

Curriculum scientifico di F. Della Valle

- nato nel 1957;
- laureato in Fisica con lode presso l'Università degli Studi di Napoli nel 1982;
- Dottore di Ricerca in Fisica presso l'Università degli Studi di Trieste nel 1989;
- afferente a Trieste al Centro Interuniversitario Struttura della Materia dal 1984 al 1989;
- Senior Research Assistant presso il Dipartimento di Chimica Inorganica, Fisica e Industriale dell'Università di Liverpool (UK) da maggio a novembre 1985;
- ricercatore universitario (Settore disciplinare: FIS/01 Fisica Sperimentale, Settore concorsuale: 02/A1) dal 1990, fino al 2017 presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Trieste, poi presso il Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Siena;
- associato con incarico di ricerca all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Commissione Scientifica Nazionale II dal 1990;
- attualmente collabora all'esperimento VMBCERN della Commissione Scientifica Nazionale II dell'INFN (fisica fondamentale senza l'uso di acceleratori);
- di questo esperimento è attualmente responsabile locale;
- afferente al Centro Studi e Ricerche per la Pace dell'Università di Trieste dal 2000 al 2012;
- coautore di ca. 90 pubblicazioni su riviste internazionali, libri o atti di convegni;
- la sua produzione scientifica ha indice Hirsch $h = 23$ almeno;
- i suoi lavori sono stati citati più di 1800 volte (Scopus);
- ha buona conoscenza della lingua inglese, rudimenti di francese e spagnolo;
- recapiti permanenti:
 - Dipartimento di Scienze Fisiche della Terra e dell'Ambiente, Università di Siena, via Roma 56, 53100 Siena, tel. 0577 234 671
 - e-mail: federico.dellavalle@unisi.it, federico.dellavalle@pi.infn.it
 - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4043-5178>
 - Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603089336>

Attività scientifica

Film sottili metallo-semiconduttore (1981-82)

Per la tesi di laurea in Fisica studia la giunzione metallo-semiconduttore (diodi Schottky) mediante caratterizzazione metallurgica ed elettrica dei processi di interdifusione in fase solida a basse temperature ($\sim 300^\circ\text{C}$) di strati sottili ($\sim 10^3 \text{ \AA}$) metallici depositati su un substrato semiconduttore monocristallino. La tesi, svolta presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Modena, ha per titolo "Formazione di composti metallo-semiconduttore: Ni-Si", relatori i Proff. G. Ottaviani dell'Università di Modena e B. Preziosi dell'Università di Napoli. I campioni, ottenuti mediante evaporazione in vuoto, sono caratterizzati con misure di retrodiffusione Rutherford di ioni $^4\text{He}^+$, diffrattometria di raggi X, e attraverso l'analisi elementale in profondità ottenuta mediante l'abbinamento della spettroscopia elettronica Auger (AES) e dell'erosione della superficie del campione da parte di un fascio di ioni Ar^+ .

Il lavoro svolto sul sistema Ni-Si dimostra che all'interfaccia con il substrato si forma il composto Ni_2Si , il cui spessore cresce nel tempo con una legge dettata dalle velocità di diffusione fino ad esaurire tutto il metallo disponibile. Solo a questo punto, all'interfaccia tra il composto e il substrato, comincia a crescere il composto NiSi, meno ricco in metallo. Il fatto che le velocità di diffusione risultino differenti per diverse orientazioni del substrato è indice di una diversità delle strutture microcristalline dei composti cresciuti su differenti substrati.

Pubblicazioni relative a questo argomento:

- G. Majni, F. Della Valle, C. Nobili, "Growth kinetics of NiSi on $\langle 100 \rangle$ and $\langle 111 \rangle$ silicon", J. Phys. D **17**, L77 (1984)
- G. Majni, M. Costato, F. Della Valle, "On the growth kinetics and structure of the NiSi compound on silicon single crystals", Nuovo Cimento D **4**, 27 (1984)

Fisica delle superfici (1983-89)

Lavora alla determinazione della struttura geometrica ed elettronica di superfici solide con e senza adsorbati nel Laboratorio Tecnologie Avanzate Superfici e Catalisi (TASC) dell'Area di Ricerca Scientifica e Tecnologica di Trieste diretto dal Prof. R. Rosei. Le tecniche di laboratorio impiegate sono l'AES, la fotoemissione e, soprattutto, la spettroscopia elettronica della perdita di energia (EELS). Tutte queste tecniche richiedono l'ultra alto vuoto ($\sim 10^{-10}$ mbar).

Mediante EELS misura gli spettri di una serie di sistemi solidi, confrontandoli con gli spettri di assorbimento ottico. Lo studio rileva la presenza di piccole ma significative differenze tra gli spettri dei due tipi che sono imputabili alla presenza, nel caso dell'EELS, di diffusioni multiple e transizioni di quadrupolo.

Nel 1985, durante un soggiorno di sei mesi come Senior Research Assistant presso il Department of Inorganic, Physical and Industrial Chemistry dell'Università di Liverpool (UK), studia la struttura di adsorbati su superfici metalliche monocristalline con il gruppo del Prof. D.A. King. Lavora presso la Synchrotron Radiation Source dei Laboratori Nazionali di Daresbury, occupandosi di SEXAFS (Surface Extended X-ray Absorption Fine Structure) e NEXAFS (Near Edge X-ray Absorption Fine Structure). Altre tecniche di laboratorio impiegate sono l'AES, la diffrazione di elettroni di bassa energia (LEED) e la spettroscopia del desorbimento termico. Il lavoro svolto in questo periodo permette per la prima volta di determinare la struttura di un adsorbato (Cl su $\text{Ag}\{110\}$) non in registro con il substrato, distinguendola dal caso della formazione di più domini.

Durante il Dottorato di Ricerca in Fisica (1985-88) studia mediante EELS le eccitazioni di scambio in vari sistemi. L'esistenza di queste eccitazioni, non previste dalla teoria dielettrica

dell'EELS, è legata all'indistinguibilità degli elettroni del fascio primario da quelli del solido. In questi processi, infatti, un elettrone primario è catturato in un livello vuoto e la sua energia ceduta ad un elettrone del solido. In tal modo è possibile eccitare transizioni altrimenti proibite per simmetria o per spin.

Durante il Dottorato è responsabile operativo del laboratorio ESCA¹-LEED-Augur del Laboratorio Tecnologie Avanzate Superfici e Catalisi (TASC) dell'Area di Ricerca di Trieste. La tesi ha per titolo "Transizioni di scambio nella diffusione anelastica elettrone-solido". Con il lavoro di Dottorato dimostra che nei ferromagneti itineranti, in cui le transizioni di scambio danno luogo alle cosiddette eccitazioni di Stoner e sono osservate come transizioni di *spin-flip*, è possibile identificare le transizioni di scambio facendo uso solo della dipendenza della loro sezione d'urto dall'energia del fascio primario, evitando in tal modo la necessità di un'analisi in spin dei fasci primario e/o diffuso. L'intensità delle eccitazioni di scambio è infatti esaltata alle basse energie del fascio primario. L'energia delle eccitazioni di Stoner nel Fe è misurata e trovata costante fin oltre la temperatura di Curie. Con la stessa tecnica studia le transizioni di scambio nelle terre rare, dove esse danno luogo a transizioni non dipolari di *spin-flip* e non di *spin-flip* tra i livelli *f*. Risulta poi che la sezione d'urto delle transizioni *f-f* ha una risonanza per l'energia del primario uguale all'energia di legame dei livelli *4d*.

