

Duccio Fanelli

La ricerca al Dipartimento di Fisica e Astronomia

Research at the Department of Physics and Astronomy

Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze

Riassunto. Questo breve contributo intende offrire una descrizione sintetica delle principali direzioni di ricerca portate oggi avanti presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze. Nell'illustrare i vari contributi, e senza la pretesa di essere esaustivi nel poco spazio a disposizione, seguiremo un percorso narrativo che attraversa le quattro macro-aree disciplinari che fanno capo al Dipartimento (la Fisica Teorica, la Struttura della Materia, la Fisica Nucleare e Subnucleare e l'Astrofisica).

Parole chiave. Dipartimento Fisica e Astronomia, attività di ricerca.

Nel 2001, il Dipartimento di Fisica, oggi Dipartimento di Fisica e Astronomia, si è trasferito dai locali storici in Arcetri alla nuova sede del Polo Scientifico di Sesto Fiorentino. L'edificio Garbasso è tuttora parte integrante del Dipartimento, ed ospita una parte consistente di colleghi che svolgono la loro attività di ricerca in ambito astrofisico. Ad oggi il personale del Dipartimento consta di 74 unità di personale, fra ricercatori e docenti strutturati, a cui si aggiungono un congruo numero di dottorandi, assegnisti, collaboratori scientifici, tecnici e amministrativi. Presso il Dipartimento opera inoltre una nutrita compagine di colleghi afferenti agli Enti di ricerca, principalmente INFN, CNR, INAF ed INRIM, che contri-

Abstract. The purpose of this brief contribution is to provide a concise description of the main directions of research currently being pursued at the Department of Physics and Astronomy of the University of Florence. In illustrating the various contributions, and without claiming to cover everything in the limited space available, we will follow a narrative path that covers the Department's four macro-disciplinary areas (Theoretical Physics, Structure of Matter, Nuclear and Subnuclear Physics and Astrophysics).

Keywords: Department of Physics and Astronomy, research activity.

In 2001, the Department of Physics, now the Department of Physics and Astronomy, moved from its historical premises in Arcetri to its new location at the Polo Scientifico in Sesto Fiorentino. The Garbasso building is still an integral part of the Department and hosts a large number of colleagues who carry out their research activities in astrophysics. The



buiscono a dar vita ad un contesto florido e variegato, dalla spiccata vocazione multidisciplinare declinata su un ampio spettro di attività di ricerca, riconosciute nel panorama nazionale e internazionale. Come esempio della fattiva collaborazione fra Università ed Enti di ricerca, nella fattispecie l'INFN, citiamo il LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per i Beni Culturali) che realizza studi non distruttivi dei materiali utilizzati nei manufatti artistici, ai fini di datazione e conservazione. A ripercorrere la storia del LABEC, oltre che a tracciarne il percorso in proiezione futura, è interamente dedicato un contributo indipendente, parte integrante di questo stesso volume. Il Dipartimento di Fisica e Astronomia è inoltre riferimento amministrativo dell'Osservatorio Polifunzionale del Chianti, una struttura scientifica dedicata a ricerca, didattica e divulgazione. Fa poi capo al Dipartimento il Centro Interdipartimentale per lo Studio delle Dinamiche Complesse (CSDC), un centro dell'Ateneo Fiorentino (a cui al momento afferiscono nove Dipartimenti) che si propone l'obiettivo di far germogliare attività di ricerca multidisciplinari, per contaminazione di domini curriculari distinti.

La ricerca del Dipartimento di Fisica e Astronomia si sviluppa su diversi filoni, caratterizzati da un forte grado di interazione trasversale, ma che, per comodità descrittiva, potremmo convenientemente tracciare con riferimento quattro macro-settori disciplinari. Nello specifico, la Fisica Teorica, la Struttura della Materia, la Fisica Nucleare e Subnucleare e l'Astrofisica, ambiti di ricerca ai quali faremo riferimento, seguendo questo stesso ordinamento, nella restante parte del contributo.

