

素粒子の世界（92・1・20）

安見 真次郎（昭18・理甲）

三高十八日会にお招き頂きまして有難うございました。本日は素粒子の世界というテーマでお話したいと思います。

私は、京都大学で湯川秀樹先生の教えを受けましたし、それから、ある時期には、同僚として京都大学の物理学教室にいました。又、高エネルギー物理学研究所を創るため、京都を離れる時には、先生から激励して頂いたりしましたので、湯川先生の思い出も入れながら、更に三高を卒業した当時の素粒子のことも交えながら、お話したいと思います。

まず、今日の話は§1物質の、階層性から始まり、§2現在の素粒子の話にうつります。それから、§3自然界の四つの基本的力。現在、自然界には四つの力がございまして、四つ以外にはないとされております。素粒子の国際会議で五番目の力を発見したという話を二、三の人が報告しますと、忽ち反対意見が出て、その会議の終る頃には、第五の力は全部死んでしまったとして散会してゆ

くということが今迄何度もありました。「第三の男」という映画が、昔ありましたけれども、第一、第二の男はすぐあらわれるが、第三の男がなかなか出て来ないんです。第五の力というのは名前も一寸ロマンチックで非常におもしろいんですけれども、現在は存在しないと思っと思っています。それから§4素粒子の研究手段ですね。最近、話題を賑わしています、アメリカ、テキサス州に建設中のSSC（スーパーコンダクティング、スーパーコライダー）という大加速器は、費用が莫大なので、ブッシュ大統領も日本の経済的援助を頼みに来たわけですが、こんなことを交えて話を致します。その次は、§5で、真空の驚異について述べます。我々の真空というのは、実はこういう所でどこでも真空ポンプで容器内の空気をぬきますと、真空が出来るわけですが、真空というのは、何も無いと思つたら大間違いで、非常に内容の豊富なものだという話を実験データでお話しします。この実験の成果は、我々の文部省高能物理研究所で得られたものです。終りに、§6宇宙と素粒子の関係について少しお話をしたいと思います。

まず、ご存知だと思いますが、ビールスは大体 10^{-16} 位です。又、分子は 10^{-10} 位。最近では電子顕微鏡を用いて分子の写真を撮つたりすることが出来ます。原子は 10^{-10} 位ですね。これは原子核と電子とからできています。電子は現在でも素粒子です。原子核は大体 10^{-16} 〜 10^{-15} 位の大きさのものとお考えになって下さい。水素だと 10^{-16} 位、ウランウムだと、これにフアクター ~ 10 の 10 が、かかります。原子核は、更に核子から出来ています。核子とは、陽子と中性子の総

称です。電気のあるのが陽子、ないのが中性子とお考え下さい。これは10⁻¹³cm位。核子は更にクオークから出来ています。こういう風に物質構造には階層性がありまして、更に、この下に、まだあるかどうかということは、現在わかりません。あるかも知れませんが、ないかも知れない。それで現在の素粒子を表1に示しておきます。

表1の上段の素粒子は物質を形づくる素粒子で、クオークとレプトンです。これらは、フェルミ粒子と申します。エンリコ・フェルミの名前を取っており、フェルミ統計に従う粒子です。図1の中段にはこれらのフェルミ粒子の間に働く力を媒介する素粒子が書いてありますが、これらは印度人のボーズの名前をとってボーズ粒子と云います。ボーズ統計に従う粒子です。だから、非常に大ざっぱに言いますと、この我々の世界というのは、上段のフェルミ粒子を中段のボーズ粒子でくっつけて物質が出来上っていると云えます。

まず、クオークからお話ししますと、クオークには、 u, d, s, c, b, t という6種類のクオークがあります。読み方はアップクオーク、ダウンクオーク。チャージングだという意味のチャームクオーク、奇妙という意味のストレンジクオークですね。そしてtとbはtruthとbeautyですけど、くだけた名前の方のトップとボトムとよばれることの方が多いようです。こういう難しい研究をしていますと、少し息ぬぎがしたいので、おもしろい名前をつけるわけです。それから、レプトンはですね、これは、エレクトロンニュートリノとエレクトロン、ミューオンニュートリ