Dopo aver conseguito il titolo di Dottore di Ricerca, lavora nel laboratorio TASC del Consorzio Interuniversitario Nazionale Fisica della Materia diretto dal Prof. F. Tommasini alla misura, con tecniche di Fisica delle Superfici, delle velocità di alcune reazioni di particolare rilevanza nella catalisi eterogenea, in particolare dei passi iniziali della reazione di metanazione. Studia la dissociazione del monossido di carbonio su una superficie monocristallina di Ni a temperature $\sim 500^\circ\text{C}$ e pressioni $\sim 10^{-6}$ mbar. Il processo è identificato come una reazione unimolecolare e ne è misurata l'energia di attivazione.

Pubblcazioni relative a questo argomento:

- S. Modesti, F. Della Valle, R. Rosei, E. Tosatti, J. Glazer, "Ferromagnetic Stoner excitations detected by electron energy loss spectroscopy", *Phys. Rev. B* **31**, 5471 (1985)
- D.J. Holmes, N. Panagiotides, R. Dus, D. Norman, G.M. Lambie, C.J. Barnes, F. Della Valle, D.A. King, "Discrimination between a domain wall structure and uniformly incommensurate structures by surface extended x-ray absorption fine structure: Adsorption of chlorine on Ag{100}", *J. Vac. Sci. Technol. A* **5**, 703 (1987)
- S. Modesti, F. Della Valle, C.J. Bocchetta, E. Tosatti, G. Paolucci, "Normal versus exchange inelastic electron scattering in metals: Theory and experiment", *Phys. Rev. B* **36**, 4503 (1987)
- S. Modesti, F. Della Valle, G. Paolucci, "Spin-exchange processes in inelastic electron scattering from metals", *Phys. Scr.* **T19B**, 419 (1987)
- F. Della Valle, G. Comelli, F. Zanini, R. Rosei, G. Paolucci, "Comparison between optically and electron excited transitions above oxygen and nitrogen K edges in Cu₂O, O/Al, O/Ni, SiO₂, and Si₃N₄", *Phys. Rev. B* **38**, 13355 (1988)
- F. Della Valle, S. Modesti, "Exchange-excited *f-f* transitions in the electron-energy-loss spectra of rare-earth metals", *Phys. Rev. B* **40**, 933 (1989)
- A. Santoni, C. Astaldi, F. Della Valle, R. Rosei, "CO dissociation on Ni(100) studied by Auger Electron Spectroscopy", in *Structure and reactivity of Surfaces* a cura di C. Morterra, A. Zecchina, G. Costa, (Elsevier, Amsterdam, 1989), p. 825
- C. Astaldi, A. Santoni, F. Della Valle, R. Rosei, "CO dissociation and recombination reactions on Ni (100)", *Surf. Sci.* **220**, 322 (1989)
- F. Della Valle, S. Modesti, "Exchange excited f-f transitions in the electron-energy-loss spectra of rare-earth metals", *Helv. Phys. Acta* **62**, 826 (1989)

¹ESCA: Electron Spectroscopy for Chemical Analysis, fotoemissione.

Monocromatori per raggi X molli (1986)

Collabora con la Sottocommissione Utenti del Trieste Synchrotron Radiation Project alla caratterizzazione mediante *ray-tracing* di monocromatori in incidenza radente per raggi X “molli” ($h\nu < 1000$ eV). Dimostra che gli errori di pendenza presenti sugli elementi ottici, oltre a ridurre la risoluzione di un monocromatore, pongono un limite alla brillantezza dei fasci monocromatici di fotoni ottenibili da una macchina di luce di sincrotrone.

Publicazioni relative a questo argomento:

- R. Rosei, F. Della Valle, F. Zanini, F. Cerrina, B. Lai, “Slope error limitations of soft x-ray monochromator resolution”, TSRP-IUS-9/86
- F. Della Valle, F. Zanini, R. Rosei, F. Cerrina, B. Lai, “Performance of the SX-700 plane grating monochromator using an undulator source”, TSRP-IUS-13/86

Proprietà quantistiche del vuoto: gli esperimenti PVLAS (1990-2019) e VMBCERN (dal 2020)

Collabora – inizialmente con il Prof. E. Zavattini dell’Università di Trieste – alla progettazione e allo sviluppo di un polarimetro di altissima sensibilità (esperimento PVLAS – Polarizzazione del Vuoto con LASer – dell’INFN). Questo esperimento si propone di verificare la previsione dell’Elettrodinamica Quantistica secondo la quale un campo magnetico statico \vec{B}_0 induce nel vuoto, attraverso l’interazione fotone-fotone, una birifrangenza con una differenza tra gli indici di rifrazione pari a $\Delta n/B_0^2 = 4 \times 10^{-24} \text{ T}^{-2}$. Un fascio di luce polarizzato linearmente che si propaga ortogonalmente a \vec{B}_0 acquista quindi un’ellitticità.

Le proprietà di propagazione della luce dipendono anche dall’eventuale esistenza di particelle leggere con carica frazionaria o anche di particelle neutre bosoniche leggere che si accoppino a due fotoni attraverso l’effetto Primakoff. Una particella di quest’ultimo tipo è stata ad esempio postulata nell’ambito della Cromodinamica Quantistica con il nome di “assione”; l’esistenza di particelle simili è stata invocata anche per spiegare la cosiddetta “massa mancante” dell’Universo. Un dicroismo, che induce una rotazione apparente della polarizzazione, sarebbe la dimostrazione della produzione di tali particelle; in questo processo si dovrebbe generare anche una birifrangenza. Le due misure della rotazione e dell’ellitticità permettono la determinazione della massa e della costante d’accoppiamento della particella.

In estrema sintesi, l’apparato comprende un laser Nd:YAG (1064 nm) accordato mediante un sistema originale di aggancio di fase ad una cavità Fabry-Perot che allunga il percorso della luce nel campo magnetico amplificando così l’effetto fisico. All’interno della cavità il fascio attraversa un magnete dipolare, acquistando un’ellitticità. Il polarimetro, ospitato in una camera da ultra alto vuoto, è compreso tra un polarizzatore in ingresso e un prisma analizzatore in uscita ruotato in posizione di estinzione. L’effetto cercato è una trasmissione di luce nel fascio estinto che dipende in maniera caratteristica dall’angolo ϕ tra le linee del campo magnetico e la polarizzazione della luce secondo $\sin 2\phi$. L’effetto è modulato alla frequenza $2\nu_B$ per avvalersi della tecnica eterodina: all’uscita della cavità il fascio attraversa un secondo modulatore di ellitticità a frequenza $\nu_m \gg \nu_B$. In queste condizioni l’apparato è sensibile all’ellitticità; per effettuare misure di rotazione si inserisce una lamina quarto d’onda prima del modulatore. In entrambi i casi l’effetto cercato genera, nello spettro di frequenza della luce trasmessa, componenti monocromatiche alle frequenze $\nu_m \pm 2\nu_B$, di ciascuna delle quali si misurano l’ampiezza e la fase. L’effetto del rumore $1/f$ legato al picco a frequenza ν_m è tanto minore quanto più è alta la frequenza di rotazione del magnete. Nell’esperimento PVLAS la modulazione dell’effetto era ottenuta ruotando il magnete attorno al proprio asse meccanico ad una frequenza ν_B . Nell’esperimento VMBCERN, disegnato per avvalersi di un magnete

dipolare di LHC con $\int B_0^2 dL = 1200 \text{ T}^2\text{m}$, si pensa di ottenere questa modulazione mediante la simultanea rotazione di due lamine mezz'onda, generando una rotazione della polarizzazione all'interno del campo magnetico ma non sugli specchi.