Il gruppo di teoria delle interazioni fondamentali a Firenze si occupa prevalentemente di studiare aspetti fondazionali della fisica teorica, dall'infinitamente

Department currently employs seventy-four members of staff, including researchers and full professors, plus a large number of PhD students, fellows, scientific, technical and administrative staff. The Department also has a large number of colleagues from research organisations, mainly the INFN, CNR, INAF and INRIM, who help create a thriving and varied environment, with a strong multidisciplinary vocation covering a wide range of research activities, recognised both nationally and internationally. As an example of the fruitful collaboration between the University and research institutes, in this case the INFN, we would like to mention the LABEC (Laboratory of Nuclear Techniques for Cultural Heritage), which carries out non-destructive studies of the materials used in artistic objects for dating and conservation purposes. The history of the LABEC and its future prospects are thoroughly described in an independent contribution, which is an integral part of this volume. The Department of Physics and Astronomy is also the administrative reference point for the Polyfunctional Observatory of Chianti, a scientific structure dedicated to research, teaching and communication. The Department also includes the Interdepartmental Centre for the Study of Complex Dynamics (CSDC), a centre of the University of Florence (currently comprising nine Departments), which aims to trigger multidisciplinary research activities by contaminating different curricular segments.

The research of the Department of Physics and Astronomy develops along different lines, characterised by a strong degree of transversal interaction, but which, for descriptive convenience, we could conveniently divide into four disciplinary macro-sectors. These are Theoretical

piccolo (i costituenti della materia, le forze fondamentali e loro mediatori, i nuovi stati della materia) all'infinitamente grande (la materia oscura, l'energia oscura, le transizioni di fase primordiali, i buchi neri e le onde gravitazionali). Come sappiamo, i collisori rappresentano il microscopio più potente che abbiamo oggi a disposizione per indagare la materia a piccolissima scala, alla ricerca di segnali di nuova fisica oltre il cosiddetto modello standard, l'attuale schema di riferimento per la visione integrata e sistemica delle forze fondamentali. Nonostante la sua indubbia capacità predittiva, il modello standard presenta alcuni tratti di incompletezza che motivano la ricerca verso possibili estensioni dello stesso. In particolare, il modello standard non comprende l'interazione gravitazionale, per la quale non esiste ad oggi una teoria quantistica coerente. D'altra parte, lo studio dell'Universo su grande scala offre una via d'accesso complementare ai misteri della natura. La materia oscura, della quale abbiamo contezza indiretta sulla scorta di osservazioni astrofisiche, si stima che sia cinque volte più abbondante della materia ordinaria (o barionica), ma ancora non sappiamo da cosa sia composta. L'energia oscura è, se possibile, ancora più elusiva, e rappresenta un grado di complicazione ulteriore nel processo che dovrebbe portare ad elaborare un quadro descrittivo consistente del mondo che ci circonda. Lo studio delle onde gravitazionali ha poi di fatto aperto una nuova finestra sul cosmo, consentendoci di acquisire informazioni fino a poco tempo fa inaccessibili e (in larga misura) insperate sulla natura di oggetti super-massivi (i buchi neri) in mutua (e violenta!) interazione. In questo panorama generale, uno degli obiettivi del gruppo fiorentino è quello di sviluppare la teoria olografica (Bigazzi, 2021), un ponte ideale tra

Physics, the Structure of Matter, Nuclear and Subnuclear Physics and Astrophysics, research areas to which we will refer in this same order in the rest of the paper.

The fundamental interaction theory group in Florence focuses mainly on the fundamental aspects of theoretical physics, from the infinitely small (the constituents of matter, fundamental forces and their mediators, new states of matter) to the infinitely large (dark matter, dark energy, primordial phase transitions, black holes and gravitational waves). As we know, colliders represent the most powerful microscope available today for investigating matter on a very small scale, looking for signs of new physics beyond the so-called standard model, the current reference for the integrated and systemic view of fundamental forces. Despite its unquestionable predictive capacity, the standard model has some incomplete features that motivate research into possible extensions. For instance, the standard model does not include gravitational interaction, for which no coherent quantum theory exists to date. This said, the large-scale study of the Universe offers complementary access to the mysteries of nature. Dark matter, of which we have indirect knowledge based on astrophysical observations, is estimated to be five times more abundant than ordinary (or baryonic) matter, but we have yet to discover what it is made of. Dark energy is, if possible, even more elusive, and represents a further degree of complication in the process that should lead to the development of a consistent descriptive picture of the world around us. The study of gravitational waves has opened a new window onto the cosmos, allowing us to acquire hitherto inaccessible and (largely) un hoped-for information on the nature of mutually (and violently!) interacting super-massive objects (black holes). In this