ノと、ミューオン、タウニュートリノとタウとがありまして、表1に示すようにこれらの一対がクオークの一対と一族を作ってます。図1上段の電荷のところをご覧になって下さい。クオークの電荷がこういう風に $+\frac{2}{3}e$ とか、 $-\frac{1}{3}e$ とかになっていますね。ここで、 e はいわゆる素電荷です。電子の電荷の絶対値と同じ、又、陽子の電荷と同じ素電荷です。これは従来、これ以上分割出来ないと思われてきたものです。実は、このクオークモデルというのが出来たのが、一九六四年ですが、この当時、素粒子と考えられていたハドロンというのが、その頃続々と発見されて、それが二百位になりましたので、これには、何か下部構造があるに違いないというので、クオークモデルが云い出されたわけです。クオークモデルを提唱したのはゲルマンという人とツバイクという人ですが、彼等はクオークが、こんな半端な電荷を持っていると云った為に、ゲルマンの方は、その当時までにすでに立派な仕事をしていましたから、その論文の掲載を断わられただけなんです。ツバイクの方は、決まりかかっていた大学の教授の席をふったそうです。こんなバカなことを云うやつは教授にはできないというわけです。本当にあるんですね、こういうことは。しかし現在ではハドロン内に存在するクオークは表1に示すような半端な電荷を持っていることが実証されています。半端な電荷を持てますから、もしクオークが、どこかに落ちていたら、普通の原子とは化合出来ませんので、即ち電子のやりとりは出来ませんから、どこかにそのままこがっているのではないかとということで、ナサ（アメリカ航空宇宙局）なんかは、

月の表面を探したり、又、ある研究者は砂漠を探したりして、世界中で自由クオークを探したわけです。しかしながら現在まで、自由クオークは観測されておりません。こういう風にして、これがクオーク。これが、レプトン。レプトンというのは、軽いという意味です。先程申しましたように、クオークの一对とレプトンの一对が表1に示すように一家族（一世代）をつくっています。即ち第一世代・第二世代・第三世代です。

我々の世の中というのは、ほとんど、この第一世代で出来ております。第二世代・第三世代というのは、この宇宙の中で、非常に激しく変化し、エネルギーの大きい所で存在しています。例えば、星が出来つつある所とか、超新星の爆発とか。そういう所は、これは、関与しますけれども、他のほとんど静かな所はこの第一世代で出来ております。それが証拠に、uクオーク2個とdクオーク1個で陽子が出来ますし、uクオーク1個とdクオーク2個で中性子が出来ますし、いくつかの中性子と陽子とが結合しますと、種々の原子核ができてたくさんの元素が出来ます。又我々の地球の中には、沢山の放射性物質がありますが、これが崩壊する時には、電子とニュートリノ（電子ニュートリノ）がとび出します。即ちほとんど第一世代で出来ています。第二世代・第三世代という風に非常によく似た世代が、存在しているのはなぜかということが、素粒子物理における大きな謎の一つです。素粒子にはそれ以外に、一寸難かしくなりますが W^+ 、 Z^0 、ボゾンなどに質量を与える粒子があります（表1の下端）。これらの粒子はヒッグス粒子と云いま

すが、未だ未発見です。こういうものが、現在の素粒子です。それで、本日は十八日会ですから、昭和十八年（一九四三年）当時の素粒子を書いておきます。（表2）

光子は、昔から原始人が焚火している時でも、光は認識されていたわけですが、光子としての認識はアインシュタインぐらいからですから、その発見は一九〇五年ぐらい。電子も陽子も発見されたのはJ. J. Thomson あたりで十九世紀末、中性子は一九三二年チャドウィックが発見、ポジトロン（陽電子）の発見者はアンダーソンで、これも一九三二年です。ニュートリノは、まだこの当時、一九四三年では未確認です。パウリがその存在を一九三〇年頃予言していますけれども、實在の証拠が得られたのははるか後になります。湯川中間子も、湯川先生が一九三五年に予言しただけであって、まだ一九四三年では確認されていません。むしろ湯川粒子だと思ったものが、だんだん違ってきて、湯川先生は、非常に困惑していた時代だったと思います。それから陽子と中性子とは複合粒子です。その当時は素粒子と思っていたのですが、現在では湯川中間子とともに複合粒子であると考えられています。メゾトロンと書きましたのは、これは歴史的な名前で、現在はミューオンという素粒子です。それじゃ一九四三年から、先程の現在の素粒子（表1）まで、一足とびにとびましたので、少し解りにくいと思うので、ちょっとこういう話を致します。