L'attività sperimentale volta alla misura della birifrangenza magnetica del vuoto ha avuto diverse fasi: il primo *set-up* dell'esperimento è stato completato nel 2001 presso i Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN, dove è rimasto fino a tutto il 2008. Il magnete, lungo 1 m, era superconduttore all'elio liquido ($B_0 = 5.5 \text{ T @ } 2000 \text{ A}$) montato su una tavola oleodinamica rotante a frequenza $\nu_B \approx 0.3 \text{ Hz}$. La cavità Fabry-Perot, verticale, era lunga 6.4 m e aveva finesse $\mathcal{F} \approx 10^5$. La sensibilità in ellitticità del polarimetro era dell'ordine di $10^{-6} 1/\sqrt{\text{Hz}}$. Fin dall'inizio si è osservato negli spettri un segnale di rotazione di ampiezza $\sim 1.7 \times 10^{-7} \text{ rad}$. Il segnale era inoltre accompagnato da un segnale di ellitticità dello stesso ordine di grandezza e di peggior qualità e, talvolta, da alcuni fenomeni in gas che potevano essere attribuiti ad effetti di coerenza di un'eventuale particella prodotta. Non riuscendo ad identificare una causa spuria per la fenomenologia osservata, nel 2006 la collaborazione pubblicò i risultati di rotazione per sottometerli al giudizio della comunità scientifica. Nel frattempo l'esperimento subiva un'estesa ristrutturazione: il laser fu sostituito e la sua elettronica schermata dal punto di vista magnetico; fu realizzata una struttura non magnetica di accesso al criostato e al tavolo ottico superiore; i cavi dei segnali furono rimpiazzati con altri dotati di migliore schermatura per i disturbi; attorno agli specchi della cavità furono installate terne di bobine di Helmholtz per l'azzeramento locale del campo magnetico e la generazione di campi controllati. Le prime misure effettuate tra la fine del 2006 e la primavera del 2007 mostrarono che il segnale era profondamente mutato. In molte delle misure a 5 T il segnale era scomparso o fortemente ridotto. Inoltre le misure a campo ridotto (possibili grazie ad un nuovo sistema di recupero dell'elio che consentiva tempi di misura sensibilmente più lunghi che in passato) mostrarono che, rispetto alle precedenti osservazioni effettuate a 5 T, il segnale a 2.3 T non scalava secondo il quadrato del campo magnetico, fatto, questo, che escludeva con certezza l'interpretazione particellare. L'origine del segnale spurio rimase incognita.

Con la speranza di migliorare questa situazione, dal 2008 al 2011 si è costruito, in un laboratorio del Dipartimento di Fisica di Ferrara, un nuovo polarimetro di test. Si basava su una cavità orizzontale lunga 2.4 m con finesse $\mathcal{F} = 4 \times 10^5$ e su due magneti permanenti da 2.3 T lunghi complessivamente 0.4 m, in grado di ruotare a frequenza $\nu_B \approx 3 \text{ Hz}$. Due le novità più importanti: la drastica riduzione dei campi di fuga, e la possibilità di azzerare l'effetto mantenendo ortogonali tra loro i due magneti.

Queste stesse caratteristiche furono mantenute in un nuovo polarimetro messo in funzione sempre a Ferrara, che incorporava due magneti lunghi 0.82 m ciascuno per un totale di $\int B_0^2 dL = 10.25 \text{ T}^2\text{m}$. Questo strumento, il più perfezionato mai realizzato al mondo, ha raggiunto una sensibilità in birifrangenza pari a $2 \times 10^{-19} 1/\sqrt{\text{Hz}}$. Ruotando i magneti ad una frequenza $\approx 8 \text{ Hz}$, il segnale di birifrangenza è stato integrato per $5 \times 10^6 \text{ s}$ raggiungendo un livello di rumore $3 \times 10^{-23} \text{ T}^{-2}$, appena un fattore sette più alto del valore atteso. Ciononostante, la densità spettrale di rumore registrata, che avrebbe richiesto un tempo di integrazione di anni, rendeva vana la speranza di potere effettuare la misura finale con quel polarimetro.

Il rumore è stato classificato come rumore termico generato negli strati riflettenti degli specchi. Un tentativo di raffreddare gli specchi si è rivelato più difficoltoso del previsto e il progetto è stato abbandonato. Si è valutato che l'unica strada possibile fosse quella di aumentare il segnale con l'impiego un magnete dipolare del CERN e di un innovativo sistema di modulazione della polarizzazione basato su una coppia di lamine mezz'onda co-rotanti poste all'interno di una cavità Fabry-Perot. Per sviluppare questo progetto, nel 2020 è nata la collaborazione internazionale VMB@CERN, che ha dimostrato la correttezza del metodo di modulazione della polarizzazione e di poter mantenere sotto controllo i segnali spuri. Purtroppo anche questo

metodo è afflitto da un eccesso di rumore legato alla rotazione degli elementi ottici e al rumore di puntamento del fascio. Con questo viene quindi meno la speranza di poter effettuare la misura al CERN. Sono allo studio altri metodi di modulazione della polarizzazione.

Di seguito alcuni altri risultati tecnici e scientifici ottenuti nel corso di questo filone di ricerca:

- Sono stati posti limiti sull'esistenza di particelle leggere fermioniche e bosoniche a carica frazionaria. Tali limiti, i migliori ottenuti in laboratorio, valgono anche per tutti i tipi di neutrini.
- Sono stati posti limiti indipendenti dal modello sull'esistenza di particelle leggere bosoniche scalari e pseudoscalari che si accoppiano a due fotoni. Tali limiti sono tra i migliori mai ottenuti e dominano nella regione di massa oltre 1 meV.
- Sono state realizzate cavità ottiche di altissima *finesse* con cammini ottici equivalenti lunghi fino a 1600 km.
- Nell'ambito dell'esperimento è stato studiato e realizzato un sistema di retroazione per la stabilizzazione relativa delle frequenze di risonanza del laser e della cavità. A questo scopo si è sviluppata una variante originale della tecnica di Pound, Drever e Hall, utilizzando il laser stesso (Nd:YAG con cavità non planare, $\lambda = 1064$ nm) come modulatore di fase e raggiungendo una densità spettrale della differenza in frequenza di $1 \text{ mHz}/\sqrt{\text{Hz}}$ nell'intervallo 1 – 500 Hz. Lo stesso principio è stato applicato per la prima volta per accordare ad una cavità ottica un laser Nd:YAG duplicato in frequenza.
- Al fine di limitare le fluttuazioni di bassa frequenza della potenza luminosa trasmessa dalla cavità dovute al disaccoppiamento del modo TEM₀₀, si è realizzato, su una cavità di prova, un sistema di controllo della posizione laterale e dell'orientazione degli specchi rispetto alla posizione e alla direzione del fascio laser. Ciò è stato realizzato introducendo nella luce una componente alla frequenza del primo modo laterale ed effettuando la rivelazione della luce trasmessa con un diodo a quadranti. Se la cavità è disallineata le componenti interferiscono dando luogo ad un segnale modulato.
- Si sono effettuati studi degli effetti sistematici sulla polarizzazione dovuti alla birifrangenza intrinseca per riflessione degli specchi dielettrici interferenziali multistrato. Lo studio è stato effettuato monitorando l'intensità luminosa trasmessa da una cavità filtrata attraverso un prisma analizzatore posto all'estinzione in funzione dell'angolo azimutale degli specchi della cavità stessa. Si è trovato che gli specchi sono equivalenti a lamine birifrangenti con differenze di fase dell'ordine del microradiante. La birifrangenza degli specchi fa sì che l'ellitticità acquisita dalla polarizzazione a causa della birifrangenza si trasformi in parte in rotazione, e viceversa che una rotazione generi a sua volta un'ellitticità.
- È stata studiata teoricamente e sperimentalmente la dinamica della polarizzazione all'interno di una cavità birifrangente. Le risposte in frequenza della rotazione e dell'ellitticità si discostano molto da quelle di filtri del primo e del secondo ordine, e si riducono a queste nel limite in cui la birifrangenza sia nulla.
- Grazie all'estrema sensibilità dell'apparato, sono state effettuate misure dell'effetto Cotton-Mouton nei gas a bassa pressione. Queste misure, oltre a fornire la polarizzabilità magnetica di sostanze aeriformi di rilevante interesse teorico (He, Ne, Ar, Kr, Xe, O₂, N₂, vapor d'acqua), servono per la calibrazione dell'apparato.