le teorie quantistiche dei campi, che descrivono la fisica delle particelle elementari e della materia condensata, e le teorie di gravità quantistica (Nastase, 2015). Secondo questa chiave di lettura, che trova la sua naturale declinazione nel contesto della teoria delle stringhe, la gravità non sarebbe una forza fondamentale, così come abbiamo imparato a conoscerla sui banchi di scuola, ma piuttosto una proprietà emergente dal comportamento statistico dei gradi di libertà microscopici codificati su uno schema olografico. Un altro argomento di ricerca sul quale il Dipartimento è particolarmente attivo riguarda la descrizione teorica della materia in condizioni estreme di temperatura e densità, quando gli effetti relativistici e quantistici giocano un ruolo fondamentale. Tra le applicazioni fenomenologiche di rilievo troviamo le collisioni nucleari di altissima energia, il plasma di quark e gluoni, l'astrofisica delle alte energie, la cosmologia e, in generale, ogni altro contesto fisico dove la materia raggiunge l'equilibrio termodinamico locale nel regime relativistico. Il gruppo di Firenze ha in particolare stimato la polarizzazione delle particelle emesse nel processo di adronizzazione del plasma di quark e gluoni (Becattini, 2013). La stima quantitativa ottenuta dai ricercatori fiorentini è stata poi verificata dalla collaborazione STAR, con una prova sperimentale che si è guadagnata la copertina della prestigiosa rivista *Nature* (Adamczyk, 2017). Questi risultati, per i quali Firenze ha svolto (e sta svolgendo) un ruolo di sicuro traino, hanno dato vita ad un fertile campo di ricerca in rapida espansione.

Presso il dipartimento di Fisica e Astronomia è inoltre attivo un gruppo relativamente nutrito che si occupa di meccanica statistica e sistemi complessi. In generale, l'obiettivo del gruppo è quello di fornire una chiave di lettura rigoro-

general panorama, one of the goals of the Florentine group is to develop a holographic theory (Bigazzi, 2021), an ideal bridge between quantum field theories, which describe the physics of elementary particles and condensed matter, and quantum gravity theories (Nastase, 2015). This interpretation, which finds its natural application in the context of string theory, suggests that gravity is not a fundamental force, as we were taught at school, but a property that emerges from the statistical behaviour of microscopic degrees of freedom encoded in a holographic scheme. Another research topic on which the Department is particularly active concerns the theoretical description of matter under extreme conditions of temperature and density, in which relativistic and quantum effects play a crucial role. Significant phenomenological applications include ultra-high energy nuclear collisions, quark and gluon plasma, high energy astrophysics, cosmology and, in general, any other physical context where matter reaches local thermodynamic equilibrium in the relativistic regime. The Florence group specifically estimated the polarisation of particles emitted in the hadronization of quark-gluon plasma (Becattini, 2013). The quantitative estimate obtained by the Florentine researchers was then verified by the STAR collaboration, in an experiment that earned the cover of the prestigious journal *Nature* (Adamczyk, 2017). These results, towards which Florence played (and continues to play) a leading role, initiated a fertile and rapidly expanding field of research.

The Department of Physics and Astronomy also has a relatively large group dedicated to statistical mechanics and complex systems. In general, the aim of the group is to provide a rigorous modelling and computational framework for a wide range of multidisciplinary phenom-

sa, in termini modellistici e computazionali, per una vasta pletera di fenomeni multidisciplinari, dalla biologia alla chimica, passando per le neuroscienze e le scienze sociali. Il denominatore comune è quello di avere a che far con sistemi formati da un vasto numero di entità fondamentali (o microscopiche) in mutua interazione, che generano comportamenti globali (o macroscopici) complessi, difficilmente prognosticabili a partire dall'analisi dettagliata delle singole unità, isolate dal contesto di riferimento. Fra i fenomeni oggetto di studio del gruppo di Firenze sottolineiamo il ruolo giocato dal rumore, le fluttuazioni stocastiche ineludibili che sono di norma etichettate come una sorgente di disturbo al sistema in esame. In molti casi, il rumore agisce invece come stimolo per l'insorgenza di dinamiche collettive auto-organizzate, secondo un paradigma generale che può apparire controintuitivo. A titolo di esempio citiamo un recente lavoro (Arbel-Goren, 2021), svolto in collaborazione con il Weizmann Institute in Israele, nel quale si è potuto mostrare che il meccanismo genetico che sottende all'adattamento al ciclo giorno notte (ciclo circadiano) per una specifica classe di cianobatteri, è reso robusto ed affidabile da una componente intrinseca di rumore associata al numero finito e limitato di proteine direttamente coinvolte nel funzionamento dell'*orologio biologico*.