一九四三年頃から戦争が激しくなつて世界中の学者が、純粹基礎研究がやれなくなつたわけで

すが、第二次世界大戦が終ってから、世界中の物理学者が皆、実験室へもどりまして、純粹研究を行うようになりました。そこで種々の加速器の建設が行われて素粒子研究が盛んになりました。その結果どんどん素粒子が増えて来まして、一九六〇年代では、当時の素粒子が二百位つくられる様になりました。二百〜三百。この種の素粒子は理論的には、無限に存在すると云ってよい。これらの素粒子（今のハドロン）の中には、中性子のように寿命が約10分位と非常に長いものもあります。これに対して、 Δ^{++} という粒子のように 6×10^{-24} 秒という極めて短い寿命の素粒子もあります。これでもやっぱり素粒子（当時）なんですね。これが増えて来ましたので、先程、云いました様にゲルマンとツバイクが、これらは何かもっと小さなものから出来ていてのではないかと考えて、クォークモデルを作ったわけです。ちよつと難かしくなつて、恐縮ですけども、先程の Δ^{++} という素粒子はクォークモデルで云いますと、uクォークが三つ集まつて出来ているわけです。クォークにはスピン $\frac{1}{2}$ がありますが、スピンは全部、上向きです。アイソスピンも全部同じです。そうしますと、先程申しましたフェルミ粒子には、同じ状態には只の一ヶしか入れないという厳しい規則があります（パウリ原理と云います）。丁度、山の手線のラッシュ時にはたくさんの乗客が押し合つてますけれども、あれはボーズ粒子的です。人間をボーズ粒子のようになつてゐる。ぎゅうぎゅう詰めに押込んでいる。これにひきかえて欧米なんかではご承知の通り、大体、乗客は座席に坐つてゐるだけで立つてゐる人はいないですね。あ、いう風に、フェ

ルミ粒子というのは、同じ量子状態には一ヶしか入れません。▷ $\pm$ 粒子は、3個のクオークが同じ状態なので、困ってしまつて苦しまぎれにゲルマンという人がクオークには、色（即ち色の自由度）があると云いだしたんです。現在ではこの色のアイデアが非常にうまくいってまして、現在、クオークには三原色を付しています。赤と青と緑です。ここでちょっとまとめておきますと、一九六〇年代の素粒子は、現在ではハドロンと云います。ハドロンとは強い粒子という意味です。強い相互作用をする粒子。これらは全部複合粒子であつてクオークから出来ています。

クオーク・レプトンには第一世代・第二世代・第三世代と非常によく似たものが存在しているわけですが、どうしてこのような世代があるのかと云う問題は、先程云いました様に、非常に大きな「謎」です。けどこのクオークがハドロンの外へ飛び出さないというのも、もう一つの大きな謎になっております。クオークはどうしてもハドロンから外にとり出せない。先程申しましたように砂漠の上を探した人もおりますし、宇宙線、加速器の周辺、又月の上を探してもないんですね。そこで理論家は、早速はだかのクオーク、即ち自由クオークはハドロンから外へは取り出せないという理論を作りました。その話はこれから後でお話します。

次に、力の話にうつりましょう。表3に示しましたようにこの我々の世の中には四つの基本力しかございません。ある距離における力の強さに従つて並べますと、弱い方から重力、弱い力、電磁力、強い力となります。我々が日常実感出来るのは、重力と電磁力だけです。なぜかと云い

ますと、この二つは無限遠まで働くため、加算されるからです。例えば地球がありますと、地球を構成するそれぞれの質量の重力が、全部、加算されるわけです。電磁力は重力よりも、はるかに強いんですけれども、幸い、ほとんどすべての物質は電氣的に中性ですから電磁力は働かない。これがもし、ちよつとでも、電氣があつたら、がちやがちやと互に引合つたり反撥したりで大騒ぎになるはずです。表3の最下段に書いた核力は、基本力ではなく複合力なんです、大変重要な力で、湯川先生の間子論に關係のあるものです。

次に重力に關係する現象ですが、銀河、星の形成、それから天体の運行、太陽系の成立、物体の落下、潮の干満など、すべて重力の作用です。我々の日常生活で安定に家が建っているのも重力の働きです。弱い力は到達距離がこれぐらいですから、ほとんど日常生活では感知できません。これは $W_{F,N}$ という粒子を交換してはたきます。

一九三二年ぐらいから原子核は核子から出来ていることが言い出されました。それでは核子の間に働いて固い原子核を形づくっている力は何かというのが次の問題になります。中性子と陽子の間に力がはたらく、陽子と陽子との間にも力がはたらく、それから中性子と中性子の間にも力がはたらく。これを核力と申します。現在核力は複合力ですけれども、核力とはどういう力かということは当時世界の大問題だったんです。湯川先生は核力を説明するために核子の間に湯川粒子を交換してはたらくという新説を出したわけです。先生はこれを日本数学物理学会で話された