Pubblicazioni relative a questo argomento:

- G. Cantatore, F. Della Valle, E. Milotti, L. Dabrowski, C. Rizzo, "Proposed measurement of the vacuum birefringence induced by a magnetic field on high energy photons", *Phys. Lett. B* **265**, 418 (1991)
- D. Chatellard, F. Ciocci, G. Dattoli, P. De Cecco, F. Della Valle, M. Denorèaz, A. Doria, J.-P. Egger, G.P. Gallerano, L. Giannessi, G. Giubileo, P. Hauser, E. Jeannet, F. Kottmann, G. Messina, E. Milotti, C. Petitjean, A. Renieri, C. Rizzo, L.M. Simons, D. Taquu, A. Vacchi, A. Vignati, E. Zavattini, "Laser spectroscopy of muonic hydrogen", in *Muonic Atoms and Molecules*, a cura di L.A. Schaller e C. Petitjean, (Birkhauser, Basel, 1993), p. 53
- L. Dabrowski, F. Della Valle, E. Milotti, E. Murino, C. Rizzo, E. Zavattini, "Polarization rotation in multipass optical cavities", in *From Galileo's "Occhialino" to Optoelectronics*, a cura di P. Mazzoldi, (World Scientific, Singapore, 1993), p. 836
- G. Cantatore, F. Della Valle, E. Milotti, C. Rizzo, "A measurement of the vacuum birefringence induced by a magnetic field with high energy photons", in *The ELFE Project, an Electron Laboratory for Europe, Physics with a 15-30 GeV High Intensity Continuous Beam Electron Accelerator*, Conference Proceedings of the Italian Physical Society, vol. 44, a cura di J. Arvieux e E. De Sanctis, (Società Italiana di Fisica, Bologna, 1993), p. 489
- P. Micossi, F. Della Valle, E. Milotti, C. Rizzo, G. Ruoso, E. Zavattini, "Measurement of the birefringence properties of the reflecting surface of an interferential mirror", *Appl. Phys. B* **57**, 95 (1993)
- F. Ciocci, F. Della Valle, A. Doria, G.P. Gallerano, L. Giannessi, E. Giovenale, P. Hauser, F. Kottmann, G. Messina, E. Milotti, C. Petitjean, L. Picardi, A. Renieri, C. Rizzo, C. Ronsivalle, L.M. Simons, D. Taquu, A. Vacchi, A. Vignati, E. Zavattini, "Compact waveguide FEL for spectroscopic measurements in muonic hydrogen", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **341**, ABS 60 (1994)
- D. Bakalov, G. Cantatore, G. Carugno, S. Carusotto, P. Favaron, F. Della Valle, I. Gabrielli, U. Gastaldi, E. Iacopini, P. Micossi, E. Milotti, R. Onofrio, R. Pengo, F. Perrone, G. Petrucci, E. Polacco, C. Rizzo, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, "PVLAS: vacuum birefringence and production and detection of nearly massless, weakly coupled particles by optical techniques", *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **35**, 180 (1994)
- F. Ciocci, F. Della Valle, A. Doria, G.P. Gallerano, L. Giannessi, E. Giovenale, P. Hauser, F. Kottmann, G. Messina, E. Milotti, C. Petitjean, L. Picardi, A. Renieri, C. Rizzo, C. Ronsivalle, L.M. Simons, D. Taquu, A. Vacchi, A. Vignati, E. Zavattini, "Spectroscopy of muonic hydrogen with a compact FEL", in *Proceedings of the 4th European Particle Accelerator Conference*, (World Scientific, Singapore, 1994), p. 864
- G. Cantatore, F. Della Valle, E. Milotti, P. Pace, F. Perrone, E. Polacco, C. Rizzo, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, "Frequency locking of a Nd:YAG laser using the laser itself as the optical phase modulator", *Rev. Sci. Instrum.* **66**, 2785 (1995)
- D. Bakalov, G. Cantatore, G. Carugno, S. Carusotto, F. Della Valle, A. De Riva, P. Favaron, Z. Fontana, U. Gastaldi, E. Milotti, R. Onofrio, R. Pengo, F. Perrone, G. Petrucci, E. Polacco, C. Rizzo, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, "Testing Quantum Electrodynamics: vacuum polarizability and Casimir forces", in *Coherence and Quantum Optics VII*, a cura di J.H. Eberly, L. Mandel, E. Wolf, (Plenum, New York, 1996), p. 399
- A. M. De Riva, G. Zavattini, S. Marigo, C. Rizzo, G. Ruoso, G. Carugno, R. Onofrio, S. Carusotto, M. Papa, F. Perrone, E. Polacco, G. Cantatore, F. Della Valle, P. Micossi, E. Milotti, P. Pace, E. Zavattini, "Very high Q frequency-locked Fabry-Perot cavity", *Rev. Sci. Instrum.* **67**, 2680 (1996)
- D. Bakalov, G. Cantatore, G. Carugno, S. Carusotto, P. Favaron, F. Della Valle, U. Gastaldi, E. Iacopini, E. Milotti, R. Onofrio, R. Pengo, F. Perrone, G. Petrucci, E. Polacco, C. Rizzo, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, "Production and detection of dark matter candidates: the PVLAS experiment", in *The Seventh Marcel Grossmann Meeting on recent developments in theoretical and experimental general relativity, gravitation, and relativistic field theories*, a cura di R.T. Jantzen e G. Mac Keiser, (World Scientific, Singapore, 1997), p. 1329
- G. Cantatore, G. Carugno, S. Carusotto, A. M. De Riva, F. Della Valle, P. Favaron, U. Gastaldi, E. Iacopini, P. Micossi, E. Milotti, R. Onofrio, R. Pengo, F. Perrone, G. Petrucci, E. Polacco, C. Rizzo, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, "Status of the PVLAS experiment: production and detection of dark matter candidates", in *Proceedings of the First International Workshop on The Identification of Dark Matter*, a cura di Neil J.C. Spooner, (World Scientific, Singapore, 1997), p.372

