

G.V. MARGAGLIOTTI

Appunti di
Introduzione alla Fisica
Nucleare e Subnucleare
a.a. 2017/18

2017

Indice

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Preambolo | 11 |
| 1.1 | I costituenti fondamentali della materia | 12 |
| 1.2 | Elementarità | 14 |
| 1.3 | Le interazioni fondamentali | 15 |
| 1.4 | Simmetrie e leggi di conservazione | 17 |
| 1.5 | La sperimentazione | 18 |
| 1.6 | Unità di misura | 19 |
| 2 | Acceleratori di particelle e nuclei | 21 |
| 2.1 | Acceleratori a caduta di potenziale | 23 |
| 2.2 | Acceleratori lineari | 28 |
| 2.3 | Orbite in campi magnetici | 29 |
| 2.4 | Il betatrone | 35 |
| 2.5 | Il ciclotrone | 40 |
| 2.6 | Il sincrotrone e il proto-sincrotrone | 43 |
| 3 | I raggi cosmici | 49 |
| 3.1 | Alcune caratteristiche dei raggi cosmici | 51 |
| 3.2 | Meccanismi d'accelerazione alla Fermi | 54 |
| 4 | Il nucleo atomico | 59 |
| 4.1 | Nomenclatura | 60 |
| 4.2 | Tabella dei nuclidi | 61 |
| 4.3 | Proprietà del nucleo atomico | 64 |
| 4.3.1 | Masse dei nuclei | 64 |
| 4.3.2 | Misura di masse nucleari con metodi spettrometrici | 65 |
| 4.3.3 | Misura di masse nucleari tramite reazioni nucleari | 68 |
| 4.3.4 | Abbondanza degli elementi | 70 |
| 4.3.5 | Spin dei nuclei | 72 |
| 4.3.6 | Parità e nuclei | 74 |
| 4.3.7 | Natura delle forze nucleari e dimensioni dei nuclei - 1 | 76 |
| 4.3.8 | Natura delle forze nucleari e dimensioni dei nuclei - 2 | 79 |
| 4.3.9 | Natura delle forze nucleari e dimensioni dei nuclei - 3 | 82 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.3.10 | Isospin | 83 |
| 4.3.11 | Formula di Weizsäcker | 85 |
| 4.3.12 | Momenti elettrici e magnetici dei nuclei | 93 |
| 4.3.13 | Misure dei momenti elettrici e magnetici dei nuclei | 98 |
| 5 | La stabilità dei nuclei | 101 |
| 5.1 | Generalità sulla radioattività, ovvero sui decadimenti nucleari | 103 |
| 5.2 | Radioattività α | 105 |
| 5.2.1 | Teoria del decadimento α | 110 |
| 5.3 | Approccio perturbativo ai decadimenti | 114 |
| 5.4 | Radioattività β | 118 |
| 5.4.1 | Teoria di Fermi del decadimento β | 125 |
| 5.5 | Radioattività γ | 130 |
| 5.6 | Fissione nucleare | 133 |
| 5.7 | Cinematica relativistica del decadimento in due corpi | 142 |
| 6 | Statistica dei decadimenti radioattivi | 147 |
| 6.1 | Decadimento radioattivo di una sola sostanza | 147 |
| 6.2 | Decadimento radioattivo di più sostanze | 149 |
| 6.3 | Tecniche radioattive di datazione | 156 |
| 7 | Particelle: una storia avvincente | 163 |
| 7.1 | Il periodo pionieristico (1897-1932) | 163 |
| 7.2 | Il fotone (1900-1924) | 165 |
| 7.3 | I mesoni π (1934-1947) | 168 |
| 7.4 | Le antiparticelle (1930-1956) | 169 |
| 7.5 | Neutrini (1930-1962) | 173 |
| 7.6 | Particelle strane (1947-1960) | 179 |
| 7.7 | La via dell'ottetto (1961-1964) | 184 |
| 7.8 | Il modello a quark (1964) | 187 |
| 7.9 | La rivoluzione di novembre e le sue conseguenze (1974 - 1983 e 1995) | 193 |
| 7.10 | I bosoni vettori intermedi (1983) | 197 |
| 8 | Processi d'urto | 199 |
| 8.1 | Sezioni d'urto: introduzione operativa | 203 |
| 8.2 | Invarianti cinematici | 209 |
| 8.3 | Cinematica per urti di particelle leggere su particelle massive | 214 |
| 8.4 | La sezione d'urto di Rutherford: approccio classico | 217 |
| 8.5 | Approccio quantistico al concetto di sezione d'urto | 222 |
| 8.5.1 | Sezioni d'urto e spazio delle fasi | 224 |