のですが、誰かの話によりますと、その席上一番後ろの人が手を挙げて「聞こえなかったからもう一度全部初めから喋って下さい」と言ったそうです。そこで注目した人は非常に少なかったんですけれども、英文報告が出まして二、三の人は注目したわけです。しかし二年後の一九三七年に湯川中間子らしきものがアメリカで発見されて、それから大騒ぎになりました。その後に色々な経緯がありましたが、現在では核力は湯川中間子を交換してはたらくということになっていきます。これは現在ではパイ中間子という名前です。全ての力には夫々、力を媒介する粒子がありまして、力はこの粒子を交換してはたります。このことを漫画(図1)で描いて来たんですけれども、テニスの場合のボレーですね。ボレーでなくても何でもいいんですが、ボレーの方が感じが出ると思って画きました。プレイヤーは核子です。だから中性子―中性子のこともあるし、陽子―陽子のこともあるし、中性子―陽子のこともあります。そのため交換する π メゾンにはその電荷にプラス・マイナス・ゼロの3種類があります。このテニスのボールが π メゾンです。で、ここに力の到達距離を描きましたけれど、湯川先生はこの力の到達距離(実験から大体 10^{-13} cm)だけを使いまして π メゾンの質量を予言したわけです。その質量が電子の二〇〇倍ということですね。これは非常に簡単な算術だけで出来ます。どうしてかというと、核子から湯川中間子が飛び出します。それは実在の粒子ではなくて仮想的粒子です。それは不確定性原理でそれぐらい出してもいいということです。すると、質量はエネルギーと同等($E=mc^2$)です

から、エネルギーの不確定性が $\Delta E = mc^2$ (この c は光速度) となります。エネルギーの不確定性とそれを測る時間の不確定性 Δt を掛け算しますと、プランク定数 h を 2π で割ったもの以上になる、これがハイゼンベルクの不確定性原理の一つの表式です。もう一つの表式は運動量を測ったときの不確定性 Δp と位置の不確定性 Δx とを掛け算したものがプランク定数 h の 2π 以上になるといふものです。ともかく先の表式で時間の不確定性 Δt はプランク定数 h と光速度 c と湯川中間子の質量 m とで表わされます。一方 Δx の間に走れる距離は最大で $\Delta x \leq \frac{h}{mc}$ になります。どんな粒子も光以上には走れませんから。だから $\Delta x \times \Delta p$ を核力の到達距離に等しいとおきますと、湯川粒子の質量 m が出てくるわけです。こういう簡単な論理ですが、逆にすごく簡単に基礎的な論理のために根本的なことを突いているわけです。こういうことを湯川先生は核力でやっていたわけです。現在非常に湯川先生の評価が上がって参りました。それは実はフェルミ粒子に働けどの力も全部湯川流にはたらくということが最近判ってきたからです。グラビトンはまだ未発見ですが、重力はこれを交換してはたらくします。電磁力は光子を交換してはたらくことは、かなり前から判っていたことです。強い力はグルーオンを交換してはたらくします。核力は現在では強い力の複合力であって、基本力ではないのですが、重要なので最下段に書いておきました。

それでまとめますと、弱い力はどういうときに出るかといいますと、原子核の β 崩壊、粒子の崩壊ですね。それから星の熱源です。星には我々の太陽も含まれます。太陽の熱源は弱い相互作用

用でじわじわ、燃えてくれる、要するに二つのプロトンが重陽子になってそれが元になって原子核反応で燃えているわけです。これが強い相互作用ですと一遍に爆発してしまつて大変なことになるわけです。太陽がゆっくり燃えているのは非常に我々にとって有難い。それから電磁力、これはもうよく御存じですね。原子の構成、原子核と電子の間に電磁力がはたらいで電子が原子核の周りを回つてゐるわけです。電子の軌道が飛び飛びに決まつてゐるのは量子化というやつです。それから分子の構成。私はジェット機で空を飛んでいますとよく分子力に対して祈るような気持ちになることがあります。翼がポロツと折れたら大変だと。あれは全部分子力ですね。即ち電磁力の複合力としてのファン・デル・ワールス力です。強い力、これも日常生活からは感知できない難しい力です。これはグルーオンが質量ゼロですから電磁力と同じように無限遠まで力がはたらいてもいいように見えますが、力自身が距離に比例したポテンシャルを持つような力なので、ちよつと離れますともものすごいポテンシャルエネルギーをもつようになってきまして、クオーク対を発生するため、原理上離れられない。だからだいたいハドロン^{hadron}の大きさ即ち 10^{-13} cmの距離です。それぞれの自然現象は表3の右端に示したようです。