- F. Brandi, F. Della Valle, A. M. De Riva, P. Micossi, F. Perrone, C. Rizzo, G. Ruoso, G. Zavattini, "Measurement of the phase anisotropy of very high reflectivity interferential mirrors", *Appl. Phys. B* **65**, 351 (1997)
- D. Bakalov, F. Brandi, G. Cantatore, G. Carugno, S. Carusotto, A. M. De Riva, P. Favaron, F. Della Valle, U. Gastaldi, P. Micossi, E. Milotti, R. Onofrio, R. Pengo, F. Perrone, G. Petrucci, E. Polacco, C. Rizzo, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, "Experimental method to detect the magnetic birefringence of vacuum", *Quantum Semiclass. Opt.* **10**, 239 (1998)
- F. Brandi, F. Della Valle, P. Micossi, A. M. De Riva, G. Zavattini, F. Perrone, C. Rizzo, G. Ruoso, "Cotton-Mouton effect of molecular oxygen: a novel measurement", *J. Opt. Soc. Am. B* **15**, 1278 (1998)
- D. Bakalov, F. Brandi, G. Cantatore, G. Carugno, S. Carusotto, F. Della Valle, A. De Riva, U. Gastaldi, E. Iacopini, P. Micossi, E. Milotti, R. Onofrio, R. Pengo, F. Perrone, G. Petrucci, E. Polacco, C. Rizzo, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, "The measurement of vacuum polarization: the PVLAS experiment", *Hyperfine Interactions* **114**, 103 (1998)
- G. Cantatore, F. Della Valle, P. Micossi, E. Milotti, E. Zavattini, U. Gastaldi, R. Pengo, G. Petrucci, G. Bialolenker, S. Carusotto, E. Polacco, C. Rizzo, G. Ruoso, G. Zavattini, "Experimental study of the quantum vacuum. Production and detection of dark matter candidates in the PVLAS experiment", in *Dark Matter*, a cura di P. Salucci, (Studio Editoriale Fiorentino, Firenze, 1998), p. 106
- R. Pengo, D. Bakalov, U. Gastaldi, G. Petrucci, G. Bialolenker, F. Brandi, E. Polacco, G. Cantatore, F. Della Valle, P. Micossi, E. Milotti, C. Rizzo, E. Zavattini, E. Iacopini, M. Bregant, G. Ruoso, G. Zavattini, "Magnetic Birefringence of Vacuum: the PVLAS Experiment", in *Frontier Tests of QED and Physics of the Vacuum*, a cura di E. Zavattini, D. Bakalov, C. Rizzo, (Heron Press, Sofia, 1998), p. 59
- G. Cantatore, F. Della Valle, P. Micossi, E. Milotti, C. Rizzo, E. Zavattini, U. Gastaldi, R. Pengo, G. Bialolenker, F. Brandi, E. Polacco, M. Bregant, G. Ruoso, G. Zavattini, E. Iacopini, "Current Status of the PVLAS experiment", in *Proceedings of the Second International Workshop on The Identification of Dark Matter*, a cura di N.J.C. Spooner e V. Kudryavtsev, (World Scientific, Singapore, 1999), p. 435
- F. Brandi, M. Bregant, G. Cantatore, F. Della Valle, S. Carusotto, G. Di Domenico, U. Gastaldi, E. Milotti, R. Pengo, E. Polacco, C. Rizzo, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, "Optical production and detection of dark matter candidates", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **461**, 329, (2001)
- G. Cantatore, F. Della Valle, E. Zavattini, F. Brandi, S. Carusotto, E. Polacco, M. Bregant, G. Ruoso, U. Gastaldi, R. Pengo, G. Di Domenico, G. Zavattini, E. Milotti, P. Micossi, E. Milotti, "First Run of the PVLAS Experiment: Dark Matter Candidates Production and Detection", in *Proceedings of the Third International Workshop on The Identification of Dark Matter*, a cura di N.J.C. Spooner e V. Kudryavtsev, (World Scientific, Singapore, 2001), p. 481
- E. Zavattini, F. Brandi, M. Bregant, G. Cantatore, S. Carusotto, F. Della Valle, G. Di Domenico, U. Gastaldi, E. Milotti, R. Pengo, G. Petrucci, E. Polacco, G. Ruoso, G. Zavattini, "The PVLAS Collaboration: Experimental Search for Anisotropy of the Phase Velocity of Light in Vacuum Due to a Static Magnetic Field", in *Quantum Electrodynamics and Physics of Vacuum*, a cura di G. Cantatore, (American Institute of Physics, Melville, N.Y., 2001), p. 77
- M. Bregant, G. Cantatore, F. Della Valle, G. Ruoso, G. Zavattini, "Frequency locking to a high-finesse Fabry-Perot cavity of a frequency doubled Nd:YAG laser used as the optical modulator", *Rev. Sci. Instrum.* **73**, 4142 (2002)
- G. Cantatore, M. Bregant, F. Della Valle, G. Ruoso, G. Zavattini, "PVLAS Developments on Fabry-Perot Resonators Locked to CW Lasers and Suitable for Laser Assisted Lorentz Stripping of H⁻ Beams", in *High Intensity and High Brightness Hadron Beams*, a cura di W. Chou, Y. Mori, D. Neuffer, J.-F. Ostiguy, (American Institute of Physics, Melville, N.Y., 2002), p. 343
- M. Bregant, G. Cantatore, S. Carusotto, G. Di Domenico, F. Della Valle, U. Gastaldi, E. Milotti, G. Petrucci, E. Polacco, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, "Mechanical and electrical noise in the PVLAS experiment", in *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation* vol. 22 a cura di D.O. Thompson e D.E. Chimenti, (American Institute of Physics, Melville, N.Y., 2003), p. 635
- M. Bregant, G. Cantatore, F. Della Valle, M. Karuza, E. Milotti, E. Zavattini, U. Gastaldi, G. Ruoso, S. Carusotto, E. Polacco, G. Di Domenico, G. Zavattini, "Particle laser production at PVLAS: recent developments", in *Proceedings of the Fourth International Workshop on the Identification of Dark Matter*, a cura di N.J.C. Spooner e V. Kudryavtsev, (World Scientific, Singapore, 2003), p. 414

