling to that of QED versus its mass is shown. From that we can see that the coupling is quite poorly constrained for small values of α'/α .

While the beams at the Jefferson Lab are not

Panel 1

The Thomas Jefferson National Accelerator Facility

The Thomas Jefferson National Accelerator Facility (TJNAF) is a world-leading nuclear physics research facility funded by the U.S. Department of Energy's Office of Science located in Newport News (Virginia-USA). An aerial view of the accelerator site is shown in [fig. 6](#).

The primary mission of the laboratory is to explore the fundamental nature of confined states of quarks and gluons, including the nucleons that comprise the mass of the visible universe.

TJNAF also is a world-leader in the further development of the superconducting radio-frequency (SRF) technology utilized for the Continuous Electron Beam Accelerator Facility (CEBAF). At TJNAF, the advancement of SRF technology has enabled the 12 GeV upgrade project to double the energy of CEBAF which is presently underway. In addition, it facilitated the development of TJNAF's Free Electron Laser (FEL) and Energy Recovery Linac (ERL), key future state-of-the-art technologies to support Office of Science projects.

TJNAF's present core capabilities are: experimental, theoretical and computational Nuclear Physics; Accelerator Science; Applied Nuclear Science and Technology; and Large Scale User Facilities/Advanced Instrumentation.

The Lab has an international scientific user community of ~1400 researchers whose work has resulted in scientific data from 174 experiments to date.

Research at TJNAF and CEBAF also contributes to thesis research material for about one-third of all U.S. Ph.D.s awarded annually in Nuclear Physics.



Fig. 6 Aerial view of the accelerator site.

Panel 2

The four experimental Halls and the 12 GeV program

The base equipment in the four Halls with the flagship associated experimental program is shown in [fig. 7](#). In Hall A the existing two High-Resolution Spectrometers, one optimized for electrons, the other for hadrons, will be retained. In addition, the Hall will become the location for large installation experiments. Hall B will house the new CLAS12 large-acceptance spectrometer, with large angular coverage and increased luminosity. Hall C will get a second high-resolution spectrometer called the Super High Momentum Spectrometer, or SHMS, enabling measurements of particles scattered, or produced, at up to full beam momentum. This new spectrometer, along with the current HMS spectrometer, will turn Hall C into a classic two-spectrometer facility. Hall D houses a large hermetic detector that is based on a solenoid magnet, and has tracking capabilities and photon detection over nearly the full 4π solid angle. Additional pieces of equipment have been proposed that are outside the scope of the 12 GeV project and require separate funding. In Hall A three proposals are under consideration: a large-acceptance device known as super-BigBite (SBS) to study the electromagnetic form factors at large Q^2 , the MOLLER detector for high-precision, parity-violation, measurement of electron-electron scattering, the SOLID detector, a versatile apparatus based on a large solenoid magnet, proposed for measuring parity-violating deep inelastic scattering (PVDIS) and with a modified setup, semi-inclusive deep inelastic scattering (SIDIS). Also a RICH detector for CLAS12 is under study to improve charged particle identification capabilities, and various ancillary detectors for neutron detection and quasi-real photon tagging.

The four experimental Halls and the 12 GeV program

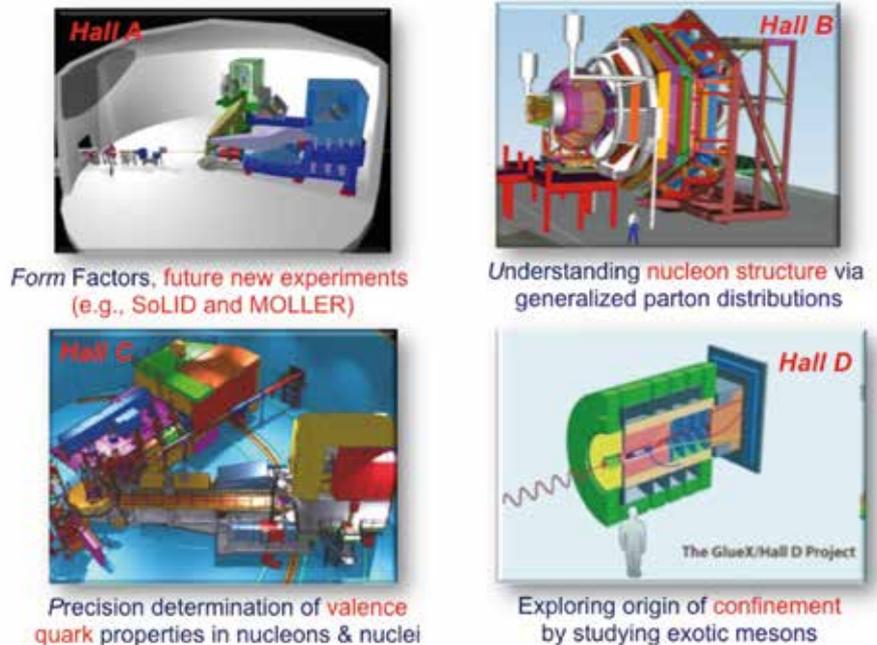


Fig. 7 The base equipment in the four experimental halls with the flagship associated experimental program.

the most powerful, they are extremely intense and of extremely high quality. The large luminosity ($O(ab^{-1} \text{ day})$) presently available at CEBAF and at the Free Electron Laser (FEL) make Jefferson Lab particularly well suited for A' searches in a large range in the ε - m_A parameter space.

At present, three electron fixed-target experiments have been approved to run at 12 GeV. The A' will be produced via bremsstrahlung from the incoming electron beam as it interacts with the target nuclei. The experiments include the “ A' Experiment (APEX)” in Hall A, the “Heavy Photon Search (HPS)” in Hall B, and “Detecting A Resonance Kinematically with Electrons Incident on a Gaseous Hydrogen Target (DarkLight)” at the FEL.

The three experiments propose a different approach to detect the e^+e^- pair from the A' decay and disentangle the signal over the large backgrounds due to radiative and Bethe-Heitler trident production: APEX will make use of a dual-arm spectrometers to search for a small resonance in the e^+e^- invariant mass spectrum on top of a large smooth background; HPS will use a forward vertexing spectrometers sited downstream of the CLAS12 detector and will search for a small vertex from the finite A' lifetime; DarkLight will detect all outgoing particles to infer the presence of the A' . The complementary approaches map out different regions in the mass-coupling parameter space. Existing constraints and the sensitivity of those experiments together with several other planned, are shown in fig. 5.

With these experiments, Jefferson Lab aims to set world-leading limits on the space for new physics beyond the Standard Model in electroweak interactions.

6 What else at Jefferson Lab?

The program I briefly sketched out is not a comprehensive overview of the full experimental program. For lack of space, I had to cut out the discussion of some topics at the forefront of hadronic and nuclear physics just as important and fundamental for understanding our world. A comprehensive review of the Jefferson Lab physics program at 12 GeV is reported in [1].