La ricerca trasversale fra Fisica e Biologia rappresenta un asset importante per il Dipartimento di Fisica e Astronomia. Numerose sono ad esempio le applicazioni sviluppate dai ricercatori del Dipartimento che sfruttano tecniche di intelligenza artificiale e machine learning (Biancalani, 2021; Silvestri, 2021), declinato nelle sue accezioni classiche e quantistiche (con implicazioni teoriche fondamentali

ena, from biology to chemistry via neuroscience and social sciences. The common denominator is that we are dealing with systems made up of a vast number of fundamental (or microscopic) entities that interact with one another, generating complex global (or macroscopic) behaviours that are hard to predict on the basis of a detailed analysis of the individual units, isolated from the reference context. Among the phenomena studied by the Florence group, the role played by noise, the inescapable stochastic fluctuations that are usually labelled as a source of disturbance to the system under investigation, is of particular relevance. In many cases, noise actually acts as a stimulus for the emergence of self-organised collective dynamics, according to a general paradigm that may seem counterintuitive. An example is a recent work (Arbel-Goren, 2021) carried out in conjunction with the Weizmann Institute in Israel, which showed that the genetic mechanism governing the adaptation to the day-night cycle (circadian cycle) of a specific class of cyanobacteria is strengthened and made reliable by an intrinsic component of noise associated with the finite and limited number of proteins directly involved in the workings of the *biological clock*.

Transversal research between Physics and Biology is an important asset for the Department of Physics and Astronomy. For example, the Department's researchers have developed numerous applications that exploit artificial intelligence and machine learning techniques (Biancalani, 2021; Silvestri, 2021), in its conventional and quantum versions (with fundamental theoretical implications on quantum information and computing (Pirandola, 2017)), to support data analysis in biomedicine and life sciences in general. As regards the development of ex-

su quantum information e computing (Pirandola, 2017)), per supportare l'analisi di dati in ambito biomedico e di scienze della vita in generale. Sul fronte dello sviluppo di tecniche sperimentali per applicazioni in biologia, una menzione speciale spetta certamente all'unità di Biofotonica, parte integrante del gruppo di struttura della materia sperimentale, che sviluppa da anni metodi *cutting edge* di imaging per studiare in vivo la risposta neurologica di cavie murine, soggette a diverse tipologie di stimoli (Silvestri, 2013). Fra le varie soluzioni sperimentate, menzioniamo l'imaging dell'intera corteccia di topo con microscopia a campo largo, l'imaging profondo ad alta risoluzione con microscopia a due e tre fotoni e la stimolazione ottica dell'attività elettrica con optogenetica. Innovativi nel panorama internazionale anche gli studi portati avanti in seno al gruppo di biofisica di singola molecola sulla meccano-trasduzione, il processo secondo il quale la regolazione genica nelle cellule potrebbe essere mediata da segnali di tipo meccanico (piuttosto che chimico) che i ricercatori cercano di evidenziare con tecniche di imaging in fluorescenza (Arbore, 2019).

Il gruppo di struttura della materia sperimentale è il più grande del Dipartimento e le ricerche abbracciano un ampio spettro di temi che sarebbe impossibile coprire in modo esaustivo in questa sede. Da una parte, lo studio della materia e della sua interazione con la radiazione elettromagnetica e con le particelle, dal livello macroscopico fino alla scala delle singole molecole. Le ricerche includono la crescita e la caratterizzazione di nuovi semiconduttori (Biccari, 2021), lo sviluppo di sensori di radiazione ionizzante e di emettitori di luce sia classica che quantistica, l'analisi di micro e nanostrutture per applicazioni in fotonica, lo sviluppo di

perimental techniques for applications in biology, the Biophotonics unit, an integral part of the experimental group that works on the structure of matter, which has been developing innovative imaging methods to study in vivo the neurological response of laboratory mice subject to different types of stimuli for several years now (Silvestri, 2013), deserves a special mention. The various solutions tested include the imaging of the entire mouse cortex with wide-field microscopy, high-resolution deep imaging with two- and three-photon microscopy and optical stimulation of electrical activity with optogenetics. The studies carried out by the single-molecule biophysics group on mechanotransduction, the process according to which gene regulation in cells might be mediated by mechanical (rather than chemical) signals that researchers seek to highlight with fluorescence imaging techniques (Arbore, 2019), are also innovative on an international scale.

