



予感が増してきたことから、LHC からの物理の結果と ILC との関係、ILC の早期実現に向けた加速器開発の現状に焦点をあてる講義もあった。LHC の結果を巡り、理論、実験、加速器の専門家が入り乱れ、熱い議論がかわされた。最終日には、学生が自分の取り組んでいる研究を発表する場が設けられ、13 名が発表を行った。ILC に関係する幅広い分野を網羅したプログラムで、加速器が専門の学生には、素粒子物理の基礎を、物理が専門の学生には加速器の基礎を学ぶ貴重な機会となった。

「大いに盛り上がり、有意義な合宿になりました。世話人一同、今後の発展に期待がもてます」と、合宿の世話人代表をつとめた、信州大学の竹下徹氏は合宿を振り返る。学生からは、「自分が研究していることが、ILC の中で他の部分とどう関係があるのかがわかりました」(学部 4 年)、「他の大学の先生方の講義が聞けてよかった。また、他の学生が何を研究しているのかを聞いておもしろいと思った」(博士 3 年)などの感想が寄せられた。「講義の難易度や、講義後の時間の活用法については、次回に向け検討する必要がありますが、合宿全体としてはうまくいったと思います」(竹下氏)

次回の夏の合宿は、九州での開催が検討されている。

九州で先端加速器シンポジウム開催



小川洋福岡県知事 古川康佐賀県知事

8月30日、福岡市のアクロス福岡・国際会議場にて、先端基礎科学次世代加速器研究会と先端加速器科学技術推進協議会(AAA)主催の先端加速器科学技術

推進シンポジウム 2011 in 九州「先端加速器の世界のいのちを守る、宇宙を創る」が開催され、およそ 250 名が参加した。

開会に先立ち、小川洋福岡県、古川康佐賀県両知事が挨拶された。小川福岡県知事は、「福岡県は、佐賀県や研究機関、経済界と連携して、国際リニアコライダー誘致のための環境整備を進めていきたいと考えています」と述べられた。続いて、古川康佐賀県知事は、「一見暮らしとは関係のないと思われる加速器が、実は、命をまもることにもつながっていることなどについての理解を深めていただきたい」と、シンポジウムについて述べられた。

シンポジウムは藤本順平氏(KEK)の「先端加速器概説」と題した講演で始まり、辻井博彦氏(放射線医学総合研究所)の「いのちを守る先端加速器〜重粒子線がん治療への応用〜」、鈴木厚人 KEK 機構長の「ビッグバンを再現する究極の加速器 国際リニアコライダー計画」についての講演が行われた。



加速器図鑑

LHC と超伝導磁石



LHC の超伝導磁石のカットモデル。ビームの進む向きに垂直な断面で切ったもの。層状に見えるブロンズ色のものが超伝導体によるコイルの断面。LHC では2つの陽子ビームを逆向きに廻して衝突させる。そのために極性の違う2つの超伝導磁石を1つにまとめた 2-in-1 と呼ばれる構造をしている。

LHC の主要部は地下約 100m^{*1}にある一周 27km のトンネルの中にずっと並んだ超伝導磁石だ。LHC は ILC と違って円形のリング状加速器だ。陽子はリングの中をぐるぐる何周も廻って高いエネルギーに到達する。陽子はリングの中の加速部を何度も通るので一回の加速は弱くても大丈夫である。曲げても放射光をほとんど出さない陽子の性質のおかげでこのような加速が可能になる。この点が曲げると放射

光を出してエネルギーを失う電子を加速するために直線上をしている ILC との違いである。

しかし 7TeV (テラ電子ボルト)^{**2} という高いエネルギーのビームを曲げるのは大変だ。LHC ではこれを実現する為に2つのことをしている。一つは出来るだけ曲がりをゆるくすることだ。LHC が一周 27km と巨大な円形をしているのはこの為だ。もうひとつが強力な超伝導磁石である。陽子を曲げる為の磁石のコイルを超伝導体で作れば、電気抵抗がゼロである為に電流密度を高くすることができ、非常に大きな電流が流せる。これにより強力な磁場を発生することで高いエネルギーのビームを曲げることが可能になる。常伝導磁石の場合はコイルの抵抗の為に発生させる事の出来る磁場の上限は約 1.5 テスラであるが、LHC の超伝導磁石はこれを大きく上回る 8 テスラという磁場を発生する。これが LHC の高エネルギー実現のカギである。このような磁石が 1232 台トンネル内に並ぶ。