An important part of the Jefferson Lab program will be to study the QCD structure of nuclei addressing a number of the most fundamental questions in modern nuclear physics, among them the nature of the nucleon-nucleon relative wave function at short distances and the modification of the quark-gluon structure of bound nucleons. Also by striking violently a quark by an 11 GeV electron and observing the hadrons that emerge, we can study the physics of hadron formation over a range comparable to the size of the nucleus.

The weak interaction will be used at Jefferson Lab not only to search evidence of new physics but also as a clean probe for new insights on the complex hadronic matter. The interference between the photon and the Z-boson will be used to measure the neutron skin of nuclei, like lead. Understanding this is important for the workings of astrophysical objects, like neutron stars.

The tomography of the nucleon is one of the flagship of the laboratory's experimental program but measurements of the unpolarized and polarized parton distribution function at large x and measurements of nucleon electromagnetic form factors will be performed as well.

Presently the approved experimental physics program at Jefferson Lab with the 12 GeV beam covers well beyond 7 years.

7 Conclusions

There are two mysterious forces that operate within the nucleus: the strong and the weak interactions. They both rule our world, they will be the focus of the investigation (strong force) and the tool for investigation (weak force) at Jefferson Lab with the 12 GeV beam.

The history of physics shows that new horizons of knowledge open up whenever experimental techniques advance. The capabilities of the upgraded CEBAF will represent a significant leap over previous technology, with an unmatched combination of beam energy, quality and intensity. The use of new detector technologies and high rate electronics will offer a powerful combination of experimental tools that far exceed the capability of previous experiments and facilities.

The past decade has provided many interesting, even exciting, surprises. We expect with the 12 GeV upgrade at Jefferson Lab more surprises to come.

Acknowledgment

I would like to thank all my colleagues who are contributing with all their enthusiasm, passion and dedication to the realization of this exciting scientific program. A special thank to Hugh Montgomery, Bob McKweon and Rolf Ent for giving me the opportunity to be part of the Jefferson Lab team.

Bibliography

- [1] J. Dudek *et al.*, *Eur. Phys. J. A*, 48 (2012) 187.

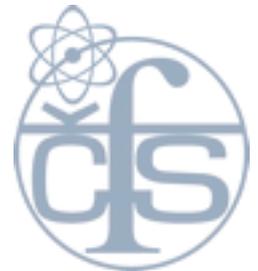
Patrizia Rossi

Patrizia Rossi is the Deputy Associate Director for Nuclear Physics at Jefferson Lab (JLab) and Staff Scientist at the Frascati National Laboratories of INFN (on leave). She is member of the Nuclear Science Advisory Committee of the US DOE and co-editor of the European Physical Journal A. Her scientific research focuses on hadron and nuclear physics. Her most recent investigations are related to the study of the transverse momentum dependent parton distribution functions for which she is co-spokesperson for several experiments. Besides her research at JLab, she has carried out experiments at DESY, ESRF and Frascati National Laboratories. She has co-authored over 180 refereed journal papers.

THE UNION OF THE CZECH MATHEMATICIANS AND PHYSICISTS AND THE CZECH PHYSICAL SOCIETY

ALICE VALKAROVA

Institute of Particle and Nuclear Physics, Charles University, Prague, Czech Republic



The Union of the Czech mathematicians and physicists was founded in 1862 in Prague by students of the Faculty of Philosophy of Charles-Ferdinand University. The first name of the Union was Association for Free Lectures of Mathematics and Physics, and its aim was to support the research in mathematics and physics, to improve the education in these fields and to prepare new young teachers. Lectures were held in German, but as early as in 1864 the Czech language became dominant. It is interesting to mention that among the people who supported the association during its first years there was for example Ernst Mach, (at that time a professor of the Faculty of Philosophy of Charles-Ferdinand University in Prague), who had offered his lecture hall for meetings and his laboratory for experiments.

The Union started to publish its own journal – Journal for Cultivation of Mathematics and Physics, in 1872. After the independent Czechoslovak Republic was established in 1918, the Union was renamed as the Union of Czechoslovak Mathematicians and Physicists and became the only Czech publisher of textbooks for schools, monographs and scientific articles. After the difficult period during the World War II the Union started its activities again in 1945, however after 1948, when the communist regime came to power, the Union lost not only its independence but also all its property, building, library, publishing house etc. The Physical Research Section (as a part of the Union) was

established in the new political climate in 1968. After 1990 this Section was transformed and renamed Czech Physical Society (CFS) – the national partner of the European Physical Society.

The Union has nowadays four special sections - the Czech Mathematical Society, the Czech Physical Society and two other sections for teachers of mathematics and physics. The Union has about 2000 members, who are university and high school teachers, scientists from academic institutes, students and people supporting mathematics and physics. The main aim of the Union is to promote the development in mathematics and physics at the universities, other academic institutions and in the industry. Great attention is also devoted to the improvement of teaching of mathematics and physics in all types of schools and to the outreach. Among other important activities it is worthwhile mentioning the organization of the Mathematical Olympiads (since 1951), Physical Olympiads (since 1959) and other competitions in mathematics and physics for children of the primary and high schools.

The Czech Physical Society includes scientists, students of physics and other people interested in physics. The members of the CFS are organized in groups (e.g. Energy group, Group of organization of research, Mathematical physics group, Magnetism group and so on) which aim to develop activities in many areas of physics. They organize lectures and national and international conferences and are in close contact with



Fig. 1 Demonstrations of physics experiments to attract children and young people to physics (photo Jiří Dolejší).



Fig. 2 Prof. Herwig Schopper during the celebration of 725th anniversary of the town Lanškroun (his birth town) with the mayor. On that occasion Prof. Schopper was awarded a medal of the Czech Physical Society (photo Jiří Dolejší).

analogue groups in EPS.

One of the most important activities of the CFS is to organize together with the Slovak Physical Society the common conference of the Czech and Slovak physicists every third year. The main aim is to invite outstanding Czech physicists and physicists from abroad to participate and present the latest achievements in physics during the plenary session. In the conference also young physicists present their results in parallel sessions. All contributions are published in conference proceedings. The last conference which was the 17th was held in 2011 in Zilina (Slovakia) and the next will be organized in Olomouc in 2014.

From 1993 the CFS organizes, every second year, the Milan Odehnal competition for young physicists. (Milan Odehnal (1932-1988) was an outstanding Czech experimental physicist working in the field of low temperatures.) Young physicists (age up to 30) present their publications or samples of publications and the jury awards the best three scientist a prize. The competition has a tendency of continually growing level.

Every second year the CFS holds the one-day Show of the best outreach activity. The outreach activities are presented not only by students and teachers but also by TV, radio, scientific parks and so on. The best outreach activities are awarded prizes. In the framework of many projects the CFS takes also part in the popularization of physics among children and young students directly in schools or in the streets

of Czech towns.

