

公開講座（6月10日）の来場者アンケートの質問への回答（担当：花垣 和則）

【質問】

超対称性についての説明が今回の胆と思いましたが、スピン以外の話が知りたかった。なぜ超対称性が最有力なのか私見を聞きたかった気がします。

【回答】

重力は時空に関する物理法則なので、重力を根元から理解するには、重力を導き出す何らかの対称性が必要です。重力以外の3つの力は、ゲージ対称性と呼ばれる時空とは関係のない対称性でその運動法則を規定できます。そこで、重力まで含めて力を統一するには、時空に関する対称性とゲージ対称性とを統一的に取り扱う必要があります。

超対称性はスピンに関する対称性なので、時空に関する対称性です。（ここには論理の飛躍があります。スピンは、講演会ではたとえ話として、自転のようなものだと説明しました。ここから先のスピンは自転ではなく、本当の素粒子のスピンです。量子力学におけるスピンです。）

重力まで含めた統一には、先に説明したように、ゲージ対称性と統一的に扱える時空の対称性が必要ですが、スピンに関する対称性である超対称性がまさにその性質を満たしています。逆に、人類は、数理的に、超対称性以外にそのような対称性を知りません。よって、重力まで含めた統一を考える場合には、スピンに関する対称性である超対称性が不可欠です。だからこそ、現在の素粒子物理学で超対称性が一番重要な未確認の法則原理だと考えられています。

【質問】

今何が問題かがよくわかった。2分の1スピンにも法則がわからないのなら、0~2分の1の間のスピンでも法則はわからないだろうから、いろんなスピンのあつていいのでは、そうすると粒子の数はダークマターくらいになるのでは？

【回答】

1/2のスピンを持つ粒子の性質はわかっていますし、スピン1のスピンを持つ粒子の性質もわかっています。また、スピンは講演会では自転のようなものだと言いましたが、実は、自転ではありません。素粒子は、好き勝手なスピンを持たず、0, 1/2, 1のように決まった値しか持てません。また、スピンの違うだけでは暗黒物質になれません。

【質問】

粒子以外にその他の物質で加速器を使用して、何かしらの実験をすることはできないのか？

【回答】

すみません，粒子以外の物質というのは何でしょうか？この宇宙には，物質を構成する粒子と，力を媒介する粒子しか存在しません。

【質問】

宇宙年齢 138 億年は何処の時計で計ったのでしょうか、時間の進み方は場所によって違います。特に宇宙初期の時計はどのように定義されるのでしょうか？

【回答】

時間の進み方は宇宙のいたる場所で一緒です。また，物理法則も宇宙のいたる場所で一緒だという仮定のもとに物理学も宇宙論も成り立っています。たとえば，東京でも大阪でもジュネーブでも，物理法則や時間の進み方は同じです。

公開講座（6月10日）の来場者アンケートの質問への回答（担当：佐伯 学行）

【質問】

我々素人に理解できる様お話を工夫していただいて有り難かった。宇宙にダークマター・ダークエネルギーが満ちているらしいが、何だか解らないものというなら 95%というのはなぜ判るのでしょうか？

【回答】

まず、暗黒物質から説明いたします。暗黒物質は、銀河団の運動、銀河の回転速度、重力レンズ効果など、多くの方法でその分布と存在量が観測されています。教科書などにもある最も有名な観測は、銀河の回転速度から暗黒物質の量を推定するというものです。銀河内の全ての恒星は、その明るさなどを分類することで、質量を推定することができます。太陽系を見れば分かるように、惑星の質量は恒星に比べて小さいので無視するとして、光っている恒星の質量を見積もれば、銀河内の全物質の質量分布が分かるはずで

す。この方法で得られた質量分布を元に、重力の簡単な方程式を解いて、銀河系の回転速度分布を銀河の中心からの距離の関数としてプロットします。一方、実際に銀河の星間ガスの速度をドップラー効果で観測することができるので、実際の銀河の回転速度も中心からの距離の関数としてプロットできます。問題は、これらの2つのプロットが明らかに違うということです。実際の観測結果を再現するためには、恒星の質量よりも数倍も多い質量が銀河系内に分布していないと説明がつかないのです。この失われた質量が「暗黒物質」と呼ばれているものです。Wikipedia の「暗黒物質」、「銀河の回転曲線問題」なども参照してください。