*1) 深さは場所により異なる。

*2) LHC の設計値は 7TeV。現在はこの半分の 3.5TeV で運転中。1TeV = 1000GeV。

お知らせ

編集部より

ILC 通信では、印刷版以外でも様々な形で情報発信を行っております。ツイッター、facebook では、印刷版の記事はもちろんのこと、世界の素粒子物理関連ニュース、そして ILC 研究者がそれらのニュースに加える興味深いコメントなど、ILC 通信ならではのコンテンツをお送りしています。アカウントをお持ちでなくてもご覧になれますので、ぜひのぞいてみてください。

ILC 通信の各号の記事はウェブページでご覧いただけます。(http://ilc-tsushin.kek.jp/) 紙版の送付をご希望されない場合、部数の変更等がございましたら、編集部までご連絡いただけますと幸いです。今後ともご愛読頂きますようよろしくお願い申し上げます。

ビジターカウンター

KEK には、毎月世界各地から学生や研究者が訪れ、共同研究を行っています。ILC の技術開発のために訪れた滞在者はこちら

6/16 ~ 8/15

6

国/地域から

19

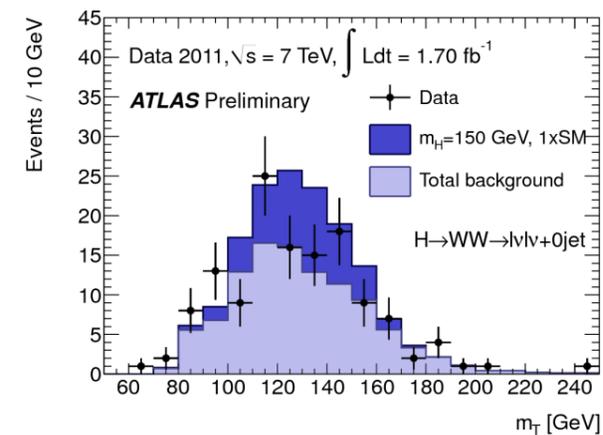
名

ILC 通信

Vol. 60
2011年9月1日発行

国際リニアコライダー
アイ・エル・シー通信

ヒッグス粒子の探し方



ATLAS 実験グループの発表したヒストグラム。濃い紫のラインはヒッグスが「150GeV であると仮定した」予測値。横軸は、ビームの衝突に対して垂直方向の運動量のみから再構成したエネルギーなので、山の頂きは 150GeV より少し下のほう、130GeV 付近にある。画像：ATLAS 実験グループ

7月末から8月にかけて、素粒子物理の国際会議でヒッグス粒子の存在に関する発表が相次ぎ、新聞やインターネットを賑わせた。

ヒッグス粒子とは、現在、この宇宙で起きている物理現象のしくみを最も的確に説明することができる「標準理論」で、唯一未発見の粒子。なぜ素粒子には質量があるのか、そのカギを握る粒子だといわれている。ヒッグス粒子がみつからないと、2世紀にわたって、世界の物理学者が積み上げて来た理論そのものが足下から崩れてしまうくらいの事件ともなりかねない、重要な粒子だ。

現在、欧州合同原子核研究機関(CERN)で稼働中の世界最大の加速器「大型ハドロンコライダー(LHC)」の2つの測定器「ATLAS(アトラス)」「CMS(コンパクト・ミュオン・ソレノイド)」では、ヒッグス粒子の証拠を捉えようと実験が進められている。

今夏の国際会議で2つの測定器の共同研究グループが発表したのは「エネルギー領域の除外」である。データの解析結果から、ATLAS と CMS 両共同研究グループがそれぞれ、95パーセントの信頼水準で、145 ~ 466 ギガ電子ボルト(GeV)の領域の大部分が除外された、と報告した。ところで「エネルギー領域の除外」とはどういう意味だろうか。素粒子物理学者は、どうやって目に見えない素粒子を探しているのだろうか?

