

DIRITTO DI STAMPA

108



## DIRITTO DI STAMPA

Il diritto di stampa era quello che, nell'università di un tempo, veniva a meritare l'elaborato scritto di uno studente, anzitutto la tesi di laurea, di cui fosse stata dichiarata la dignità di stampa. Le spese di edizione erano, budget permettendo, a carico dell'istituzione accademica coinvolta. Conseguenze immediate: a parte la soddisfazione personale dello studente, del relatore e del correlatore, un vantaggio per il curriculum professionale dell'autore, eventuali opportunità di carriera accademica e possibili ricadute positive d'immagine per tutti gli interessati. Università compresa.

La dignità di stampa e, se possibile, il diritto di stampa erano quindi determinati dalla cura formale della trattazione, dalla relativa novità del tema di studio, dall'originalità del punto di vista e magari dai risultati "scientifici" della tesi: e cioè quel "vuoto" che, in via di ipotesi, si veniva a riempire in un determinato "stato dell'arte", e dunque dal valore metodologico, anche in termini applicativi, della materia di studio e dei suoi risultati tra didattica e ricerca. Caratteristica del diritto di stampa, in tale logica, la discrezionalità e l'eccezionalità. La prospettiva di contribuire, così facendo, alla formazione di *élites* intellettuali. Sulla scia di questa tradizione, e sul presupposto che anche l'università di oggi, per quanto variamente riformata e aperta ad un'utenza di massa, sia pur sempre un luogo di ricerca, nasce questa collana Diritto di stampa. Sul presupposto, cioè, che la pubblicità dei risultati migliori della didattica universitaria sia essa stessa parte organica e momento procedurale dello studio, dell'indagine: e che pertanto, ferme restando la responsabilità della scelta e la garanzia della qualità del prodotto editoriale, il diritto di stampa debba essere esteso piuttosto che ridotto. Esteso, nel segno di un elevamento del potenziale euristico e della capacità critica del maggior numero possibile di studenti. Un diritto di stampa, che però comporta precisi doveri per la stampa: il dovere di una selezione "mirata" del materiale didattico e scientifico a disposizione; il dovere di una cura redazionale e di un aggiornamento bibliografico ulteriori; il dovere della collegialità ed insieme dell'individuazione dei limiti e delle possibilità dell'indagine: limiti e possibilità di contenuto, di ipotesi, di strumenti, di obiettivi scientifici e didattici, di interdisciplinarità. Un diritto di stampa, che cioè collabori francamente, in qualche modo, ad una riflessione sulle peculiarità istituzionali odierne del lavoro accademico e dei suoi esiti.

Questa Collana, dunque, prova a restituire l'immagine in movimento di un laboratorio universitario di studenti e docenti. E l'idea che alcuni dei risultati più apprezzabili, come le tesi di laurea prescelte, possano mettersi nuovamente in discussione mediante i giudizi e gli stimoli di studiosi competenti.



ALBERTO BOFFI

# LA MATERIA OSCURA E L'ESPERIMENTO DARKSIDE





©

ISBN  
979-12-218-2373-8

PRIMA EDIZIONE  
**ROMA 5 DICEMBRE 2025**

*Dedicato a Lorenzo e Pina Boffi*



## **INDICE**

13     *Introduzione*

15     Capitolo I

Come la materia oscura è diventata materia

1.1. Discrepanza di massa negli ammassi di galassie, 15 – 1.2. Curve di rotazione piatte, 16 – 1.3. Curva di rotazione delle galassie, 18.

23     Capitolo II

Rivelazione diretta della materia oscura

2.1. Cinematica dell'urto elastico  $\chi$ -N, 23 – 2.2. Tasso di scattering e distribuzione di velocità, 24 – 2.3. Collegamento agli esperimenti, 25.