- M. Bregant, G. Cantatore, S. Carusotto, R. Cimino, F. Della Valle, G. Di Domenico, U. Gastaldi, M. Karuza, E. Milotti, E. Polacco, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, “Measurement of the Cotton-Mouton effect in Krypton and Xenon at 1064 nm with the PVLAS apparatus”, *Chem. Phys. Lett.* **392**, 276 (2004); Erratum: *Chem. Phys. Lett.* **477**, 415 (2009)
- E. Zavattini, G. Zavattini, G. Ruoso, E. Polacco, E. Milotti, M. Karuza, U. Gastaldi, G. Di Domenico, F. Della Valle, R. Cimino, S. Carusotto, G. Cantatore, M. Bregant, “PVLAS results on laser production of axion-like dark matter candidate particles”, in *Proceedings of the Fifth International Workshop on the Identification of Dark Matter*, a cura di N.J.C. Spooner e V. Kudryavtsev, (World Scientific, Singapore, 2005) p. 420
- E. Zavattini, M. Bregant, G. Cantatore, S. Carusotto, R. Cimino, F. Della Valle, G. Di Domenico, U. Gastaldi, M. Karuza, E. Milotti, E. Polacco, G. Ruoso, G. Zavattini, “Experimental observation of magnetically induced linear dichroism of vacuum”, in *XI International Workshop on “Neutrino Telescopes”*, a cura di M. Baldo Ceolin, (Papergraf, Padova, 2005), p. 433
- M. Bregant, G. Cantatore, S. Carusotto, R. Cimino, F. Della Valle, G. Di Domenico, U. Gastaldi, M. Karuza, E. Milotti, E. Polacco, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, “A precise measurement of the CottonMouton effect in neon”, *Chem. Phys. Lett.* **410**, 288 (2005); Erratum: *Chem. Phys. Lett.* **477**, 415 (2009)
- E. Zavattini, G. Zavattini, G. Ruoso, E. Polacco, E. Milotti, M. Karuza, U. Gastaldi, G. Di Domenico, F. Della Valle, R. Cimino, S. Carusotto, G. Cantatore, M. Bregant, “Signal Processing in the PVLAS Experiment”, *WSEAS Trans. Syst.* **4**:11, 1931 (2005)
- E. Zavattini, G. Zavattini, G. Ruoso, E. Polacco, E. Milotti, M. Karuza, U. Gastaldi, G. Di Domenico, F. Della Valle, R. Cimino, S. Carusotto, G. Cantatore, M. Bregant, “Experimental observation of optical rotation generated in vacuum by a magnetic field”, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 110406 (2006); Editorial Note: *Phys. Rev. Lett.* **99**, 129901 (2007)
- G. Zavattini, G. Cantatore, R. Cimino, G. Di Domenico, F. Della Valle, M. Karuza, E. Milotti, G. Ruoso, “On Measuring Birefringences and Dichroisms using Fabry-Perot Cavities”, *Appl. Phys. B* **83**, 571 (2006)
- E. Zavattini, G. Zavattini, G. Ruoso, E. Polacco, E. Milotti, M. Karuza, U. Gastaldi, G. Di Domenico, F. Della Valle, R. Cimino, S. Carusotto, G. Cantatore, M. Bregant, “PVLAS: probing vacuum with polarized light”, *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **164**, 264 (2007)
- E. Zavattini, G. Zavattini, P. Temnikov, G. Ruoso, G. Raiteri, E. Polacco, E. Milotti, M. Karuza, U. Gastaldi, G. Di Domenico, F. Della Valle, R. Cimino, S. Carusotto, G. Cantatore, M. Bregant, “Experimental observation of vacuum birefringence”, *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **174**, 233 (2007)
- E. Zavattini, G. Zavattini, P. Temnikov, G. Ruoso, G. Raiteri, E. Polacco, E. Milotti, M. Karuza, U. Gastaldi, G. Di Domenico, F. Della Valle, R. Cimino, S. Carusotto, G. Cantatore, M. Bregant, “Observation of vacuum birefringence induced by a transverse magnetic field”, in *High Energy Physics ICHEP’06. Proceedings of the 33rd International Conference*, a cura di A. Sissakian, G. Kozlov, E. Kolganova, (World Scientific, Singapore, 2007) p. 218
- G. Zavattini, M. Bregant, G. Cantatore, S. Carusotto, R. Cimino, F. Della Valle, G. Di Domenico, U. Gastaldi, M. Karuza, E. Milotti, E. Polacco, G. Raiteri, G. Ruoso, E. Zavattini, “PVLAS”, in *XII International Workshop on “Neutrino Telescopes”*, a cura di M. Baldo Ceolin (Papergraf, Padova, 2007), p. 373
- G. Cantatore, G. Di Domenico, G. Zavattini, R. Cimino, U. Gastaldi, G. Ruoso, S. Carusotto, E. Polacco, M. Bregant, F. Della Valle, M. Karuza, E. Milotti, G. Raiteri, E. Zavattini, “Recent Results from the PVLAS Experiment on the Magnetized Vacuum”, in *Axions. Theory, Cosmology, and Experimental Searches*, a cura di M. Kuster, G. Raffelt, B. Beltrán, *Lect. Notes Phys.* **741**, (Springer, Berlin, 2008), p. 157
- E. Zavattini, G. Zavattini, G. Ruoso, G. Raiteri, E. Polacco, E. Milotti, V. Lozza, M. Karuza, U. Gastaldi, G. Di Domenico, F. Della Valle, R. Cimino, S. Carusotto, G. Cantatore, M. Bregant, “New PVLAS results and limits on magnetically induced optical rotation and ellipticity in vacuum”, *Phys. Rev. D* **77** 032006 (2008)

- M. Bregant, G. Cantatore, S. Carusotto, R. Cimino, F. Della Valle, G. Di Domenico, U. Gastaldi, M. Karuza, V. Lozza, E. Milotti, E. Polacco, G. Raiteri, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, “Limits on low energy photon-photon scattering from an experiment on magnetic vacuum birefringence”, *Phys. Rev. D* **78** 032006 (2008)
- M. Bregant, G. Cantatore, S. Carusotto, R. Cimino, F. Della Valle, G. Di Domenico, U. Gastaldi, M. Karuza, V. Lozza, E. Milotti, E. Polacco, G. Raiteri, G. Ruoso, E. Zavattini, G. Zavattini, “New precise measurement of the Cotton-Mouton effect in helium”, *Chem. Phys. Lett.* **471**, 322 (2009)
- F. Della Valle, E. Milotti, G. Di Domenico, G. Zavattini, U. Gastaldi, R. Pengo, G. Ruoso, “The PVLAS experiment and its results: probing the quantum vacuum with polarized light and magnetic fields”, in *Quantum Field Theory under the Influence of External Conditions (QFEXT09). Proceedings of the Ninth Conference devoted to the Centenary of H.B.G. Casimir*, a cura di K.A. Milton e M. Bordag, (World Scientific, Singapore, 2010), p. 147
- F. Della Valle, G. Di Domenico, U. Gastaldi, E. Milotti, R. Pengo, G. Ruoso, G. Zavattini, “Towards a direct measurement of vacuum magnetic birefringence: PVLAS achievements”, *Opt. Commun.* **283**, 4194 (2010)
- G. Zavattini, U. Gastaldi, R. Pengo, G. Ruoso, F. Della Valle, E. Milotti, “Measuring the magnetic birefringence of vacuum: the PVLAS experiment”, *Int. J. Mod. Phys. A* **27**:15, 1260017 (2012)
- E. Milotti, F. Della Valle, G. Zavattini, G. Messineo, U. Gastaldi, R. Pengo, G. Ruoso, D. Babusci, C. Curceanu, M. Iiescu, C. Miliardi, “Exploring quantum vacuum with low-energy photons”, *Int. J. Quantum Inform.* **10**, 1241002 (2012)
- G. Zavattini, F. Della Valle, U. Gastaldi, G. Messineo, E. Milotti, R. Pengo, L. Piemontese, G. Ruoso, “The PVLAS experiment: detecting vacuum magnetic birefringence”, *J. Phys. (Conf. Series)* **442**, 012057 (2013)
- F. Della Valle, G. Di Domenico, U. Gastaldi, E. Milotti, G. Messineo, R. Pengo, L. Piemontese, G. Ruoso, G. Zavattini, “The new PVLAS apparatus for detection of magnetic birefringence of vacuum”, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **718**, 495 (2013)
- G. Zavattini, F. Della Valle, U. Gastaldi, E. Milotti, G. Messineo, R. Pengo, L. Piemontese, G. Ruoso, “The PVLAS experiment for measuring the magnetic birefringence of vacuum”, *Nuovo Cimento* **36C**, 41 (2013)
- F. Della Valle, U. Gastaldi, G. Messineo, E. Milotti, R. Pengo, L. Piemontese, G. Ruoso, G. Zavattini, “Measurements of vacuum magnetic birefringence using permanent dipole magnets: the PVLAS experiment”, *New J. Phys.* **15**, 053026 (2013)
- F. Della Valle, A. Ejlli, U. Gastaldi, G. Messineo, E. Milotti, R. Pengo, L. Piemontese, G. Ruoso, S. Sabotig, G. Zavattini, “Experimental perspectives in (low-energy) photon-photon scattering”, *J. Phys. (Conf. Series)* **490**, 012153 (2014)
- F. Della Valle, A. Ejlli, U. Gastaldi, G. Messineo, E. Milotti, R. Pengo, L. Piemontese, G. Zavattini, “Measurement of the Cotton-Mouton effect of water vapour”, *Chem. Phys. Lett.* **592**, 288 (2014)
- F. Della Valle, E. Milotti, A. Ejlli, U. Gastaldi, G. Messineo, L. Piemontese, G. Zavattini, R. Pengo, G. Ruoso, “Extremely long decay time optical cavity”, *Opt. Expr.* **22**, 11570 (2014)
- F. Della Valle, E. Milotti, A. Ejlli, G. Messineo, G. Zavattini, U. Gastaldi, R. Pengo, G. Ruoso, “First results from the new PVLAS apparatus: A new limit on vacuum magnetic birefringence”, *Phys. Rev. D* **90**, 092003 (2014)
- F. Della Valle, A. Ejlli, U. Gastaldi, G. Messineo, E. Milotti, R. Pengo, L. Piemontese, G. Ruoso, G. Zavattini, “New PVLAS model independent limit for the axion coupling to $\gamma\gamma$ for axion masses above 1 meV”, in *Proceedings of the 10th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISPs, PATRAS 2014*, a cura di E. Tsismelis e M. Maroudas, (Verlag Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg, 2014), p. 67
- A. Ejlli, F. Della Valle, U. Gastaldi, G. Messineo, E. Milotti, R. Pengo, G. Ruoso, G. Zavattini, “Progress toward a direct experimental detection of $\gamma\gamma$ interactions”, *Nucl. Part. Phys. Proc.* **270–272**, 67 (2016)
- F. Della Valle, A. Ejlli, U. Gastaldi, G. Messineo, E. Milotti, R. Pengo, G. Ruoso, G. Zavattini, “The PVLAS experiment: measuring vacuum magnetic birefringence and dichroism with a birefringent Fabry-Perot cavity”, *Eur. Phys. J. C* **76**, 24 (2016)