LHC 実験では、ヒッグス粒子そのものを捉えるのではなく、ヒッグス粒子から姿を変えた粒子の組み合わせから、その痕跡をたどる。巻頭の図は、多くの日本人研究者が参加している ATLAS 実験グループが8

月にインドで開かれたレプトン・フォトン会議で報告したもの。ヒッグス粒子がまず W 粒子 2 個に姿を変え(崩壊)、2つの W 粒子がともにレプトンとニュートリノの組み合わせへと崩壊する過程を探索した結果だ。

図中の黒い十時マークが、アトラス実験グループが見つけたヒッグス粒子候補の数である。そして、濃い紫色は、ヒッグス粒子の質量が 150GeV である仮定した時に観測されると想定されるヒストグラム。一方、薄い紫の部分は、ヒッグスが無い場合の予測値である。

レプトンは、ヒッグス粒子以外からも生成される。そのため、崩壊の仕方を入念に調べ、その大量のデータから「ヒッグスから由来するとおぼしき」事象を抽出していく。もし質量が 150GeV のヒッグスがあれば、濃い紫色の部分に十時マークが付けられて行くことになる。

よく見ると、十時の縦線に長いものと短いものがあるが、これは誤差の範囲を表すもので、縦線が長いものは誤差の範囲が大きいことを示している。データの量が増えるとともに、縦線は短くなり、点に近いかたちになっていく。そしてそれらをつないだ線と濃い紫の部分が合致すると「新発見!」ということになるのである。

科学者はこんな時「エクセスが見つかる」という表現を使う。エクセスとは直訳すると「超過分」だが、ヒッグスが無い場合の薄紫色の部分を「超える」山ができるので、こう呼ばれるのだ。

この図は、「エネルギーの再構成」という作業から導かれている。簡単に言えば、崩壊の過程を逆にたどり、観測された粒子のエネルギーを足し合わせてももとのエネルギーを算出することだが、いうまでもなく、実際には非常に複雑なプロセスが行われている。特に、LHC 実験では衝突させる粒子が陽子であるため、衝突反応自体が複雑だ。陽子は素粒子ではなく、中にクォークやグルーオンといった粒子が詰まった複合粒子。衝突するのは中にある粒子同士で、エネルギーが分散されるのだ。さらに、ニュートリノを含む崩壊は、ニュートリノを測定器で捉えることができない。このような複雑な衝突からヒッグスを探し出すのは想像を絶する作業に思えるが、衝突反応を捉え、解析するために開発された様々な最先端の技術と科学者の努力がそれを可能にしているのである。

今回の国際会議で発表されたのは「145 ~ 466 GeV の領域の大部分の除外」。これはヒッグス粒子の探索が、ヒッグスが隠れているような場所を「つぶして」行くことで行われていることを意味している。

加速器で粒子にエネルギーを与えると、速度が上がっていくが、光速を越えることはできない。粒子の速度が光速近くなると、速度が上がる代わりに粒子はエネルギーを溜め込み「高エネルギー状態」となる。アインシュタインの有名な方程式「E=MC²」で表されるように、エネ



ルギー(E)は、質量(M)に光の速さの二乗を掛け合わせたものと等価になっている。つまり、エネルギーから質量=粒子を産み出すことが出来るということだ。加速器の種類や性能によってつくることができるエネルギーの高さは異なっているので、それぞれのつくることができる粒子も異なる。このように、それぞれの加速器がカバーできるヒッグスの探索範囲も異なる。LHCでは、110 GeVから1000 GeVに近い領域まで広い範囲をカバーする。たくさん反応を起こしてみても、ある領域でさっぱり出て来ない、という場合は「そこにはヒッグスは無い」と判断できるということになる。ヒッグス粒子がないと判断された領域を塗りつぶして、探索範囲を狭めて行くのである。

これまで、米フェルミ国立加速器研究所 (Fermilab) のテバトロン加速器や LHC の前身である LEP 電子・陽電子衝突加速器など、他の加速器を使った研究で、ヒッグスが隠れている可能性のある領域が除外されてきた。今回また、探索範囲から除外される場所が増えたということだ。

ヒッグスの隠れ家を突き止めたら、いよいよ ILC の番だ。ILC はヒッグスが何に変化しようと、その粒子をとらえることがとても容易で、ヒッグスを見間違えることがない。そのため、ヒッグスの数々の性質を高精度の測定で決定できるのだ。

LHC は今も順調にデータを集積し続けており、CERN は「今後12ヶ月以内の新発見はほぼ確実。ヒッグスがあるならば見つかるだろうし、無いのであれば、新たな方向性が示せるだろう」と発表している。果たしてヒッグス粒子の居場所はとうとうつきとめられるのか、それともヒッグス粒子は存在しない、ということが判明するのか？素粒子物理学は重要なターニングポイントを迎えようとしている。