さつき申しましたけれど、第五の力というのが有るんじゃないかということで、今でもその探究をやつてゐる研究者がいますけれども、私は現在では無いとみた方が良いと思います。私が湯川教授の講義を聴いたのは一九四四年から五年頃だったんですが、そのころの状態をお話ししま

しょう。湯川先生が核力を説明するために電子の約二〇〇倍の質量を持つ π 中間子を予言したわけです。一九三五年です。その翌々年にカルテック、カリフォルニア工科大学です、ロサンゼルス郊外にあります。カルテックのアンダーソンが宇宙線中にそれに似たものを見つけたんですね。それは丁度電子の質量の約二〇〇倍で、彼は湯川論文を知らずにその新粒子をメゾトロンと名付けました。両方の論文を読んだ人は湯川粒子が見つかったとして大騒ぎになりました。一九三七年頃です。それで宇宙線に見つかったメゾトロンをいろんな人が測定したんですが、だんだん湯川粒子らしくなくなってきました。寿命を測定しますと、長すぎるとか又、物質に吸収されにくいとか。で、だんだんメゾトロンは湯川粒子ではないのではないかということをもんな考へ出したわけです。その頃、京都大学とか名古屋大学のグループの坂田昌一氏とか井上健氏とか谷川安孝氏なんか、二中間子論というのを出したわけです。 π 中間子も存在し、又メゾトロンも存在するという二中間子の理論です。その決定的な実験はその晩年私と割合親しかったローマ大学のコンベルシという学者が、若い頃他の二人の研究者とともにローマでやった実験です。コンベルシの実験は一九四五年頃から始まったと思いますが、まだローマで燈火管制をやっている連合軍の爆撃が烈しかった頃の話です。いよいよローマ大学が爆撃のため危くなって大八車、ローマでは大八車とは言わないでしょうけれども、大八車のようなものに実験装置を乗せて、絶対爆撃されない聖域バチカンに運びまして、バチカンで行った実験があります。その実験で決定的

にメゾトロンは湯川粒子ではないということになりました。湯川教授が一番いらいらしておられた時期に私が量子力学の講義を受けたので、全然面白くない講義だったのではないかと思っています。今から思うと、評判が上がりたり下がったりするので非常に悩みが多かったのでしょう。

次に一九四六年になりました第2次世界大戦が終わった時ですが、イタリアの非常に活発な研究者がブリュッセル大学のパウエルという人のところへ行きまして、原子核乾板で宇宙線を研究するということをやりまして、フランスの高い山の上に置いておいた原子核乾板を現像しますと、湯川粒子がまず写っていて、それがメゾトロンに崩壊している現場が写っていたんです。それで湯川中間子論が一躍脚光を浴びて、湯川先生は三年のちにノーベル賞を貰ったわけです。そういうことで湯川先生の予言したのが見事当たったというわけですが、なぜ先程のように混乱したかと言いますと、湯川粒子は実はボーズ粒子なんです。いくら詰めても構わない方の粒子。これに対して子供のメゾトロンはフェルミ粒子なんです。だから全然性質が違う。いわゆる不肖の子という感じですね。それで混乱したというわけです。

ちょっと暫くの間、二・三分位、湯川先生の事をお話し致します。湯川先生は非常に大胆だったのが偉かったと思いますね。彼が京都大学在学中は量子力学がやっと出来かかった頃、大学卒業の頃は世界中で核力が大問題だったわけです。それを相対性理論と量子力学の両方を使って勇敢にアタックしたわけですね。湯川先生の一番偉いところは核力が新しい力だと認識したことで

す。実際そうだったんですが。それともう一つはこの新しい力が湯川中間子の交換で起こるという大胆な事を言いまして、その後ボーアなんかがやって来て日本の学者と色々話をしたとき、研究者が自分の仕事のことを言ってボーアの意見を求めますと、ほとんど全部けなしたそうです。