| 8.6 | La sezione d'urto di Rutherford: approccio quantistico | 227 |
| 8.7 | La sezione d'urto di Mott | 231 |
| 8.8 | Distribuzione della materia in un nucleo | 238 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 8.9 | Urti e risonanze | 246 |
| 8.10 | Diagrammi di Feynman | 253 |
| 9 | Diffusione elastica su nucleoni | 257 |
| 9.1 | Fattori di forma dei nucleoni | 258 |
| 9.2 | Diffusione quasi-elastica | 264 |
| 9.3 | Dimensioni di pioni e Kaoni | 268 |
| 10 | Diffusione profondamente anelastica | 271 |
| 10.1 | Stati eccitati dei nucleoni | 272 |
| 10.2 | Funzioni di struttura | 275 |
| 10.3 | Il modello a partoni | 280 |
| 10.4 | La struttura a quark dei nucleoni | 282 |
| 10.5 | Le funzioni di struttura nell'ambito del modello a partoni | 284 |
| 10.5.1 | Carica dei quark e diffusione anelastica $\nu + N$ | 289 |
| 10.6 | Un certo livello di insoddisfazione | 291 |
| 11 | Quark, gluoni e l'interazione forte | 293 |
| 11.1 | Quark e adroni | 293 |
| 11.2 | Interazione fra quark e gluoni | 295 |
| 11.3 | Violazioni di scala per le funzioni di struttura | 301 |
| 11.4 | Effetti nucleari nella diffusione profondamente anelastica | 305 |
| 11.5 | I risultati della diffusione profondamente anelastica | 307 |
| 12 | -* Produzione di particelle in urti e^+e^- | 309 |
| 13 | -* Fenomenologia delle interazioni deboli | 311 |
| 14 | -* Bosoni di scambio delle interazioni deboli e bosone di Higgs | 313 |
| 15 | Stati adronici legati: quarkonia | 315 |
| 15.1 | Il charmonio | 317 |
| 15.2 | Il potenziale quark - antiquark | 320 |
| 16 | -* Mesoni | 325 |
| 17 | Barioni | 327 |
| 17.1 | Produzione e rivelazione di barioni | 327 |
| 17.2 | -* Multipletti barionici | 331 |
| 17.3 | -* Masse dei barioni | 331 |
| 17.4 | -* Momenti magnetici | 331 |
| 17.5 | -* Decadimenti semileptonici dei barioni | 331 |
| 17.6 | Limiti del concetto di quark costituenti | 331 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 18 | Concetti di dinamica delle particelle elementari | 335 |
| 18.1 | Elettrodinamica quantistica (QED) | 336 |
| 18.2 | Cromodinamica quantistica (QCD) | 341 |
| 19 | Il Modello Standard | 351 |
| 20 | La forza nucleare | 357 |
| 20.1 | Sistema legato nucleone-nucleone | 358 |
| 20.1.1 | La diffusione nucleone-nucleone | 358 |
| 20.1.2 | *- Il deutone | 363 |
| 20.2 | Analogia atomico-molecolare | 365 |
| 20.3 | Il potenziale di Yukawa | 367 |
| 21 | La struttura dei nuclei | 373 |
| 21.1 | Modello a gas di Fermi | 374 |
| 21.2 | Ipernuclei | 377 |
| 21.3 | *- Il modello a shell | 378 |
| 22 | Termodinamica nucleare | 379 |
| 22.1 | *- Descrizione termodinamica di un nucleo | 382 |
| 22.2 | *- Nucleo composto e caos quantistico | 382 |
| 22.3 | *- Fasi della materia nucleare | 382 |
| 23 | Particelle e termodinamica nell'universo primordiale | 383 |
| 24 | Evoluzione stellare e sintesi degli elementi | 393 |
| 24.1 | Fusione nucleare | 394 |
| 24.1.1 | *- Bruciamento dell'idrogeno | 400 |
| 24.1.2 | *- Bruciamento dell'elio | 400 |
| 24.1.3 | *- Bruciamento del ferro | 400 |
| 24.1.4 | *- Sintesi elementi pesanti | 400 |
| A | Momenti elettrici dei nuclei | 401 |
| B | Richiami di Relatività ristretta | 407 |
| C | Stato finale in tre corpi | 413 |
| D | Decadimenti e leggi di conservazione | 417 |
| E | Leggi di conservazione e loro violazioni | 423 |
| F | Decadimento alfa, calcolo ... | 425 |