ILC NewsLine ダイジェスト

ILC 研究者グループが毎週発行しているニュースレター「ILC NewsLine」に掲載された記事から、ILC 通信編集部セレクトのおすすめ記事を要約版でお届けします。元記事は、ウェブサイトでご覧頂けます。(英語：http://newslines.linearcollider.org/ 日本語訳：http://ilchighlights.typepad.com/japan/)

7月14日号より 超伝導空洞の「シミ対策」

加速器は、何百種類もの多種多様な部品や装置、構成要素から組合わさってできる精密機械。高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の研究者は、それらの要素ひとつひとつに対応するための、様々な研究や試験に取り組んでいる。そのひとつが空洞の「シミ対策」である。

超伝導加速空洞の性能試験を行っている時に、空洞の発熱箇所を調べたところ、その周辺に原因不明のシミが見つかった。超伝導加速空洞はニオブ製。空洞の内部にホコリや汚れが付着していたり、突起やキズなどの欠陥があると、発熱を起こしたり超伝導状態を維持できなくなる。そこで、表面を平滑化する電解研磨を行い、内面を鏡のようにする。研究チームは、シミは、この研磨のプロセスのどこかで発生していると考え、まずシミの再現実験を行った。

再現実験の結果、シミは電解研磨液の組成であるフッ化水素酸に起因することが判明した。さらに、再現したシミについて、物質に含まれる元素の種類と量が分析できる「蛍光 X 線分析」を行った。シミの部分からは、フッ素と酸素が検出され、シミはフッ素を含む酸化物の膜だということがわかった。さらに詳しく調べると、この酸素は水分に含まれることがわかり、シミ発生のメカニズムが解明された。

研究チームは、シミのできにくい電界研磨液の洗浄手法を開発。空洞性能向上への貢献が期待されている。

8月25日号より PCMag 磁石、KEK に里帰り

8月10日、ドイツ電子シンクロトロン研究所 (DESY) の実験で使われていた超伝導磁石「PCMag」がアップグレードのため KEK に里帰した。PCMag はもともと、気球を使った日米共同実験「BESS」のために開発されたプロトタイプ磁石。BESS は、気球に測定器を搭載して、南極上空を周回させる実験で、高度 37 ~ 39km での低エネルギー宇宙粒子線を観測することによって、宇宙線反陽子の精密測定と宇宙起源反物質の探索などを目指したものだ。

PCMag は、テスト飛行で米ニューメキシコ州上空を1度飛行したが、実際の BESS 実験には使われず、KEK の陽子シンクロトロン (PS) で、様々な実験に使われていた。KEK が2006年度末に PS をシャットダウンしたさいに PCMag は DESY へ貸し出されることになり、4年間、リニアコライダの測定器開発実験に使われていた。

BESS 実験では、測定器を気球で上空に打ち上げて実験を行う。超伝導磁石は、超伝導状態を保つために、極低温まで冷やす必要がある。そのため、PCMag は250 l の液体ヘリウムタンクを装備しており、これは10日間上空で行われるのに十分な量だ。この気球実験では便利な機能は、地上で長期間にわたって行う実験にとっては、ちょっとやっかいだ。10日間毎の液体ヘリウムの補給はコストと危険を伴い、また、面倒でもある。

今回の改修で、PCMag は無冷媒型磁石に姿を変える。ここ数年で無冷媒の超伝導技術が急速に進歩し、超伝導磁石の開発にも取り入れられるようになってきた。KEK では、DCBA 実験というニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊過程を調べる実験の測定で、すでに無冷媒磁石の開発に成功しており、その技術をもとに PCMag をアップグレードする。

アップグレードの完了は、来春を予定しており、PCMag は再度 DESY に送られる。



左) 98%硫酸、右) 46%フッ化水素酸でニオブ板にシミができるかを実験。右図のように、ニオブ板のシミはフッ化水素酸に起因することが分かった。画像：KEK 沢辺元明氏

素粒子物理ワールドニュース

KEK と共同で ILC の研究開発にあたっている世界の研究所から発信された、素粒子物理学関連の話題をピックアップします。

2011年8月9日 DESY ウェブサイトより XFEL のトンネル掘削完了



TBM 型トンネル掘削機。画像：DESY

8月6日、XFEL 超伝導加速器用のトンネル掘削工事が完了した。TULA (Tunnel for LAsers) という愛称の、この掘削に使われた TBM 型トンネル掘削機は、400日間を超える工事を完了し、製造業者へと返却される。一部の部品は再利用される。TULA は9月半ばに地上へと搬出される予定だ。加速器設置には、安定したフラットな床面が必要とされる。床の敷設工事は来年1月頃に完了する予定だ。