The Czech Physical Society awards also outstanding Czech physicists or physicists from abroad the Silver medal of the Czech Physical Society. One of those who have been awarded this medal was for example Prof. Herwig Schopper, former Director General of CERN, for his research activities and the effort to intergrate the post-communist countries in the European Physical Society.

The Union of Czech Mathematicians and Physicists celebrated its 150th anniversary in March 2012 in the historical building of the Charles University – Carolinum. Many representatives of the public, political and scientific life took part in the celebration, among the others the President of the Czech Republic Václav Klaus, the Rector of the Charles University, Václav Hampl, Rector of the Czech Technical University in Prague Václav Havlíček, and the President of the Czech Academy of Science Jiří Drahoš. During the week of the celebrations many events took place which addressed the wide spectrum of activities of the Union, e.g. the press conference, the exhibition which documented the history of the Union, the panel discussion devoted to questions of education in mathematics at high schools, the concert, the edition of the postal stamp of the anniversary, lectures about mathematics and physics and last but not least also the tour around the historical places in Prague connected with the history of mathematics and physics.



Fig. 3 Prof. V. Klaus (President of the Czech Republic) and Prof. V. Hampl (Rector of the Charles University in Prague) are leaving the plenary celebration of the Union's 150th anniversary (photo Rudolf Stolař).



Alice Valkarova

Alice Valkarova is a senior scientist of the Institute of Particle and Nuclear Physics of the Faculty of Mathematics and Physics of Charles University in Prague. Her main research topic is particle physics, specially collisions of antiprotons and electrons with proton. She spent part of her carrier at the Joint Institute of Nuclear Research in Dubna (former Soviet Union) and then in DESY laboratory in Hamburg (experiment H1 at HERA collider). She is the president of the Czech Physical Society from 2007.

L'archivio storico de Il Nuovo Cimento è disponibile per i Soci
 Cimento è disponibile per i Soci
 all'url: <http://members.sif.it>

IL NUOVO CIMENTO 150, 100, 50 ANNI FA

In questo numero presentiamo tre articoli i cui autori, o co-autori, furono Presidenti della Società e Direttori de Il Nuovo Cimento

150 ANNI FA

Da "Sulle correnti elettriche della terra" di Carlo Matteucci; Il Nuovo Cimento 18 (1863) 330.

Carlo Matteucci fondò con Raffaele Piria il Nuovo Cimento nel 1855, in continuazione de Il Cimento che essi stessi avevano iniziato nel 1844. Il Nuovo Cimento divenne l'organo della Società Italiana di Fisica quando questa fu creata nel 1897.

Sin da quando dopo la scoperta di Oersted fu inventato il galvanometro vi furono fisici che tentarono di scoprire con quest'istrumento se vi erano segni di corrente elettrica negli strati terrestri [...]

Ho disposte le mie esperienze sopra una vasta pianura di San Maurizio a 22 chilometri da Torino e nella quale si fanno annualmente i campi degli esercizi militari. Ho stabilito due linee formate con un filo di rame di 2 millimetri coperto di gutta-perca sospeso a quei sottili paletti che si usano nelle linee telegrafiche militari. Una delle linee era esattamente tesa nel meridiano magnetico e l'altra normalmente a questo piano. In ognuna di queste due linee entravano per ciò 6 chilometri di filo e uno strato terrestre della stessa lunghezza. D'ogni estremità del filo era praticata una buca profonda 2 metri [...] questa cavità era piena d'acqua [...] (e gli elettrodi) [...] Verso il mezzo delle due linee, circa dove si incrociavano, le linee erano troncate per entrare con i loro capi nelle stanze ove avevo collocati i galvanometri.

[...]

Qual è l'origine di queste correnti? Sarebbe impossibile di rispondere oggi colle cognizioni che abbiamo [...] Dobbiamo per ora limitarci a ritenere come perfettamente dimostrato che in un filo metallico le cui estremità sono immerse ad una certa profondità nella terra, circola una corrente elettrica che nel meridiano ha una direzione costante, che varia d'intensità con un certo periodo diurno e che non ha origine né nella parte metallica del circuito, né negli elettrodi, né nelle azioni chimiche fra gli elettrodi e gli strati terrestri [...]

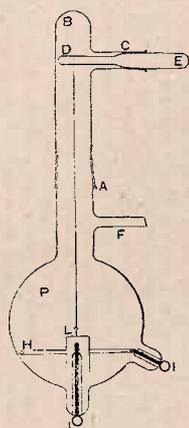


Fig. 1

100 ANNI FA

Da "Nuove ricerche sulle rotazioni ionomagnetiche" di A. Righi; Il Nuovo Cimento 6, (1913) 5.

Poiché le rotazioni ionomagnetiche sono un fenomeno differenziale, dovuto cioè all'essere preponderante a sconda delle circostanze l'azione prodotta dai ioni negativi e dagli elettroni, ho pensato che, qualora si potesse eliminare una delle due azioni, si otterrebbero effetti considerevoli. A tale scopo ho realizzato il corpo girevole [...]

Il pallone di vetro P (fig.1) è congiunto a smeriglio col tubo AB, il quale porta un ramo laterale C entro cui può girare a buona tenuta il tubo DE. Un altro ramo F partente dal collo del pallone serve per la connessione alle pompe. Il pallone porta due elettrodi. Uno J, costituito da un bastoncino di alluminio circondato in gran parte da un canello di vetro, e l'altro I prolungantesi in un anello. Il corpo mobile è un leggerissimo cilindro di alluminio L attaccato ad un filo di bozzolo LD più o meno avvolto intorno al tubo DE [...]

50 ANNI FA

Lo studio della configurazione $f_{7/2}$ fu uno dei principali contributi italiani alla spettroscopia nucleare a partire dal 1963 quando fu pubblicato l'articolo "capostipite" da Ricci ed il suo gruppo.

Da "Lower excited states of $^{50}_{22}\text{Ti}_{28}$ " di G. Chilosi, P. Cuzzocrea, G. B. Vingiani, R. A. Ricci, H. Morinaga; Il Nuovo Cimento 27 (1963) 86.

Summary. A detailed investigation of the decay of ^{50}Sc (1.7 min) has been undertaken by scintillation techniques. ^{50}Sc has been produced by (n,p) reactions with 14 MeV neutrons on metallic titanium foils. The level structure of the two- $f_{7/2}$ proton configuration in ^{50}Ti has been well established with the following sequence: 0 (0^+); 1570 keV (2^+); 2695 (4^+); 3215 (6^+). A complete decay scheme of ^{56}Sc is proposed, with β -transitions to the 6^+ and 4^+ states in ^{50}Ti . On this basis it is assumed that the spin of the ^{40}Sc ground state is 5^+ as expected by the shell model; however the β -transition probabilities can be explained assuming mixing between $(f_{7/2})(p_{3/2})$ and $(f_{7/2})(f_{5/2})$ couplings.

[...]

The decay scheme which can be proposed is shown in Fig. 4, where the level structure of ^{50}Ti is compared with the situation proposed for ^{42}Ca .