- G. Zavattini, F. Della Valle, A. Ejlli, G. Ruoso, “A polarisation modulation scheme for measuring vacuum magnetic birefringence with static fields”, *Eur. Phys. J. C* **76**, 294 (2016); Erratum: *Eur. Phys. J. C* **77**, 873 (2017)
- A. Ejlli, F. Della Valle, G. Zavattini, “Polarisation dynamics of a birefringent Fabry-Perot cavity”, *Appl. Phys. B* **124**, 22 (2018)
- G. Zavattini, F. Della Valle, A. Ejlli, W.-T. Ni, U. Gastaldi, E. Milotti, R. Pengo, G. Ruoso, “Intrinsic mirror noise in Fabry-Perot based polarimeters: the case for the measurement of vacuum magnetic birefringence”, *Eur. Phys. J. C* **78**, 585 (2018)
- A. Ejlli, F. Della Valle, U. Gastaldi, G. Messineo, R. Pengo, G. Ruoso, G. Zavattini, “The PVLAS experiment: A 25 year effort to measure vacuum magnetic birefringence”, *Phys. Rep.* **871**, 1 (2020)
- G. Zavattini, F. Della Valle, “Optical Polarimetry for Fundamental Physics”, *Universe* **7**, 252 (2021)
- G. Zavattini, F. Della Valle, A.M. Soflaur, L. Formaggio, G. Crapulli, G. Messineo, E. Mariotti, Š. Kunc, A. Ejlli, G. Ruoso, C. Marinelli, M. Andreotti, “Polarimetry for measuring the vacuum magnetic birefringence with quasi-static fields: a systematics study for the VMB@CERN experiment”, *Eur. Phys. J. C* **82**, 159 (2022)

Light Induced Atomic Desorption (LIAD) (dal 2002 al 2004)

In congedo da Trieste, lavora a Siena nel laboratorio di Fisica Atomica e Molecolare del Prof. L. Moi, collaborando ad esperimenti di LIAD, un'effetto di desorbimento non termico indotto dalla luce su atomi alcalini adsorbiti in film sottili dei composti organici polidimetilsilossano (PDMS) e ottometilciclotetrasilossano (OCT). Un primo esperimento ha dimostrato che un effetto completamente analogo al LIAD si ottiene utilizzando come sito di adsorbimento il vetro poroso con pori di vari diametri $\sim 10 \mu\text{m}$ e superficie complessiva $\sim 250 \text{ m}^2/\text{g}$. La ricerca si è focalizzata sul sistema di due alcalini (Rb e Cs) che, attraverso lo studio della competizione delle due specie atomiche, si sperava potesse dare indicazioni sul meccanismo di adsorbimento dell'alcalino nel silossano. Si è concluso che l'atomo alcalino è inglobato nel volume del composto organico, e che la sua mobilità dipende, oltre che dalla temperatura, dalla frequenza e dall'intensità della luce che provoca il desorbimento. Il *set-up* consisteva di una cella di Pyrex collegata ad una riserva metallica. La cella era attraversata dai fasci di due diodi laser sintonizzati sulle righe di assorbimento dei due alcalini, le cui variazioni di intensità in funzione del tempo sono una misura delle variazioni delle densità di vapore. Le sorgenti di eccitazione potevano essere un laser ad Argon o varie lampade spettrali, con densità di illuminazione della cella di $\sim 100 \text{ mW}/\text{cm}^2$.

In un secondo esperimento si è studiato il comportamento del PDMS in vuoto, in connessione con la possibilità di usare l'effetto LIAD per caricare una trappola magneto-ottica; in questo caso il campione di PDMS era depositato su un vetrino inserito in un sistema UHV standard. La riserva di rubidio era separata mediante una valvola dalla camera principale, e il desorbimento era osservato, oltre che in assorbimento, con uno spettrometro di massa.

Publicazioni relative a questo argomento:

- A. Burchianti, C. Marinelli, A. Bogi, J. Brewer, K. Rubahn, H.-G. Rubahn, F. Della Valle, E. Mariotti, V. Biancalana, S. Veronesi, L. Moi, “Light-induced atomic desorption from porous silica”, *Europhys. Lett.* **67**, 983 (2004)
- A. Burchianti, C. Marinelli, A. Bogi, E. Mariotti, S. Veronesi, F. Della Valle, G. Bevilacqua, L. Moi, “Light-induced atomic desorption from PDMS films and porous glass: applications and fundamental issues”, *J. Phys. (Conf. Series)* **19**, 78 (2005)
- A. Burchianti, C. Marinelli, A. Bogi, F. Della Valle, E. Mariotti, S. Veronesi, L. Moi, “Photo-ejection and transport of alkali atoms embedded in nano-porous silica”, *J. Phys. (Conf. Series)* **19**, 86 (2005)

- C. Marinelli, A. Bogi, F. Della Valle, A. Burchianti, E. Mariotti, S. Veronesi, L. Moi, “Light-Induced Atomic Desorption from siloxane film loaded with Rb and Cs”, J. Phys. (Conf. Series) **19**, 90 (2005)
- C. Marinelli, A. Burchianti, A. Bogi, F. Della Valle, G. Bevilacqua, E. Mariotti, S. Veronesi, L. Moi, “Desorption of Rb and Cs from PDMS induced by non resonant light scattering”, Eur. Phys. J. D **37**, 319 (2006)

Proprietà quantistiche del vuoto: l’esperimento MIR (2008-2013)