中国科学院高能物理研究所 2011年8月12日 中国科学院高能物理研究所より BEPc II 加速器、2億個の J/ψ データを収集



BEPc II 加速器。画像：IHEP

中国科学院高能物理研究所 (IHEP) の北京電子・陽電子コライダ II (BEPc II) は、6月4日(月)から7月28日(木)まで運転を行い、2億個の J/ψ (ジェイ / プサイ) 粒子生成を達成した。1999年から2000年にかけて303日間運転された BEPC 加速器が生成した J/ψ 粒子の数は5千800万個であり、今回の成果から BEPC II は20倍の性能向上を達成したと考えることが出来る。

※編集部注：BEPc/BEPc II は、タウ粒子やチャーム・クォークの性質の究明を目指す加速器である。BEPc II は二重リングの電子・陽電子衝突型加速器と、外リングのシンクロトロン放射線施設をもつ。

Fermilab 2011年8月25日 Fermilab より

ニュートリノと反ニュートリノの質量の差、縮まる

昨年、ニュートリノと反ニュートリノは質量に差があるとする発表があったが、MINOS 研究グループの新しい分析結果によると、この差はさほど大きくないとくことが判明した。研究グループは、昨年の発表時100個であったデータの約2倍にあたる197個のデータを収集。ミューオン型ニュートリノとその反粒子を世界一の精度で分析した。昨夏の分析では40%あるとされた質量の差は、今回の分析では16%まで縮小された。この差は、Fermilab の新しいニュートリノ実験である NoVA と MINOS+ での研究で、さらに縮小されることが期待されている。新しい実験は、アップグレードした加速器のビームを用いて、2013年から実施される予定だ。

トピックス

ILC のサイエンスカフェ、佐賀で開催



7月23日、佐賀市立図書館でサイエンスカフェが開催された。「佐賀大学公開講座 Science Cafe 『カフェで宇宙の起源を語ろう』と題するサイエンスカフェには、定員の40

名を超える多数の参加があった。講師をつとめたのは、佐賀大学大学院の杉山晃氏と KEK の岡田安弘氏。杉山氏は「春振も候補地！国際リニアコライダ (ILC) 計画」と題する講演を行った。ILC 計画とは何か、また、春振の山にどのような施設を作ろうとしているか、何故この地域が候補地として適しているかについて説明した。続いて、「巨大顕微鏡」で探る素粒子と宇宙の謎」というタイトルで講演を行ったのは岡田氏。素粒子の歴史から紐解き、前日に欧州物理学会で発表された LHC 実験の最新結果であるヒッグス粒子探索結果についてまで解説した。

参加者からは、総予算や実験期間についての質問や、ヒッグス発見についてのかなり込みいった質問から、粒子を加速すると光速を超えることができるのかという一般的な疑問まで寄せられた。

ILC の夏の合宿、長野で開催



8月8日～11日、長野県志賀高原のホテル志賀サンバレーで「加速器・物理合同 ILC 夏の合宿 2011」が開催された。日本の ILC 加速器と物理研究者グループが主催し、KEK および関係大学のサポートを得て行われた。ILC に興味のある若手研究者・大学院生を中心とし、全国各地の14の大学・研究機関からおよそ70名(うち大学院生29名)が集まった。

今回の夏の合宿は第二回目で、一回目は昨年、宮城県で開催。合宿開催の動機は、二つあった。「一つは、加速器と物理の間のコミュニケーションの前提となる基本的な知識を、加速器と物理それぞれの専門家による非専門家向けの講義を通して再確認すること、もう一つは、両者の親睦をはかり、日常的で緊密な情報交換の下地を作ること」と合宿の世話人 KEK の藤井恵介氏は語った。

合宿では、加速器と測定器の概要についての技術的な講義、ILC の国際推進組織の話のほか、鈴木厚人 KEK 機構長、ILC リサーチ・ディレクター (物理研究責任者) の山田作衛氏、ILC プロジェクト・マネージャーの山本明氏による講義もあった。また、CERN の LHC が順調に稼働を続けており、ヒッグス粒子の発見など、新発見が期待できる