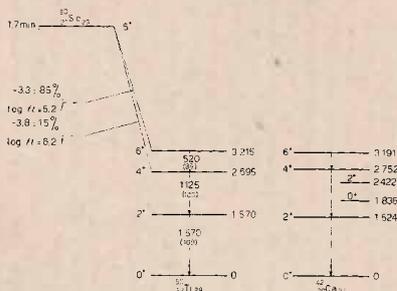


Fig. 4

a cura di
 Alessandro Bettini

LA SCUOLA DI FORMAZIONE DEL PERSONALE ADDETTO ALLA GESTIONE DEGLI ENTI PUBBLICI DI RICERCA

La valorizzazione professionale delle risorse umane è il fattore essenziale per la crescita qualitativa e quantitativa delle attività di ricerca pubblica. La formazione favorisce il cambiamento organizzativo, i processi di mobilità, un costruttivo atteggiamento culturale verso la riforma del pubblico impiego, un atteggiamento propositivo nei confronti dei miglioramenti nelle tecniche e negli strumenti di gestione della ricerca.

Per tutti questi motivi è sorta nel 1990 e si è consolidata nel 1995, mediante una convenzione tra tutti gli Enti di Ricerca, la Scuola di Formazione del personale addetto alla gestione delle Istituzioni e degli Enti pubblici di Ricerca.

Dal 2006 collaborano con la Scuola "la Scuola di Formazione manageriale" dell'Università Bocconi e la "Scuola di Management per le Università e gli Enti di Ricerca" della Business School del Politecnico di Milano.

Dal 28 al 31 maggio u.s. si è svolto, nell'Aula Magna della Casa della Gioventù dell'Università di Padova, in Bressanone, il XXIV Corso annuale della Scuola, affrontando temi di grande interesse, legati al ruolo fondamentale che il sistema ricerca ha per lo sviluppo culturale ed economico del nostro Paese.

Temi del Corso sono stati: il MIUR, la programmazione e il sostegno alle Infrastrutture di Ricerca; il trasferimento sul mercato delle tecnologie sviluppate dalla ricerca e il modello di gestione dell'Area Science Park; la gestione dei fondi per la ricerca; l'Agenda digitale (DL 18/10/2012 n. 179); il diritto di

accesso civico ai documenti amministrativi; il programma Horizon 2020; la riforma dell'art. 81 della Costituzione, patto di bilancio e sostenibilità del debito pubblico nel diritto comunitario e nella Costituzione; la lotta alla corruzione alla luce della legge 6/12/2012 n. 190; il ruolo del buyer pubblico e l'uso efficace del programma Consip; il nuovo mercato del lavoro alla luce della legge 28/6/2012 n. 92 e del DL 6/7/2012 n. 95; i concorsi pubblici alla luce della legge 12/11/2011 n. 183; la spending review per gli EPR, un anno dopo; il benchmarking: un'opportunità per gli enti di ricerca e la tavola rotonda finale sulla autonomia responsabile degli Enti Pubblici di Ricerca.

Alla tavola rotonda, moderata dal Direttore Generale dell'INGV, Dr. Massimo Ghilardi, hanno partecipato, in particolare: il Direttore Generale per il coordinamento e lo sviluppo della ricerca del MIUR, Dr. Emanuele Fidora, e il Presidente della SIF, Prof.ssa Luisa Cifarelli, in quell'occasione nella sua veste di Presidente del Centro Fermi.

Il Prof. Eugenio Coccia ha presentato la Scuola Sperimentale di dottorato internazionale Gran Sasso Science Institute.

Il programma del Corso, al quale hanno preso parte 140 dipendenti di tutti i 21 Enti Pubblici di Ricerca italiani, è stato sviluppato da 33 docenti (professori universitari, alti funzionari degli Organi dello Stato e direttori generali degli Enti stessi) ed è illustrato nel sito della Scuola:

www.ac.infn.it/Scuola_EPR.

Luciano Majorani



Sede della Scuola a Bressanone.

Gli Enti aderenti alla Scuola sono:

- Istituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa;
- Area Science Park;
- Agenzia Spaziale Italiana;
- Consiglio Nazionale delle Ricerche;
- Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura;
- Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile;
- Istituto Nazionale di Astrofisica;
- Istituto Nazionale di Alta Matematica "Francesco Saveri";
- Istituto Nazionale di Economia Agraria;
- Istituto Nazionale di Fisica Nucleare;
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia;
- Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica;
- Istituto Nazionale valutazione del sistema educativo di istruzione e di formazione;
- Istituto per lo sviluppo della formazione professionale dei lavoratori;
- Istituto superiore per la protezione e la ricerca sull'ambiente;
- Istituto Superiore di Sanità;
- Istituto Nazionale di Statistica;
- Istituto Italiano di Studi Germanici;
- Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche E. Fermi (Centro Fermi);
- Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale;
- Stazione Zoologica "Anton Dohrn".



XXIV Corso annuale della Scuola di Bressanone, Maggio 2013.



Luciano Majorani

Luciano Majorani, dirigente generale a.r. dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare; ideatore, fondatore e direttore della Scuola di Formazione del Personale degli Enti Pubblici di Ricerca; Revisore dei Conti della SIF dal 1972.

PASSION FOR PHYSICS

International School of Physics Enrico Fermi

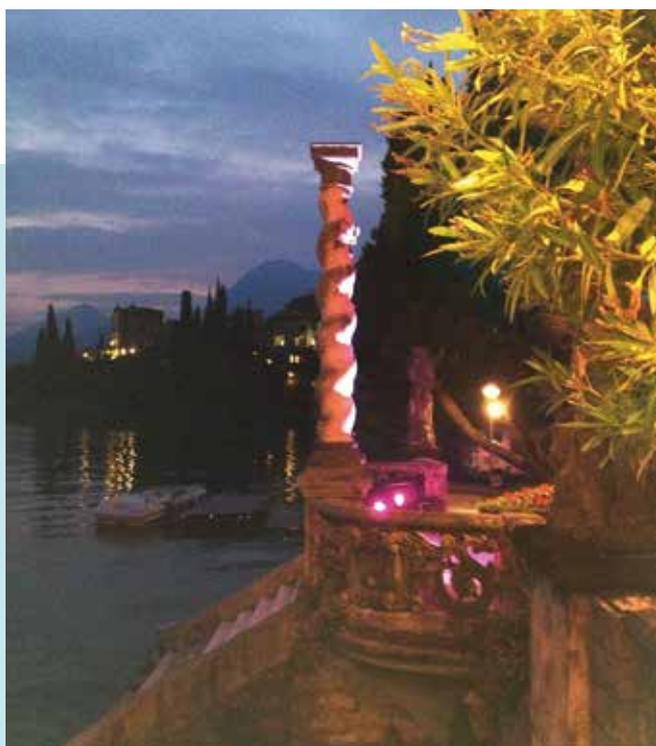
60th Anniversary



15 June 2013

Villa Monastero
Varenna (Lake Como)

UNDER THE HIGH PATRONAGE OF THE PRESIDENT OF THE ITALIAN REPUBLIC



Luci su Villa Monastero.