L’esperimento MIR si proponeva di rivelare i fotoni generati in vuoto dal moto di uno specchio accelerato, un effetto molto debole, previsto dall’Elettrodinamica Quantistica, che è amplificato parametricamente se lo specchio è una parete di una cavità risonante. Nell’esperimento il movimento dello specchio era simulato ponendo uno strato di materiale semiconduttore a contatto con una parete della cavità. Il semiconduttore era reso conduttivo mediante impulsi di luce laser. Se la frequenza di ripetizione del laser è doppia della frequenza di risonanza della cavità si ha amplificazione parametrica, con conseguente caricamento della cavità. La cavità di Nb aveva geometria cilindrica rientrante, $Q \sim 10^6$ e risuonava a 2.35 GHz; era mantenuta alla temperatura dell’He liquido e in accoppiamento critico con un’antenna seguita da una catena di amplificazione in eterodina. Il laser ($\lambda \approx 800$ nm) era stato realizzato a Pavia dal gruppo del Prof. G. Reali; esso forniva un treno di ~ 1000 impulsi con frequenza di ripetizione 4.7 GHz, larghi ~ 10 ps, ciascuno di energia ~ 10 μ J. Si otteneva l’accordo fine tra la frequenza di ripetizione del laser e quella di risonanza della cavità inserendo in cavità, in maniera controllata, una barretta di zaffiro. La luce laser cadeva su uno strato di 0.625 μ m di GaAs, normalmente trasparente alle microonde, rendendolo riflettente. Il valore raggiunto dalla riflettività è legato all’energia dell’impulso e alla mobilità dei portatori; i tempi di risposta del GaAs sono limitati in salita dall’impulso laser e nel decadimento dal tempo di ricombinazione. Si otteneva una riduzione ~ 100 del tempo di ricombinazione naturale ricorrendo all’irradiazione del campione con una dose opportuna di ioni veloci, senza modificare sostanzialmente la mobilità; i campioni così trattati erano caratterizzati a Vilnius (LT) nel laboratorio del Prof. Krotkus. La cavità fu caratterizzata e adattata all’elettronica di rivelazione, di cui fu misurata la temperatura di rumore a varie temperature. A 5 K la temperatura di rumore cadeva tra 7 e 10 K; la cavità è, dal punto di vista del rumore, equivalente ad un carico resistivo di 50 Ω . Le misure effettuate indicarono che il livello di rumore, riportato all’ingresso dell’elettronica di rivelazione, corrispondeva a ~ 100 fotoni nelle microonde; ciò imponeva che il guadagno del processo di amplificazione parametrica non potesse essere inferiore a cento. L’esperimento ha mostrato che le perdite ohmiche nel semiconduttore quando questo è in fase di alta conducibilità vanificano il trasferimento di energia ottenuto attraverso l’amplificazione parametrica. Questo dato ha imposto la chiusura anticipata dell’esperimento.

Si è anche messo a punto uno schema di amplificazione parametrica con un diodo a capacità variabile (*varicap*). Con tale sistema si è realizzato, per la prima volta, uno studio della radiazione termica di singolo modo presente in cavità (a 1.5 GHz) a temperatura ambiente.

Pubblcazioni relative a questo argomento:

- A. Agnesi, C. Braggio, G. Bressi, G. Carugno, F. Della Valle, G. Galeazzi, G. Messineo, F. Pirzio, G. Reali, G. Ruoso, D. Scarpa, D. Zanello, “MIR: an experiment for the measurement of the dynamical Casimir effect”, J. Phys. (Conf. Ser.) **161**, 012028 (2009)
- C. Braggio, G. Bressi, G. Carugno, F. Della Valle, G. Galeazzi, G. Ruoso, “Characterization of a low noise microwave receiver for the detection of vacuum photons”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **603**, 451 (2009)
- G. Giunchi, A. Figini Albisetti, C. Braggio, G. Carugno, G. Messineo, G. Ruoso, G. Galeazzi, F. Della Valle, “A Re-Entrant MgB₂ Cavity for Dynamic Casimir Experiment”, IEEE Trans. Appl. Supercond. **21**, 745 (2011)

- A. Agnesi, C. Braggio, G. Carugno, F. Della Valle, G. Galeazzi, G. Messineo, F. Pirzio, G. Reali, G. Ruoso, “A laser system for the parametric amplification of electromagnetic fields in a microwave cavity”, *Rev. Sci. Instrum.* **82**, 115107 (2011)
- C. Braggio, G. Carugno, F. Della Valle, G. Galeazzi, A. Lombardi, G. Ruoso, D. Zanello, “The measurement of a single-mode thermal field with a microwave cavity parametric amplifier”, *New J. Phys.* **15**, 013044 (2013)
- G. Galeazzi, A. Lombardi, G. Ruoso, C. Braggio, G. Carugno, F. Della Valle, D. Zanello, V.V. Dodonov, “Experimental study of microwave photon statistics under parametric amplification from a single-mode thermal state in a cavity”, *Phys. Rev. A* **88**, 053806 (2013)
- F.A. Borghesani, C. Braggio, G. Carugno, F. Della Valle, G. Ruoso, “Laser-induced microwave generation with nonlinear optical crystals”, in *Nonlinear Optics and its Applications VIII; and Quantum Optics III*, a cura di B.J. Eggleton, A.L. Gaeta, N.G.R. Broderick, A.V. Sergienko, A. Rauschenbeutel, e T. Durt, *Proc. SPIE* **9136**, 913609 (2014)

Neutralità della materia: l’esperienza NEUTRA (2008-2011)

L’esperienza NEUTRA si proponeva di migliorare i limiti sulla differenza tra i valori delle cariche di elettrone e protone. L’uguaglianza del valore assoluto delle due cariche elettriche è una nozione comunemente accettata, ma non è una simmetria della natura, dal momento che ad essa non corrisponde alcuna legge di conservazione nota; la sua validità si basa solo sull’esperienza. La misura è stata effettuata utilizzando un condensatore sferico riempito di gas. Applicando al condensatore una tensione alternata, nell’ipotesi dell’esistenza di un’asimmetria di carica, si genera nel gas un’onda acustica alla frequenza di pompa; il segnale è rivelato con un microfono molto sensibile. Il gas, polarizzandosi, risponde anche alla frequenza doppia; questo segnale serve da calibrazione. Si è realizzato un condensatore sferico in alluminio con diametro interno di 12.7 cm ed esterno di 40 cm. L’onda di pressione era rivelata con un microfono. L’esperienza non ha osservato alcuna differenza di carica tra elettrone e protone al livello di 1×10^{-21} , uno dei migliori risultati mai raggiunti e il migliore ottenuto con la tecnica acustica.

Pubblificazioni relative a questo argomento:

- G. Bressi, G. Carugno, F. Della Valle, G. Galeazzi, G. Ruoso, G. Sartori, “Testing the neutrality of matter by acoustic means in a spherical resonator”, *Phys. Rev. A* **83**, 052101 (2011)

Altre pubblicazioni

Ambiente e guerra. Contributi scientifici, riflessioni, testimonianze, a cura di F. Della Valle, (Odradek, Roma, 2003)

Attività didattica

Ha tenuto diverse volte i corsi di Fisica Generale del primo/secondo anno di Ingegneria e Fisica. Altri corsi: Tecniche di Fotoemissione (Scuola di Specializzazione), Ottica geometrica e ondulatoria, Campi Elettromagnetici (Laurea Magistrale in Ingegneria), Elettronica Quantistica (Laurea Magistrale in Fisica).

È stato relatore e contro-relatore di diverse tesi di Laurea e di Dottorato di Ricerca in Fisica e di una tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica.

Siena, aprile 2023