The group that carries out experimental work on the structure of matter is the largest in the Department and research spans a broad spectrum of topics that it would be impossible to cover thoroughly here. One such topic is the study of matter and its interaction with electromagnetic radiation and particles, from macroscopic level to the scale of individual molecules. Research includes the growth and characterisation of new semiconductors (Biccari, 2021), the development of ionising radiation sensors and both conventional and quantum light emitters, the analysis of micro and nanostructures for applications in photonics, the development of ultrafast and neutron microscopy and spectroscopy techniques for applications in soft matter, the characterisation of magnetic molecules or nanoparticles to optimise their properties and

tecniche di microscopia e spettroscopia ultra-veloce e neutronica per applicazioni in soft matter, la caratterizzazione di molecole o nanoparticelle magnetiche per ottimizzarne le proprietà e per il controllo degli spin elettronici (spintronica). In sintesi, le applicazioni dell'area di ricerca Fisica dei Materiali spaziano dal fotovoltaico agli emettitori di luce, dalla sensoristica alle applicazioni nelle Quantum Information Technologies, dall'ambito biomedico alla micro-robotica (Bunea, 2021), fino alla fisica delle alte energie. Di contro, nei laboratori dei colleghi che si occupano di studi in Fisica Atomica vengono utilizzati laser e campi magnetici per produrre le temperature più basse dell'Universo (qualche milionesimo di grado sopra lo zero assoluto!). A queste temperature, gli atomi sono sostanzialmente fermi e possono essere manipolati per una varietà di studi e applicazioni fondamentali. Gli atomi ultra-freddi possono ad esempio essere utilizzati come sensori ad altissima precisione per sondare forze estremamente deboli, come ad esempio la gravità, oppure per elaborare approcci innovativi alla computazione quantistica o per implementare nuove tecnologie quantistiche (Barfknecht, 2021). Fra i risultati da segnalare la prima dimostrazione sperimentale di un super-solido (Tanzi, 2021), una fase quantistica fondamentale della materia che combina proprietà di cristalli e superfluidi, prevista più di 50 anni fa (Legget, 1970), cercata a lungo in molti sistemi fisici ma mai osservata fino all'esperimento nel 2019 ad opera dei ricercatori del Dipartimento nel contesto di una collaborazione con il CNR e l'Università di Pisa.

Il gruppo di Fisica Subnucleare e Nucleare coordina un vasto programma di ricerca, in stretta sinergia con l'INFN, che si articola su diversi ambiti. I colleghi

for the control of electron spin (spintronics). In short, the applications of the Physics of Materials research area range from photovoltaics to light emitters, from sensors to applications in Quantum Information Technologies, from the biomedical field to micro-robotics (Bunea, 2021), and high-energy physics. And in the laboratories of colleagues who study Atomic Physics, lasers and magnetic fields are used to produce the lowest temperatures in the Universe (a few billionths of a degree above absolute zero!). At these temperatures, atoms are essentially stationary and can be manipulated to perform a variety of fundamental studies and applications. Ultra-cold atoms can, for example, be used as ultra-high-precision sensors to probe extremely weak forces, such as gravity, to devise novel approaches to quantum computation or to implement new quantum technologies (Barfknecht, 2021). The results to be reported include the first experimental demonstration of a super-solid (Tanzi, 2021), a fundamental quantum phase of matter that combines properties of crystals and superfluids, predicted more than 50 years ago (Legget, 1970), sought extensively in numerous physical systems but never observed until the experiment in 2019 by researchers of the Department within the context of a collaboration with the CNR and the University of Pisa.

The Subnuclear and Nuclear Physics group coordinates a vast research programme, in close cooperation with the INFN, which covers several areas. The members of the Department are involved in major international collaborations in Accelerator Physics. These include the "Compact Muon Solenoid" (CMS) an experiment of the "Large Hadron Collider" (LHC) at the CERN in Geneva, which led to the discovery and measurement of the properties of the Higgs boson