次に、暗黒エネルギーについて説明します。1990年代後半に、遠方の超新星が遠ざかる速度を丹念に調べた結果、宇宙の加速膨張の様子が明らかになりました。この膨張速度を宇宙論の式に当てはめたところ、宇宙の中身は、一般的な物質と暗黒物質の他に、70%近くを暗黒エネルギーが占めているということが立証されました。現在では、宇宙背景放射や光学観測の結果など、あらゆるデータを考慮して暗黒エネルギーの量が推定されています。

Wikipedia 「ダークエネルギー」を参照してください。

これらの暗黒物質や暗黒エネルギーは、重力を感じるという共通の性質があり、そのために銀河や宇宙という巨大な系の運動方程式と実際に観測されるそれらの運動を比較することで発見されました。しかし、その他の方法では観測されていないので、電磁気力など重力以外の力を感じないのだと思われます。つまり、重力でしか観測できないので、我々の身近にあったとしても、見えないのです。見るということは、光（電磁波）を感じると

ということですから、電磁波と相互作用をしなければ、見ることができないのです。同様に、強い力や弱い力とも反応しないのであれば、重力以外のどのような方法でも検出できないということになります。実は、重力というのは、重力以外の力に比べると、とてつもなく弱いため、重力観測で「素粒子状態の暗黒物質」を検出するのは至難の業なのです。ILCでは電子陽電子衝突で非常に高いエネルギーの塊を作りますので、その中から、直接的に暗黒物質が飛び出して来る可能性があります。飛び出して来ても、電磁氣的に観測することはできませんから、あたかも、エネルギーが消えて無くなったように「観測」されるはずです。もし ILC でこの観測に成功すれば、人類が初めて暗黒物質を直接生成することに成功したと言えます。

【質問】

ILC について、小中学生にも分かりやすい内容なので、是非岩手県でも講演して下さい。AAA（先端加速器技術協議会）の 2017 年 3 月報告書では全長 20km とされていますが、段階的に加速距離を伸ばすか説明して欲しい。

【回答】

エネルギーやトンネルの長さを段階的に伸ばしていく構想について、現在、盛んに議論がされており、まだその最終案は決定しておりません。1 年後には大分しっかりとした案が作られていると思います。

【質問】

非常に興味ぶかった。地震の多い日本に作ることは大丈夫なのか。ヨーロッパや中国の方がいいのでは？

【回答】

地震が多い日本に ILC を誘致するというので、日本国内で断層がない一枚岩の中に 30 km のトンネルを掘れる場所を調査した結果、東北の北上山地と九州の背振山地の 2 か所が選定されました。1 つの岩盤の中にトンネルがあると、全体と一緒に揺れるために、装置に与える影響を最小限に抑えることができます。地震に対する強度計算なども行っております。ヨーロッパは、ITER や LHC などの複数の巨大科学計画が進行しており、ILC を誘致する資金的な余裕がありません。また、中国は現在のところ、円形の巨大な電子陽電子加速器に興味を示していますが、予算化にはほど遠い状況のようです。

【質問】タイムトラベル・ワープができない現在の物理理論に不満があります。そのため、余剰次元（10次元？）に興味があります。→余剰次元は、シミュレーションで成果ありますが、実験の状況はいかがですか？