Il 14 e 15 giugno 2013 numerosi illustri scienziati si sono ritrovati a Varenna per celebrare il 60° anniversario della Scuola Internazionale di Fisica "Enrico Fermi".

L'evento ha avuto inizio la sera del 14 a Villa Cipressi con una cena di benvenuto per gli ospiti e le autorità. C'è stato anche il classico violento temporale che si è estinto nel dopo cena, in tempo per permettere di effettuare il previsto show di luci su Villa Monastero che, ammirato da Villa Cipressi, crea uno scenario coreografico veramente magico e suscita emozioni uniche.

Il giorno successivo a Villa Monastero, in un'affollata Aula Fermi, si è tenuto il Simposio Internazionale "Passion for Physics". In apertura il discorso di benvenuto del Presidente della

SIF, Luisa Cifarelli, del Presidente del CNR, Luigi Nicolais, e di Ezio Puppini in rappresentanza del Rettore del Politecnico di Milano. Infatti anche per quest'ultime due Istituzioni ricorrevano in concomitanza, rispettivamente, il 90° e il 150° anniversario della fondazione.

A seguire hanno portato i loro saluti le autorità locali: Gianluca Bezzi, Assessore al Territorio della Provincia di Lecco, Carlo Molteni, Sindaco di Varenna, e Vico Valassi, Presidente della Camera di Commercio di Lecco.

Si sono poi alternati oratori di fama internazionale, in maggioranza ex Direttori di Corsi della Scuola di Varenna, tra i quali due vincitori del Premio Nobel per la Fisica: Jack Steinberger e Carlo Rubbia.

Il programma completo e il video dell'evento sono disponibili in rete:
<http://www.sif.it/attivita/passionforphysics>



Jack Steinberger durante il suo discorso in Aula Fermi.

Si è parlato molto di fisica all'avanguardia in vari settori ma è stato dato anche spazio ai ricordi personali e agli aneddoti legati alle proprie esperienze a Varenna.

L'emozione è stata forte quando Jack Steinberger (91 anni) ha raccontato della sua esperienza di alunno di Fermi, con il quale aveva fatto la tesi di dottorato, e della sua partecipazione al celebre Corso di Varenna nel 1954. Ma anche del suo amore per la montagna e delle sue scalate effettuate coi membri del Club Alpino locale di cui, sempre nel 1954, era stato nominato socio onorario. E ancora di quando diresse a Varenna il Corso "Selected Topics in Particle Physics", nel 1967, anno in cui assieme a Bjorken scalò il Pizzo Badile, sottolineando la maggior

l'abilità del collega che aveva osato affrontare la scalata per la via più difficile.

Al termine della giornata, nell'incantevole scenario del lago al tramonto, i partecipanti hanno potuto assistere a un piacevole concerto all'aperto di antiche musiche mediterranee per arpa barocca e arciliuto del duo femminile Quintana Ensemble.

Dopo un buffet sempre all'aperto, il classico taglio della torta dei 60 anni da parte del Presidente, Luisa Cifarelli, e del Presidente Onorario, Renato Angelo Ricci, e a seguire lo spettacolo di luci su Villa Monastero, questa volta goduto sul luogo, complice una morbida serata di inizio estate.

Angela Oleandri

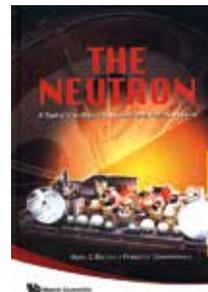
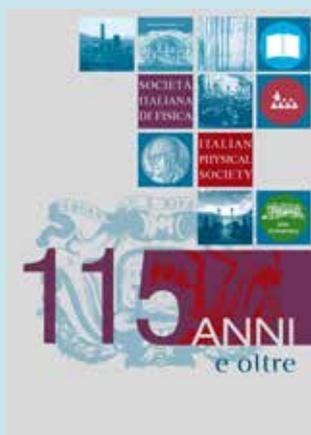


Taglio della torta per i 60 anni della Scuola.

Per i 115 anni della Società Italiana di Fisica compiuti nel 2012, è stata prodotta una edizione aggiornata in doppia versione italiano e inglese della brochure "110 anni e oltre", col titolo, questa volta, di "115 anni e oltre/115 years and beyond".

Il fascioletto contiene un po' di storia, tutti i dati salienti relativi ai Consigli di Presidenza e ai Presidenti che si sono alternati alla guida della Società, ai Congressi Nazionali e alle pubblicazioni della SIF. Sono inoltre elencati i premi e riconoscimenti, i vincitori dei premi più prestigiosi e le attività in genere della SIF. Particolare rilievo è dato alla Scuola di Varenna ai suoi corsi e ai numerosi vincitori del Premio Nobel per la Fisica che vi hanno partecipato in qualità di direttori o docenti che sono ben 60 proprio come gli anni della Scuola.

La brochure è stata distribuita in anteprima ai partecipanti al Simposio Internazionale "Passion for Physics", l'evento celebrativo del 60° Anniversario della Scuola di Varenna di cui si dà qui un breve resoconto. La Brochure sarà anche disponibile al 99° Congresso Nazionale della SIF di Trieste.



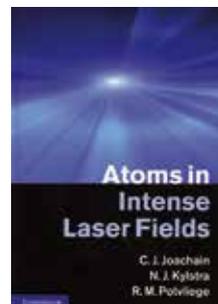
H. G. BÖRNER AND F. GÖNNERWEIN

THE NEUTRON
A TOOL AND AN OBJECT IN NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS

World Scientific, Singapore, 2012
pp. XII + 271, £58.90

Recensione di
G. Colò

Publicata online
23 aprile 2013



C. J. JOACHAIN, N. J. KYLSTRA,
R. M. POTVIEGE

ATOMS IN INTENSE LASER FIELDS

Cambridge University Press,
Cambridge, 2012

pp. XII + 568; € 80.00, US\$ 135.00

Recensione di
D. Batani

Publicata online
15 maggio 2013



B. KAMBIČ

LE COSTELLAZIONI AL BINOCOLO
TRECENTO OGGETTI CELESTI DA RICONOSCERE
ED ESPORARE

Springer-Verlag, Milano, 2013
pp. IX + 327, € 28,00

Recensione di
A. Sandrinelli

Publicata online
15 maggio 2013



P. BERRA

SIMMETRIE DELL'UNIVERSO
DALLA SCOPERTA DELL'ANTIMATERIA A LHC

Edizioni Dedalo, 2013
pp. 248, € 16.00

Recensione di
L. Belloni

Publicata online
15 maggio 2013



P. RICHET
UNA STORIA NATURALE DEL TEMPO
 TRADUZIONE ITALIANA DI GIULIO OTTONELLO
 PACINI EDITORE, PISA, 2010
 pp. 312, € 16.00