del Dipartimento sono impegnati nelle grandi collaborazioni internazionali di Fisica degli Acceleratori. Fra questi citiamo il “Compact Muon Solenoid” (CMS) un esperimento del “Large Hadron Collider” (LHC) del CERN di Ginevra, che ha portato alla scoperta e alla misura delle proprietà del bosone di Higgs (ATLAS and CMS Collaborations, 2015), oltre che alla ricerca di nuova fisica nelle collisioni p-p. Il gruppo di Firenze è coinvolto con ruoli di assoluto rilievo sia nell’analisi dei dati raccolti nell’esperimento, che nella progettazione e manutenzione dei rivelatori. L’esperimento LHCb, è invece dedicato allo studio di adroni contenenti quark “pesanti”, i cui decadimenti permettono di testare la validità del Modello Standard. Vengono in particolare analizzate le piccole asimmetrie fra i decadimenti di materia e antimateria (un fenomeno che va sotto il nome di violazione di CP), che potrebbero aiutarci a rivelare particelle ancora sconosciute. Le camere multifili per il rivelatore di muoni sono state progettate e realizzate nei laboratori di Sesto Fiorentino. L’esperimento LHC-forward (LHCf) consente di misurare sezioni d’urto a piccolissimo angolo ad LHC ed è importante per calibrare la simulazione degli sciami atmosferici dei raggi cosmici di altissima energia. Infine l’esperimento NA62 ha come obiettivo lo studio dei decadimenti ultra-rari dei mesoni K presso l’acceleratore SPS del CERN. Più recente è la collaborazione con il consorzio Virgo per lo sviluppo di nuove tecniche interferometriche per la rilevazione di onde gravitazionali. Un’altra tematica di assoluta rilevanza è quella dello studio delle astroparticelle e dei raggi cosmici, un filone di ricerca storico per il gruppo fiorentino. I colleghi sono impegnati in tre esperimenti internazionali: Calet (Adriani, 2017), installato sulla ISS e in funzione dal 2015, per la misura del

(ATLAS and CMS Collaborations, 2015), and to the new physics research into p-p collisions. The Florence group is involved, in key roles, in the analysis of the data collected in the experiment and in the design and maintenance of the detectors. The LHCb experiment, on the other hand, is dedicated to the study of hadrons containing “heavy” quarks, the decay of which makes it possible to test the validity of the Standard Model. In particular, small asymmetries between the decay of matter and antimatter (a phenomenon known as CP violation) are analysed, and this could help us reveal as yet unknown particles. The multiwire chambers for the muon detector were designed and built at the Sesto Fiorentino laboratories. The LHC-forward (LHCf) experiment allows the measurement of very small angle cross sections at the LHC and is important for calibrating the simulation of very high energy cosmic ray air showers. Lastly, the NA62 experiment aims to study ultra-rare decay of K mesons at the CERN SPS accelerator complex. The collaboration with the Virgo consortium for the development of new interferometric techniques for detecting gravitational waves is more recent. Another key topic is the study of astroparticle physics and cosmic rays, a historic area of research for the Florentine group. The members of the group are working on three international experiments: Calet (Adriani, 2017), installed on the ISS and in operation since 2015, for the measurement of the flux and anisotropy of electrons and nuclei up to 10 TeV; HERD, which will be installed on the Chinese space station, for the measurement of cosmic and gamma rays up to energies of Pev; GAPS for the indirect search for dark matter using an innovative technique for the detection of low energy antinuclei in cosmic rays. Nuclear physics research focuses on collisions of ions at intermediate or low energy, benefiting from

flusso e dell'anisotropia di elettroni e nuclei fino a 10 TeV; HERD, che sarà installato sulla stazione spaziale cinese, per la misura di raggi cosmici e gamma fino ad energie del Pev; GAPS per la ricerca indiretta di materia oscura con una tecnica innovativa di rilevazione degli antinuclei di bassa energia nei raggi cosmici. Le attività di ricerca in Fisica nucleare si focalizzano sulle collisioni di ioni a energia intermedia o bassa, beneficiando di una rete di laboratori che include i LNL, Laboratori Nazionali di Legnaro (Pd) e i LNS, Laboratori Nazionali del Sud (Ct), in Italia, il CERN (Ginevra, CH) e GANIL (Caen, FR) in Europa. I ricercatori fiorentini lavorano alla caratterizzazione di nuclei esotici, all'analisi della dinamica delle reazioni nucleari ed, in prospettiva, allo studio dei livelli eccitati popolati tramite reazioni di fusione-evaporazione, attraverso misure di spettroscopia gamma e di elettroni di conversione. Omettiamo infine ogni riferimento esplicito alle attività di natura più applicativa, in particolare quelle declinate in ambito beni culturali, alle quali è dedicato un contributo a parte di questa stessa raccolta.