【回答】

ILC で、余剰次元の理論について、ある程度は調べることができます。少なくとも、余剰次元の理論とヒッグス粒子との関係について、調べることができると思われます。

【質問】

ILC と（日本の）KEK が関係する意義について。国の予算は大丈夫？

【回答】

ヨーロッパは、ITER や LHC など複数の巨大科学計画が進行しており、ILC を誘致する資金的な余裕がありません。米国は、軍事費に多くの予算を費やしているため、純粋科学の巨大計画に投資する余裕がありません。また、中国は現在のところ、円形の巨大な電子陽電子加速器に興味を示していますが、予算化にはほど遠い状況のようです。よって、もしヒッグス粒子の精密研究をするのであれば、日本政府が ILC を日本に誘致するしかないのが現状です。日本政府が ILC を誘致しなければ、ヒッグス粒子の性質は、数十年間は謎に包まれたままの状況が続くことになるでしょう。しかし、これからの日本社会は少子高齢化を迎えるわけですから、財政的に裕福とは言えないことは明らかです。日本の国民の皆様が、どれだけ純粋科学について興味を示すかで、政府が ILC を誘致するかどうかを決めるのだと思います。

公開講座（6月10日）の来場者アンケートの質問への回答（担当：都丸 隆行）

【質問】

重力波、原始重力波と KEK とはあまり関係ない？

【回答】

自然界の相互作用には重力相互作用、電磁相互作用、弱い相互作用、強い相互作用が知られていますが、これらを最終的に1つの法則として説明することが物理学における大きな目標の1つとなっています。重力波や原始重力波は未だ謎の多い重力相互作用を研究するもので、これらは将来的に量子重力理論などを経て相互作用の統一へ役立つと考えられます。

公開講座（6月10日）の来場者アンケートの質問への回答（担当：若松 正志）

【質問】

なぜ宇宙における星雲はハッブル望遠鏡で見られるような模様なのか？陽子の崩壊が起こりにくいのは何故か？→若松先生の話がうかがえるとうれしい。

【回答】

まず、「陽子崩壊が起こりにくいのはなぜか？」という質問ですが、これを陽子の寿命が長いのは何故かという質問に置き換えます。こう置き換えても寿命が長いかどうかは何に比べて長いか短いかを言わないと意味がないので質問自体の曖昧さがなくなるわけではありませんが。例えば強い相互作用で崩壊する粒子と、弱い相互作用で崩壊する粒子の寿命を比較すると弱い相互作用でしか崩壊しない粒子の寿命ははるかに短いわけですが、その理由は弱い相互作用の結合定数が強い相互作用の結合定数よりはるかに小さいからであると理解できます。また、弱い相互作用の結合定数が小さい理由は、その起源がクォークやレプトン間の弱ゲージボソンの交換によるものであり、弱ゲージボソンの質量は非常に大きいので、低エネルギー領域でのクォーク・レプトンの有効結合定数が小さく見えるということから理解できます。一方、標準理論の範囲では、陽子は安定で崩壊しないわけですが、例えば、標準理論の群構造を含む最小の群構造を持つ理論として知られるSU(5)という統一モデルを考えると、クォークとレプトンは同じ多重項の中に含まれ、これらは、SU(5)モデルに現れる独自のゲージ場の交換を通じてお互いに転換することが可能になります。陽子崩壊過程もこれらの転換過程が基になって起こるわけですが、新しいゲージ場の質量は、弱い相互作用に関与するゲージ場の質量に比べてはるかに大きいので低エネルギーで起こる転換過程の有効結合定数は極めて小さくなり、したがって、陽子崩壊の寿命は長くなると解釈できます。

次に、「何故宇宙における星雲はハッブル望遠鏡で見られるような模様であるのか？」という質問ですが、ハッブル望遠鏡で観測されている星雲の模様は多種多様で、その模様によって、その生成の機構はわからないことの方が多いと思われます。おそらく、様々な星雲のうちで最も有名で強い印象を与えるのは、わし星雲（またはM16）の蛇座の星の近くにある「創造の柱」と呼ばれるものではないかと思えます。最近の研究によると、この柱は比較的最近形成された星から噴出されたガス状の物体で、その柱が他の巨大な星々からの放射で加熱され、また、星々から吹き付ける大量の荷電粒子によって表面が徐々に削られ、現在観測されているような奇妙な形になったと考えられているようです。私自身は専門家でないので詳しくは知りませんが、全く異なる形状を持つ星雲もそれぞれ異なる生成過程を経てそれぞれの特徴的な形状を持つようになったのだと思えます。