

# Indice

## Invisibili fantasmi dell'universo 9

Il neutrino è una particella elementare 13

Il Modello standard 18

## Anche i neutrini hanno una massa 29

La supernova 1987a 30

Il decadimento beta 31

Il limite cosmologico 34

Le oscillazioni dei neutrini 38

## Da dove vengono questi neutrini 43

Le sorgenti più vicine: Terra, atmosfera e Sole 44

Quando una stella muore 46

Le sorgenti di neutrini più lontane nel tempo  
e nello spazio 50

Il "Grand Tour" scientifico a caccia di neutrini 51

## La fusione solare 53

Il giallo dei neutrini solari 55

L'esperimento Borexino ai LNGS 60

Viaggio all'interno della Terra 63

Perché la Terra è calda? 65

I geoneutrini 71

I rivelatori di geoneutrini: KamLAND e Borexino 74

Neutrini e pinguini 81

L'Antartide, un gelido deserto 81

L'osservatorio di ghiaccio 84

L'astronomia neutrinica 86

L'esperimento IceCube 90

Come si può creare un acceleratore cosmico  
di particelle? 97

Neutrini e capodogli 103

Il progetto KM<sub>3</sub>NeT 105

L'esperimento Nemo e il ramo italiano  
di KM<sub>3</sub>NeT 107

Sorgenti artificiali di neutrini 113

I reattori nucleari 113

Il grande rivelatore cinese Daya Bay 116

Altri esperimenti presenti e futuri ai reattori 119

Un'utile applicazione dei neutrini da reattori 121

Fasci di neutrini da acceleratori 122

Il CNGS 123

OPERA, l'esperimento che fotografa i neutrini 128

Panoramica dei laboratori nel mondo 138

Storia e sviluppo del Laboratorio nazionale  
del Gran Sasso 142

Conclusioni 145

Bibliografia 149

Glossario 157

Invisibili fantasmi ci circondano, ci attraversano numerosissimi e si aggirano per tutto l'universo: sono i neutroni. Non è l'incipit di un romanzo dell'orrore o di fantascienza. Si vuole piuttosto raccontare un'avventura scientifica partita nel secolo scorso e ancora in atto. Tutto inizia nel 1930, quando il fisico teorico Wolfgang Pauli ipotizza l'esistenza di una particella elettricamente neutra come "rimedio" alla descrizione di una reazione nucleare in cui sembrava che non si conservasse l'energia totale. Al momento egli stesso dubitò che gli scienziati sarebbero mai stati in grado di dimostrarne sperimentalmente l'esistenza. Per fortuna non è andata così.

La parola "neutrone", coniato da Enrico Fermi nel 1933 per indicare un piccolo neutrone, di per sé non spaventa, evoca qualcosa di piccolo, gentile e innocuo, e il nome è molto appropriato: esso è elettricamente neutro, è minuscolo, ha una massa così piccola che l'uomo non ha ancora uno strumento in grado di misurarla direttamente. Perché allora chiamarli fantasmi? Immaginate di stare distesi su una bella spiaggia ad abbronzarvi al sole. La vostra pelle sta assorbendo tutto lo spettro della radiazione elettromagnetica visibile e non, emessa dalla stella a noi vicina. Vi risuonano alle orecchie le raccomandazioni dei medici di proteggersi soprattutto dai raggi ultravioletti e così vi spalmate una crema solare per filtranli. Certo i raggi UV non si vedono a occhio nudo, tuttavia sappiamo che sono parte della