27     Capitolo III

L'esperimento Darkside

3.1. Motivazioni dell'esperimento, 27 – 3.2. Time Projection Chamber, 28 –

3.3. Apparato sperimentale dell'esperimento Darkside, 30 – 3.4. L'esperimento Darkside 50, 30 – 3.5. Darkside 20k, 32.

35     *Conclusioni*

37     *Figure*

45     *Bibliografia*



## ELENCO DELLE FIGURE

- 38    **Figura 1.1.** Curva di rotazione di una galassia: confronto tra dati sperimentali (in nero) e curva attesa (in rosso)
- 39    **Figura 2.1.** Scattering di una particella candidata di materia oscura  $\chi$  su un nucleo N. Costruiremo questo tasso a partire dalle interazioni della materia oscura con quark o gluoni
- 40    **Figura 3.1.** Esempio di una TPC a simmetria cilindrica, dove si vedono il volume di drift, le camere a fili (in verde) e i pad dove si misura il tempo e la posizione
- 41    **Figura 3.2.** L'esperimento Darkside 50 in foto e in disegno, mostrando le varie componenti
- 42    **Figura 3.3.** Sezione d'urto WIMP–nucleone indipendente dallo spin ( $\sigma_{SI}$ ) in funzione della massa della particella candidata alla materia oscura ( $m_\chi$ ). Le linee rosse mostrano i limiti attesi al 90% C.L. per DS-20k dopo un anno di dati sotto diverse ipotesi di quenching; sono confrontati con limiti pubblicati di esperimenti precedenti. Le aree grigie indicano regioni già escluse; la zona tratteggiata è il ‘neutrino fog’ in LAr
- 43    **Figura 3.4.** Rappresentazione in sezione del rivelatore DarkSide-20k (DS- 20k). L'apparato è basato su una camera a doppia fase di argon liquido, con contenimento criogenico e strumentazione di lettura della luce sui due caposaldi del volume attivo. La configurazione consente la rivelazione di eventi rari prodotti da interazioni tra particelle di materia oscura e nuclei di argon.
- 44    **Figura 3.5.** *Event display* che simula l'arrivo e la rivelazione di una particella di materia oscura nel rivelatore Darkside 20k



## INTRODUZIONE

Non sappiamo cosa sia davvero la materia oscura. Né l’energia oscura. Possediamo solo delle ipotesi, formulate per tentare di spiegare alcuni effetti osservati. Ma non abbiamo mai “visto” direttamente né l’una né l’altra. Quando una stella esplode, vediamo la sua luce arrivare fino a noi. Quello che colpisce i nostri strumenti — e anche la nostra immaginazione — è il fatto che brilli. Ma tutto ciò avviene dentro un universo nero, uno sfondo che non conosciamo. Non possiamo analizzare quel “nero”, anche se agisce sul cosmo, curva la luce, determina la geometria dell’universo. Possiamo immaginare che lo spazio sia un mezzo trasmisivo, come un fluido invisibile. Ma ciò che vediamo resta un effetto secondario: la luce di una stella, non il tessuto invisibile che trasporta. La materia oscura è una forma di materia che non emette né riflette luce, ma esercita una forza gravitazionale. È invisibile, ma possiamo dedurre la sua presenza dal comportamento delle galassie e degli ammassi di galassie. Le stelle nelle galassie, per esempio, ruotano troppo velocemente rispetto alla massa visibile: qualcosa di invisibile le trattiene. Questa ‘massa mancante’ è ciò che chiamiamo materia oscura.

Secondo i modelli attuali, essa rappresenta circa il 27% dell’energia totale dell’universo. Non conosciamo la sua natura: potrebbe essere composta da particelle sconosciute (come le WIMP), da neutrini sterili, o forse da qualcosa che sfugge completamente al nostro attuale modello standard. Cos’è l’energia oscura? L’energia oscura è ancora più misteriosa. È una forma di energia

che sembra riempire tutto lo spazio e che ha un effetto repulsivo: accelera l’espansione dell’universo. Scoperta indirettamente nel 1998 tramite l’osservazione di supernovae lontane, ha cambiato radicalmente la nostra visione del cosmo. Si stima che costituisca circa il 68% dell’universo. La sua origine potrebbe risiedere nella cosiddetta costante cosmologica ( $\Lambda$ ) introdotta da Einstein, oppure in campi scalari dinamici come la quintessenza.

Ma nessuna teoria è confermata. Sappiamo solo che l’universo sta espandendosi sempre più velocemente. Materia Oscura vs Energia Oscura non vanno confuse:

- La materia oscura \*\*ha massa\*\*, esercita attrazione gravitazionale, ma \*\*non emette luce\*\*;
- L’energia oscura \*\*non ha massa\*\*, ma spinge lo spazio ad espandersi più in fretta.

Sono entrambe invisibili, ma il loro ruolo nell’universo è opposto. Una costruisce strutture (come le galassie), l’altra le spinge a separarsi. Studiare la materia e l’energia oscura è come ascoltare un’eco in una caverna che non vediamo. Ci basiamo sugli effetti visibili per dedurre ciò che non conosciamo. La scienza, in fondo, è questo: un dialogo tra ciò che possiamo osservare e ciò che dobbiamo immaginare.

La storia della materia oscura ha inizio nei primi anni trenta, con la misura della dispersione delle velocità nell’ammasso della Chioma, il cui valore è troppo elevato per rendere conto della stabilità dell’ammasso. Questo porta quindi per la prima volta a formulare l’ipotesi della “massa mancante”, invisibile agli strumenti di misura ma necessaria per spiegare il fenomeno osservato. Fu solo negli anni settanta che gli scienziati iniziarono ad esplorare questa incoerenza in modo sistematico, dando inizio a nuove osservazioni basate sullo studio delle curve di rotazione delle galassie a spirale. Anche in questo ambito, si identificò una discrepanza tra le curve di rotazione osservate e quelle che erano state previste sulla base delle stelle presenti all’interno della galassia. Con le nuove osservazioni astrofisiche, si riscontrò che il fenomeno della massa mancante si ripresentava in diversi contesti, e fu quindi identificato come sintomo di una stessa anomalia: l’esistenza di una forma di materia invisibile all’osservazione diretta.