Recensione di
 G. Benedek

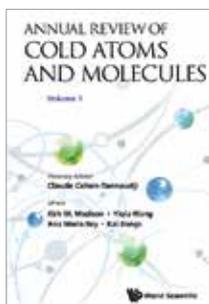
Pubblicata online
 12 giugno 2013



G. F. BIGNAMI
IL MISTERO DELLE SETTE SFERE
 COSA RESTA DA ESPLORARE: DALLA DEPRESSIONE DI
 AFAR ALLE STELLE PIÙ VICINE
 Strade Blu. Mondadori, Milano, 2013
 pp. 178, €17,50

Recensione di
 L. Belloni

Pubblicata online
 11 luglio 2013



**K. W. MADISON, Y. WANG, A. M. REY,
 K. BONGS**
 HONORARY ADVISOR: CLAUDE COHEN-
 TANNOUJI
**ANNUAL REVIEW OF COLD ATOMS AND
 MOLECULES**
 Vol. 1
 World Scientific, Singapore 2013
 pp. XIX + 518, GBP 58.00

Recensione di
 G. Benedek

Pubblicata online
 11 luglio 2013

IN RICORDO DI

Luigi Vannucci



Padova, 23 marzo 1953 -
 Piove di Sacco (Pd), 18 aprile 2013

R. A. Ricci

Pubblicato online
 13 maggio 2013

Franco Romano



Orbetello, 16 luglio 1942 -
 Bari, 16 maggio 2013

S. Nuzzo

Pubblicato online
 31 maggio 2013

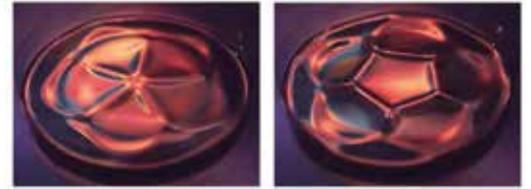
Mauro Francaviglia



Torino, 22 Giugno 1953 -
 Cosenza, 24 Giugno 2013

S. Capozziello

Pubblicato online
 1 agosto 2013



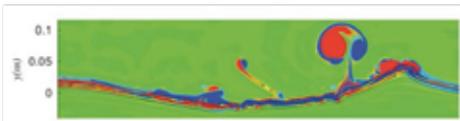
Reproduced with permission of the American Physical Society © 2013, from <http://prl.aps.org/supplemental/PRL/v110/i9/e094502>

DOVE VA L'ENERGIA DEI CAVALLONI?

I. Iafra, A. Babanin and M. Onorato, *Modulational Instability, Wave Breaking, and Formation of Large-Scale Dipoles in the Atmosphere*. *Physical Review Letters*, 110 (2013) 184504

Quando non ci sono tempeste, le onde del mare sono eccitate dal vento che soffia sulla sua superficie. L'articolo presenta una simulazione dell'interazione tra onde marine non lineari ed atmosfera in mare aperto, basata sul più accurato modello computazionale attualmente disponibile. Le conclusioni contraddicono precedenti convinzioni che la maggior parte dell'energia dalla rottura delle onde rimanesse nell'acqua.

We use direct numerical simulation of the Navier-Stokes equations for a two-phase flow (water and air) to study the dynamics of the modulational instability of free surface waves and its contribution to the interaction between the ocean and atmosphere. If the steepness of the initial wave exceeds a threshold value, we observe wave-breaking events and the formation of large-scale dipole structures in the air. Because of the multiple steepening and breaking of the waves under unstable wave packets, a train of dipoles is released in the atmosphere; those dipoles propagate at a height comparable with the wavelength. The amount of energy dissipated by the breaker in water and air is considered, and contrary to expectations, we observe that the energy dissipation in air is greater than that in water. The possible consequences on the wave modeling and on the exchange of aerosols and gases between air and water are discussed.



Reproduced with permission of the American Physical Society © 2013, from <http://physics.aps.org/articles/v6/51>

UN'ALTRA FORMA DI MATERIAL OSCURO?

J. Fan, A. Katz, L. Randall and M. Reece, *Dark-Disk Universe*. *Physical Review Letters*, 110 (2013) 211302

In this Letter we propose that the dark world could be as complex as the visible world, with a simple assumption: while most of the dark matter is cold and collisionless, a subdominant fraction that we call partially interacting dark matter (PIDM) could interact more strongly and even cool as baryons do. This subdominant fraction could have an energy density about as large as that of baryons, without having been noticed so far.

I MOMENTI MAGNETICI DI PROTONE E ANTIPROTONE SONO DIVERSI?

J. Di Sciaccia et al., *One-Particle Measurement of the Antiproton Magnetic Moment*. *Physical Review Letters*, 110 (2013) 130801 (ATRAP Collaboration)

La simmetria sotto l'inversione contemporanea degli assi spaziali (parità), del tempo e lo scambio particella-antiparticella, CPT, è basilare in tutte e teorie quantistiche di campo. Essa comporta che le caratteristiche delle particelle e delle loro antiparticelle debbano essere tutte uguali ed opposte. Occorre verificarne le previsioni con estrema accuratezza.

The \bar{p} magnetic moment was previously deduced only from measured transition energies in exotic atoms in which a \bar{p} orbits a nucleus as a "heavy electron." Measurements 25 and 4 years ago both reached a 3000 ppm precision. Meanwhile, single particle methods were used to measure other magnetic moments to a much higher precision [in particolare per l'elettrone]. This Letter reports the first single-particle measurement of the \bar{p} magnetic moment, a 4.4 ppm determination that is 680 times more precise than realized with exotic atoms.

NAVI E SCIE

M. Rabaud and F. Moisy, *Ship Wakes: Kelvin or Mach Angle?*. *Physical Review Letters*, 110 (2013) 214503

L'angolo di apertura della scia delle navi è davvero sempre quello di Lord Kelvin?

From the analysis of a set of airborne images of ship wakes, we show that the wake angles decrease as U^{-1} at large velocities, in a way similar to the Mach cone for supersonic airplanes. This previously unnoticed Mach-like regime is in contradiction with the celebrated Kelvin prediction of a constant angle of 19.47° independent of the ship's speed. We propose here a model, confirmed by numerical simulations, in which the finite size of the disturbance explains this transition between the Kelvin and Mach regimes at a Froude number $Fr = U/\sqrt{gL}$; 0.5, where L is the hull ship length.



© User: Edmont/Wikimedia Commons/CC-BY-SA-3.0

POLIGONI E STELLE

J. Raichenach, D. Clamond and A. Leroux, *Observation of Star-Shaped Surface Gravity Waves*. *Physical Review Letters*, 110 (2013) 094502

Le onde alla superficie del mare, chiamate di gravità perché questa è la forza di richiamo, possono combinarsi in modo da creare forme inusuali, dato che l'equazione di queste onde non è lineare. Per la prima volta gli autori sono riusciti a produrre in laboratorio onde superficiali a forma di stella e di poligono.