Chiudiamo infine menzionando l'attività di ricerca del nutrito gruppo di astrofisica, che ha nell'edificio Garbasso la principale sede operativa. La ricerca dei colleghi astrofisici copre scale diverse, dalla caratterizzazione del nostro sistema solare fino allo studio degli oggetti cosmici che popolano l'Universo lontano, come i quasar e i buchi neri. Il gruppo di Firenze è coinvolto con ruoli di responsabilità in numerose missioni spaziali, basti pensare al Solar Orbiter, con il coronografo Metis (Antonucci, 2020), attualmente in volo verso il Sole, o Ariel per lo studio degli esopianeti, con lancio previsto nel 2028. Fondamentale anche il contributo allo sviluppo delle grandi attrezzature per l'osservazione dello spazio

a network of laboratories including the LNL, Laboratori Nazionali di Legnaro (Pd) and LNS, Laboratori Nazionali del Sud (Ct), in Italy, the CERN (Geneva, CH) and the GANIL (Caen, FR) in Europe. The Florentine researchers are working on the characterisation of exotic nuclei, the dynamics of nuclear reactions and, in perspective, on the study of excited levels populated by fusion-evaporation reactions, via gamma and electron conversion spectroscopy measurements. Lastly, no explicit reference is made to activities of a more applied nature, particularly those in the field of cultural heritage, to which a separate paper is devoted.

In conclusion, we would like to mention the research activities of the large astrophysics group which has its main operational headquarters in the Garbasso building. The research carried out by our astrophysics colleagues covers different scales, from the characterisation of our solar system to the study of cosmic objects that populate the remote Universe, such as quasars and black holes. The Florence group is involved, with positions of responsibility, in numerous space missions, such as the Solar Orbiter, with the Metis coronagraph (Antonucci, 2020), currently in flight towards the Sun, or Ariel for the study of exoplanets, scheduled for launch in 2028. The contribution to the development of large equipment for observing space from Earth, such as the HIRES spectrograph, which is going to be housed at ELT, the world's largest telescope, is also fundamental. An independent thematic contribution, comprised in this same collection, is dedicated to these topics, as well as other contributions ranging from plasma physics to the study of the first stars and galaxies, via the use of quasars as standard candles to test the limits of current cosmological theories (Risaliti, 2019).

da Terra, come lo spettrografo HIRES che verrà ospitato presso ELT il più imponente telescopio a mondo. A questi temi, così come ad altri contributi che vanno dalla fisica dei plasmi, fino allo studio delle prime stelle e delle prime galassie, passando dall'utilizzo dei quasar come candele standard per testare i limiti delle attuali teorie cosmologiche (Risaliti, 2019) è dedicato un contributo tematico indipendente, in questa stessa raccolta.

In conclusione, il Dipartimento di Fisica e Astronomia che ha oggi la sua sede principale presso il Polo Scientifico di Sesto Fiorentino rappresenta un vitale e variegato crocevia di interessi scientifici multidisciplinari, l'eredità multiforme di quel progetto visionario inaugurato da pochi pionieri 100 anni fa e sostenuto negli anni dalla dedizione e dall'impegno dei numerosi colleghi che hanno operato sulla collina di Arcetri, nei locali dell'edificio Garbasso, che celebriamo in questo volume.

Referenze

- H. Nastase, 2015, *Introduction to the AdS/CFT Correspondence*, Cambridge University Press.
- F. Bigazzi, A. Caddeo, A.L. Cotrone, A. Paredes, 2021, *Journal of High Energy Physics* **4**.
- F. Becattini, V. Chandra, L. Del Zanna, and E. Grossi, 2013, *Annals Phys.* **338**, 32.
- L. Adamczyk et al. (STAR), 2017, *Nature* **548**, 62.

Summing up, the Department of Physics and Astronomy, which now has its headquarters at the Polo Scientifico in Sesto Fiorentino, is a vital and varied crossroads of multidisciplinary scientific interests, the multifaceted legacy of that visionary project inaugurated by a few pioneers one hundred years ago and sustained over the years by the dedication and commitment of the many colleagues who have worked on Arcetri hills, in the Garbasso building, which we celebrate in this volume.

