



素粒子物理学

について調べる



★ 関連キーワード

- 相対論的量子力学
- 場の理論
- 高エネルギー物理学

「Paste (ぱすて)」とは？

ぱっと分かって、すっと頭に入る、テーマ別調べ方ガイドです。みなさんの学習をサポートする、総合図書館ラーニング・サポーター（LS）による作成です。レポート作成の際などにお役立てください

1. イントロダクション

1-1. 「素粒子物理学」とは？

この世界は何からできているのか？どのような法則に従い、どのように生まれ、どのような終わりを迎えるのか？という根源的な問いについて探求するのが素粒子物理学です。私たちが住む世界は、時間と空間、そしてそこに存在する物質から成り立っています。従って、物質を構成する最小単位の粒子(素粒子)が、時空の中でどのような法則に従っているかを明らかにすることは、この世界を支配するルールを理解することに繋がります。

さまざまな元素を構成する原子核は、さらに陽子や中性子といった粒子に分解されますが、これらはさらにクォークと呼ばれる粒子から構成されることがこれまでの実験によって分かっています。これまでに見つかった素粒子は全部で21種類あり、クォークや電子といった物質を構成する粒子に加えて、力を媒介するゲージ粒子、物質に質量を与えるヒッグス粒子などがあります。これらの振る舞いは素粒子の標準模型と呼ばれる理論によって予言することができますが、重力の量子化や力の統一など、未だに解決されていない問題もあり、活発に議論されています。

1-2. 学習するにあたってのポイント

素粒子の物理は、ミクロの世界を記述する量子力学と、時空の物理である相対性理論の二つを基礎とした、場の量子論によって理解できます。「場」として表される素粒子のダイナミクスはこの場の理論によって記述されるため、素粒子物理学を始めるにはまず場の理論を学ぶことが大事です。これを学ぶにあたっては、少なくとも量子力学と特殊相対性理論の基本的な知識が必要です。

この場の理論は、粒子同士の相互作用を考えた場合には厳密に解くことが非常に難しく、例えば様々な素粒子同士の反応は、簡単に解ける自由な理論からの摂動を用いた近似によって計算されます。場の理論を勉強するにあたっては、自由場を理解したのちに、摂動論やくりこみといった重要な概念を身に着けるとよいでしょう。

2. 学習用資料

2-1. 事典・ハンドブック 類

■ Review of Particle Physics, Particle Data Group

二年に一度 Particle Data Group が発行する、素粒子物理学を最新結果と共にレビューした本です。基本的には Web ページ(<https://pdg.lbl.gov/#gsc.tab=0>)からアクセスできるものと同様ですが、ホームページから注文して配送してもらうことが可能です。(2023年現在は無料。)

2-2. 最初に読むべき資料：教科書・古典

■ 場の量子論：不変性と自由場を中心にして / 坂本真人著

相対論的量子力学から始まり自由場の量子化までがこの本で解説されています。行間が無く解説が充実しているため相対論と量子力学の知識があれば読めます。この本で解説されているのは自由場の量子化までで、相互作用が入った散乱などの議論は続巻で取り扱われています。

【書誌 ID= 2004353353】総合図-A 棟 4 階 学習用図書 421.3||SAK

- An introduction to quantum field theory / Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder
標準的な場の理論の教科書です。素粒子物理学を学ぶ上で必要な理論(摂動論、くりこみ、標準模型など)が一通り学べます。素粒子系の研究室に配属された学生が一番初めに読むのは大体これ、という感じの本です。

【書誌 ID= 2004389508】総合図-A 棟 4 階 学習用図書 421.3||PES

- Quarks and leptons : an introductory course in modern particle physics / Francis Halzen, Alan D. Martin
電弱相互作用や強い相互作用を含む標準模型が歴史や具体例と共に理解できます。量子力学の延長で散乱を議論しており、場の理論をまだ習っていない方にもおすすめです。