Nonlinear and dispersive effects in water waves give rise to remarkable phenomena, such as solitary and freak waves. These wave phenomena, originally observed at a liquid surface, turned out to have analogues in a number of other domains involving nonlinear waves. For example, solitary waves have also been recognized in optical fibers and "freak" waves, which are giant waves of very short lifetime have been identified in fiber optics and in plasmas... In this Letter, we report the observation of a new type of standing waves, displaying alternatively a starlike and a polygonal shape. These waves are observed at the free surface of a liquid submitted to vertical sinusoidal vibrations.

INTERAZIONE CARICA-SUPERFICIE DIELETTICA

P. R. Ribic and R. Podogornik, *Interaction of a point charge with the surface of a uniaxial dielectric*. *EPL*, 102 (2013) 24001

Il moto di una particella carica parallelo ad una superficie solida è un problema studiato di elettrodinamica classica. Ciò non ostante ci sono ancora risultati inattesi.

... We present a derivation of the force on the charged particle starting from Maxwell's equations in Fourier space and then evaluate the force numerically in real space. We show that the longitudinal component of the force (parallel to the dielectric surface) is in general not parallel to the particle velocity anymore and that its direction depends on the particle speed (energy). We demonstrate two peculiarities of the plasma-type response: 1) the direction of the longitudinal force depends on the distance of the particle from the surface and 2) under specific conditions the particle can be repelled by the surface.

a cura di Alessandro Bettini

<http://www.e2c2013.mke.org.hu/>

3rd EUROPEAN ENERGY CONFERENCE - E2C 2013
October 27-30, 2013 - Budapest, Hungary

8^o Congresso Nazionale AIFM Torino 2013

TORINO
16-19 Novembre 2013
Centro Congressi Lingotto

<http://www.aifm2013.org/>

RICH 2013
8th International Workshop on Ring Imaging Cherenkov Detectors
Shonan, Kanagawa, Japan,
December 2nd - 6th 2013

<http://rich2013.kek.jp/>

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

2013

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:
Address where Bulletin and Society communications are to be sent:

a

b

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 € 45,00
INDIVIDUAL Member

Socio JUNIOR al di sotto dei 30 anni € 25,00
JUNIOR Member under 30

Socio INDIVIDUALE anche membro di altre associazioni scientifiche relative alla fisica (**) € 35,00
INDIVIDUAL Member also member of other scientific associations (**)

Socio COLLETTIVO € 260,00
COLLECTIVE Member

Socio SOSTENITORE (a partire da) € 310,00
SPONSORING Member (starting from)

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 2013 della Società Italiana di Fisica

- | | | |
|---|----------|--------------------------|
| <input type="radio"/> Socio Individuale | € 45,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio Junior al di sotto dei 30 anni | € 25,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio Individuale anche membro di altra associazione scientifica relativa alla fisica (*) | € 35,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio Collettivo | € 260,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio Sostenitore (a partire da) | € 310,00 | <input type="checkbox"/> |

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

Per diventare Socio EPS:

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

Quote sociali 2013 della Società Europea di Fisica per "Individual membership"

- | | | |
|--|---------|--------------------------|
| <input type="radio"/> Socio | € 22,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio al di sotto dei 30 anni | € 16,50 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio in pensione | € 16,50 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Studente | € 16,50 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Insegnante (pre-universitario) | € 16,50 | <input type="checkbox"/> |

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

UNA GIOVANE SOCIETÀ ITALIANA CI PORTA A FARE...

...DUE PASSI NEL VUOTO!

VACUUM FAB
MOTION CONTROL & OPTICS



Guido Giorgi, 43 anni, proprietario e direttore di Vacuum FAB, ci racconta la sua azienda.

Vacuum FAB? Ma che nome è?

Beh, è un gioco di parole con cui ci siamo divertiti:

Vacuum in latino significa "vuoto"... e il cuore della nostra attività è proprio il micro posizionamento in vuoto e in UHV. FAB, invece, evoca la parola inglese Fabulous ma anche, più semplicemente, quella italiana Fabbricazione; è un modo per dire che la nostra sfida è proprio quella di proporre soluzioni ingegnose in ambienti di vuoto.

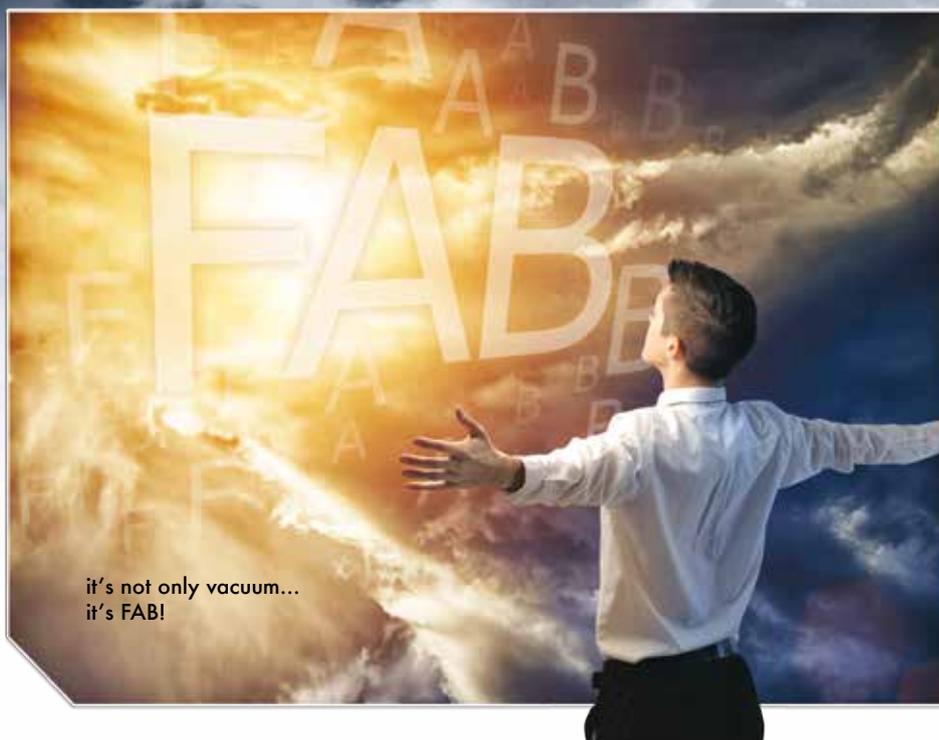
Quando nasce Vacuum FAB?

Nel gennaio 2013 da Micos Italia, la filiale italiana di miCos. Infatti, di seguito all'acquisto di miCos GmbH da parte di PI GmbH, anche Micos Italia ha ceduto a PI Italia parte del suo mercato di componenti standard per aria; questa cessione ha reso necessario riorganizzare il nostro mercato. Oggi Vacuum FAB, la società di cui sono titolare, è al 100% di capitale italiano. Abbiamo mantenuto la fiducia dei nostri fornitori e clienti e abbiamo deciso di proseguire l'attività specializzandoci, come dicevo, nel micro posizionamento in vuoto, pur mantenendo l'originaria competenza nel ramo dell'ottica.