References

- H. Nastase, 2015, *Introduction to the AdS/CFT Correspondence*, Cambridge University Press.
- F. Bigazzi, A. Caddeo, A.L. Cotrone, A. Paredes, 2021, *Journal of High Energy Physics* **4**.
- F. Becattini, V. Chandra, L. Del Zanna, and E. Grossi, 2013, *Annals Phys.* **338**, 32.
- L. Adamczyk et al. (STAR), 2017, *Nature* **548**, 62.
- R. Arbel-Goren et. al., 2021 *Elife* **10**.
- T. Biancalani et al., 2021, *Nature Methods* **18** (2021).
- L. Silvestri et al, 2021, *Nature Methods* **18**.
- S. Pirandola, R. Laurenza, C. Ottaviani, L. Banchi, 2017, *Nature Communications* **8**.
- L. Silvestri, A.L. Allegra Mascaro, J. Lorri, L. Sacconi, F.S. Pavone, 2013, *Journal of Innovative Optical Health Sciences* **6**.
- C. Arbore, L.Perego, M. Sergides, M. Capitanio, 2019, *Biophysical Reviews* **11**.

- R. Arbel-Goren et. al., 2021 *Elife* **10**.
 T. Biancalani et al., 2021, *Nature Methods* **18** (2021).
 L. Silvestri et al, 2021, *Nature Methods* **18**.
 S. Pirandola, R. Laurenza, C. Ottaviani, L. Bianchi, 2017, *Nature Communications* **8**.
 L. Silvestri, A.L. Allegra Mascaro, J. Lorri, L. Sacconi, F.S. Pavone, 2013, *Journal of Innovative Optical Health Sciences* **6**.
 C. Arbore, L. Perego, M. Sergides, M. Capitano, 2019, *Biophysical Reviews* **11**.
 F. Biccari et. al., 2021, *Defects in functional materials*.
 A.I. Bunea et. Al, 2021, *Advanced Intelligent Systems* **3**.
 R.E. Barfknecht, T. Mendes-Santos, L Fallani, 2021, *Physical Review Research* **3**.
 G.M. Tino, 2021, *Quantum Science and Technology* **6**.
 L Tanzi et. al., 2021, *Physical Review Letters* **122**.
 A.J. Legget, 1970, *Physical Review Letters* **25** .
 ATLAS and CMS Collaborations, 2015, *Physical Review Letters* **114**.
 O. Adriani *et al.* (CALET Collaboration), 2017, *Physical Review Letters*. **119**.
 E. Antonucci, 2020, *Astronomy and Astrophysics* **642**.
 G. Risaliti, E Lusso, 2019, *Nature Astronomy* **3**.

Duccio Fanelli si è laureato in Fisica presso l'Università di Firenze e ha conseguito il Dottorato di Ricerca al Politecnico (KTH) di Stoccolma. È stato Ricercatore all'Istituto Karolinska di Stoccolma, Lecturer all'Università di Manchester, oltre che Professore invitato presso la Scuola Normale di Lione e l'Università di

- F. Biccari et. al., 2021, *Defects in functional materials*.
 A.I. Bunea et. Al, 2021, *Advanced Intelligent Systems* **3**.
 R.E. Barfknecht, T. Mendes-Santos, L Fallani, 2021, *Physical Review Research* **3**.
 G.M. Tino, 2021, *Quantum Science and Technology* **6**.
 L Tanzi et. al., 2021, *Physical Review Letters* **122**.
 A.J. Legget, 1970, *Physical Review Letters* **25** .
 ATLAS and CMS Collaborations, 2015, *Physical Review Letters* **114**.
 O. Adriani *et al.* (CALET Collaboration), 2017, *Physical Review Letters*. **119**.
 E. Antonucci, 2020, *Astronomy and Astrophysics* **642**.
 G. Risaliti, E Lusso, 2019, *Nature Astronomy* **3**.

Duccio Fanelli graduated in Physics from the University of Florence and attained a PhD from Stockholm Polytechnic (KTH). He has been a Researcher at the Karolinska Institute in Stockholm, a Lecturer at the University of Manchester, as well as Visiting Professor at the Ecole Normale in Lyon and the University of Orleans, and Visiting Researcher at the CNRS in Marseille. He is currently Professor in the Physics of Matter at the University of Florence and Director of the Department of Physics and Astronomy. His research is in the field of physics of complex systems.

Orleans e ricercatore invitato presso il CNRS di Marsiglia. Attualmente è Professore in Fisica della materia presso l'Università di Firenze e Direttore del Dipartimento di Fisica e Astronomia. La sua ricerca si colloca nell'ambito della fisica dei sistemi complessi.