【書誌 ID= 2003490705】総合図-A 棟 4 階 学習用図書 429.6||HAL

2-3. 最新情報が確認できる資料: 主要雑誌・年鑑・Web ページ

- Journal of High Energy Physics 【電子ジャーナル ISSN= 1029-8479】
Springer 社から発行されている高エネルギー物理学に特化したオープンアクセスジャーナルです。ほとんどの論文を無料で読むことができます。
- Physical Review Journals (American Physical Society) 【電子ジャーナル ISSN= 2470-0029】
American Physical Society から出版されているジャーナル誌です。素粒子物理学に関連する論文は Physical Review D に多く掲載されています。大阪大学からのアクセスも可能です。
【書誌 ID= OJ00000570】
- Particle Data Group (<https://pdg.lbl.gov/#gsc.tab=0>)
素粒子や複合粒子の質量や崩壊モード、物理定数など、膨大な実験データを参照できます。

2-4. その他専門書・学術論文等で注目すべきもの

- CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction, Makoto Kobayashi and Toshihide Maskawa, Prog. Theor. Phys. 49 (1973) 652-657
クォークがまだアップ、ダウン、ストレンジの 3 種類しか発見されていなかった時代に、チャームに加えてボトム、トップといった 3 世代目のクォークを理論的に予言した論文です。それまでに観測されていた CP 対称性の破れを説明することができる小林、益川両博士のこの論文は、2008 年のノーベル物理学賞の受賞対象になりました。

- A Model of Leptons, Steven Weinberg, Phys. Rev. Lett. 19, 1264 (1967)
素粒子の標準模型、特に電磁気力と弱い力に関する統一理論を提唱した論文の1つです。この理論によって、電弱相互作用と呼ばれる統一された力に対する理解が得られ、これまでの実験で得られた多種多様な素粒子の反応を予言することができます。

- Evidence for Oscillation of Atmospheric Neutrinos, Y. Fukuda et al. (Super-Kamiokande Collaboration), Phys. Rev. Lett. 81, 1562 (1998)
ニュートリノと呼ばれる素粒子は、標準模型では質量がない粒子として導入されていますが、フレーバー(世代間)振動が実験的に見つかったため、微小ながらも質量があることが分かりました。この質量起源については未だ解決されておらず、標準模型が説明できない問題として残っています。

- Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, Phys. Lett. B 716 (2012) 1–29
- Observation of a New Boson at a Mass of 125 GeV with the CMS Experiment at the LHC, Phys. Lett. B 716 (2012) 30–61
2012年、CERNにある大型ハドロン衝突型加速器(LHC)によってヒッグス粒子が発見されました。ヒッグス粒子は、対称性の自発的破れに伴ってクォークやレプトン、ゲージ粒子に質量を与える粒子で、提唱したヒッグス博士はこの年ノーベル物理学賞を受賞しました。

- Ultraviolet Behavior of Nonabelian Gauge Theories, David J. Gross and Frank Wilczek, Phys. Rev. Lett. 30, 1343 (1973)
ゲージ理論の漸近的自由性を証明した論文です。クォークを記述するゲージ理論である量子色力学は、高エネルギーにいくほど相互作用が弱くなりますが、その振る舞いを理論的に示しました。異なるエネルギースケールの物理を知れるくりこみ群と呼ばれる重要な概念は、場の理論の教科書にも必ずと言っていいほど説明があります。

3. レポート・論文執筆用資料

3-1. 二次資料類：検索サイト・書誌索引

- Inspire HEP (<https://inspirehep.net/>)
素粒子、高エネルギー物理学全般の論文などの文献を検索できる web ページです。引用のための tex コードも得られます。

- arXiv.org (<https://arxiv.org/>)
最新の(査読前)論文が投稿されるプレプリントサーバです。様々な物理学および数学の分野の新しい論文が毎日平日に投稿されます。素粒子、高エネルギー物理学の論文は hep-th (理論), hep-ph (現象論), hep-lat (格子理論), hep-exp (実験)にあります。

本文中で紹介している図書・雑誌について

図書名・雑誌名の後ろに「書誌 ID」(10桁の数字)の記載があるものは大阪大学で所蔵しています。この10桁の数字で大阪大学 OPAC(蔵書検索システム)が検索できます。

テーマ別調べ方ガイド