Quali esigenze vi manifestano con più insistenza i vostri clienti?

In Italia ci sono tante realtà che posseggono know how, tecnologie e un'idea forte ma sono prive della struttura per realizzarla; così, laboratori di ricerca o piccole spin off che hanno idee brillanti banalmente non dispongono di un'officina che possa realizzare particolari meccanici o uno studio di progettazione meccanica ...; insomma, tutti quei tasselli che permettano di passare da un'idea a un prototipo, oppure a un oggetto da produrre in piccola o larga scala. Noi, per rispondere a questa esigenza, abbiamo sempre cercato di realizzare soluzioni su misura, il più possibile basate su componenti a catalogo, quindi con costo di sviluppo contenuto.

L'idea è quella di fornire soluzioni "chiavi in mano" per i nostri clienti. Ed è uno stile che abbiamo cercato di realizzare fin dal 2000,



quando è stata aperta la prima filiale italiana di miCos dalla quale proveniamo.

Quali sono i vostri settori di competenza?

Oltre al micro posizionamento in vuoto e UHV, anche in criogenia e applicazioni spaziali. Si tratta di un settore di nicchia in cui siamo in grado di offrire soluzioni che pochi altri sono in grado di proporre. Parallelamente ci occupiamo anche di micro posizionamento associato alla microscopia o all'imaging o all'acquisizione dati.

Chi sono i vostri fornitori?

Tra i nostri fornitori e partner principali c'è PI miCos, famosa per tutto il capitolo micro posizionamento (traslatori, rotatori di precisione ma anche sistemi complessi, come soluzioni complete per beamline), PI, conosciuta per il robot Hexapod di cui è leader del mercato; Phytron, società tedesca leader nella produzione di motori per applicazioni speciali (per vuoto, UHV, criogenia e spazio); infine Qioptiq, società tedesca che fa ottiche di vario genere, da video microscopia a micro-ottiche, e ottiche per laboratorio laser. Come dicevo, non sono semplici fornitori ma partner, perché assieme ci consentono di fornire un'offerta davvero unica.

In che modo?

Rappresentare queste società in Italia ci offre un grande vantaggio: infatti possiamo

contare su una gamma di prodotti estremamente completa, che ci permette di offrire tecnologie molto diverse tra loro; ad esempio, motori passo passo, oppure a corrente continua, oppure piezoelettrici, o meccaniche per vuoto o UHV, ottiche di vario genere ...; in effetti non ci troviamo mai a scegliere un prodotto perché è l'unico che possiamo offrire dal nostro catalogo; ma siamo in grado di scegliere la tecnologia veramente più adeguata alle esigenze del cliente, mettendoci nei suoi panni e domandandoci come rispondere nel migliore dei modi alle sue necessità.

Peculiarità di Vacuum FAB sono i suoi seminari tecnici.

Una delle cose che abbiamo fatto e vogliamo continuare a fare è condividere le nostre conoscenze coi clienti. Per questo, quando è possibile organizziamo seminari tecnici per informare i clienti delle tecnologie e delle conoscenze che abbiamo acquisito. Questo perché, in realtà, noi impariamo dai nostri clienti: quando c'è un'applicazione nuova e una richiesta del cliente inedita, per noi è una sfida e per la nostra azienda un'occasione di crescita professionale. Ci piace aiutare i nostri clienti, per noi rappresenta una preziosa opportunità che ci consente di imparare e crescere con loro. Così come instaurare un clima lavorativo improntato sulla reciproca stima.

A Tutto Tondo

PER GENERARE FORZA, MOVIMENTO ED OSCILLAZIONE



PILine® Dispositivo ad Alta Velocità

- + Forza di spinta fino a 10 N
- + Velocità fino a 500 mm/s
- + Accuratezza Sub-Micrometrica



Attuatore Piezo PiezoMove®

- + Corse fino a 1 mm
- + Risoluzione sub-nanometrica
- + Elevata dinamica



PICMA® Attuatori Piezo Multistrato

- + Grande affidabilità
- + Risposta nei microsecondi
- + Risoluzione sub-nanometrica

La loro capacità di generare forza, movimento ed oscillazioni ultrasoniche con la massima precisione, fa dei piezo la prima scelta in un'ampia gamma di applicazioni nel settore medicale. Che si parli di generazione di oscillazioni ultrasoniche o di microdosimetria, PI offre un'ampia gamma di soluzioni standard o custom.

Per informazioni: info@pionline.it - www.pionline.it

Physik Instrumente S.r.l. · Telefono +39 02 66501101



Precision and control:
FABulous blend!



Vacuum FAB rappresenta in Italia le seguenti case:

Phytron: Motori passo passo ed elettroniche per applicazioni in aria, vuoto, UHV, criogenia e spazio.

PI miCos: per componenti e sistemi di micro-posizionamento in vuoto, UHV, criogenia e spazio,

PI: per componenti e robot Hexapod per vuoto.

Qioptiq: componenti ottici per laser, video-microscopia, micro-ottica, imaging.

Vacuum FAB può realizzare soluzioni su misura dall'idea al prodotto finito.

Contatti: Tel. +39 02 90363318 - info@vacuumfab.it - www.vacuumfab.it

CAEN HV CONTROL SOFTWARE

POWER IS NOTHING WITHOUT CONTROL

- Thanks to the **New HV Control Software**, our bridges (V1718, V2718) and the VME Multimaster capability, our VME High Voltage Boards **become a System**.
- The **NEW** and entirely redesigned Control Software establishes a new benchmark: intuitive, reliable, user friendly and able to control all the CAEN Power Supplies in any Form Factor (Mainframes, VME, NIM, Desktop and NDT). **A NEW market referencel**



VME Programmable HV Family

Common Features:

- Available with positive, negative or mixed polarity
- Optional Imon-Zoom available
- 6 independent channels
- General purpose instruments for use with: Photomultiplier tubes, Germanium detectors and many others devices

Table comparing models

Model	V Full Scale	Maximum Current	Iset/Imon resolution
V6519	0.5 kV	3 mA	50 nA (5 nA*)
V6521	6 kV	300 μ A	5 nA (0.5 nA*)
V6521H	6 kV	20 μ A	1 nA (0.1 nA*)
V6533	4 kV	3 mA (9 W max)	50 nA (5 nA*)
V6534	6 kV	1 mA	20 nA (2 nA*)

* Optional Imon Zoom x10



www.caen.it



V1718 - V2718
EASY SET-UP VIA
USB/OPTICAL LINK
THANKS TO
NEW HV CONTROL
SOFTWARE

**COMPATIBLE WITH BOTH
LOW COST AND HIGH
PERFORMANCE CRATES**

- VME8010, VME8011, VME8004B
- VME8100, VME8200

**ALL VME HV
Modules Available
with Positive, Negative
and Mixed Polarity**