で、湯川先生のことめけなしたんですけれど、湯川先生は頑固ですから絶対間違いないと言った。これは非常に上手くいったんですね。そういうことで私が京都大学を離れますとき、湯川先生に「素粒子の研究所を創ります」とお別れの挨拶をしに行ったんですが、暖かく激励して頂きました。筑波の研究所（文部省高能粒子物理学研究所）が一応出来上がった時には皆で研究所に先生を招待いたしました。その時の思い出を少しお話ししましょう。

一つは筑波山の上に御案内したとき、ガマを見たいとおっしゃるので、四六のガマですね、前足の指が四本で後ろ足の指が六本という。非常に立派なのがいました大変喜ばれたんですけれども、誰かがじっと見ていて、「これ動かないじゃないか」と言うんです。実はそれは焼き物だったんですね。がまの焼き物に砂をちよつとかけてあつて、非常に巧く出来ている。皆で大笑いしたことを思い出します。湯川先生はそれから皆と研究所に戻りまして多分夕食ののちだったと思います。研究夜話とでも云うべき話をなさいました。私達は大変興味深く聞かせて頂いたことをなつかしく思い出します。私が一九八六年ヨーロッパのフレンチ・アルプスでの会議に行った帰りにジュネーブのセルン（欧州連合原子核研究所）に寄りましたところ、正面に湯川ストリ

ートと書いてあるんですね。元来、このセルンという研究所は大きな研究所で、所内の道路に有名な物理学者の名前を付けているわけです。ポーア通りとかアインシュタイン通りとかフェルミ通りとか。それが正門の一番目につく所に湯川通りが出来ました。それはセルンでW⁺、Z⁰、ボゾンが発見されたときの少し後のようです。これによって弱い力も湯川流にはたらくこと、即ち、さっきのテニスのボール（この場合は、砲丸投げの砲丸のように重い）を交換してはたらくということがわかったわけです。発見されたのは一九八三年ですから、その頃に湯川の再評価がなされたんだと思います。要するに四つの基本力が全部湯川流にはたらくということが判りまして、湯川先生の直観（洞察力）が再評価されたのではないかと思えます。湯川ストリートというのがセルンの玄関にあるわけですから、我々としては非常に気持ちがいいわけです。

それで今まで色々お話しましたけれど、次にこういうことをどういう風に研究するのかというをお話しようと思えます。

素粒子の研究手段というのは加速器と測定器のことです。これは世界中にどういう加速器があるかという図で、色々な所に有ります。我々のところは東京と書いてありますが、筑波の研究学園都市です。大きな所は先程のセルンですね、スイスのジュネーブに有ります。それからドイツのハンブルクにもDESYという大きな研究所が有ります。その他、アメリカ・スタンフォードにあるスラックとシカゴのフェルミ研究所。それから今度ダラスに出来るSSCはここです。こ

れは世界一です。後にお話しします。

まず素粒子の研究をどういう風にするかという話には興味を持っていただけたと思います。KEKは筑波の研究学園都市の一番北にあります。『KEKと申しますのは高エネルギー物理学研究所をNHKみたいにしてKEKと言います。』文部省の直轄研究所です。敷地が二キロ×一キロぐらいの大きさで、その中にトリスタンという衝突加速器があります。トリスタンというのはトリスタンとイゾルデというワグナーの楽劇の名前から取ったんです。これは陽子シンクロトロン、これが電子リニアックですね。この電子リニアックからの電子をクルクルと回して、最近では、実はポジトロンを回してるんですけれども、放射光を出して研究する放射光実験施設がここにあります。トリスタンの方では先ず電子リニアックからの電子、陽電子のビームをアキュムレーターリング（蓄積リング）に溜めます。それから更に主リングに打ち込んで電子と陽電子を反対方向に回します。四カ所で電子と陽電子がほぼ正面衝突いたします。実はこのKEKという研究所を創るのは大変なことでした、その頃の高エネルギー物理学（素粒子実験）の研究費はほんのわずかしかなかったんですね、高エネルギー分野としては全部合わせても二、三億円しかなかった。それがtwo order上がった二〇〇億か三〇〇億円の予算が必要な世界的研究所を創設することを文部省に決心させるのは大変だったわけです。私は京都に居ましたから清水の舞台から飛び降りる気持ちで建設に参加したわけです。

先程申しましたようにトリスタンの主リングでは、電子がこういう方向に回って、陽電子がこういう方向に回って、四カ所でぶつかります。主リングの直径は約960mです。電子と陽電子がぶつかりますと物質は消滅してエネルギーだけになります。それはまた後にお話しします。

蓄積リングにもトリスタン主リングにもマグネットがたくさん並んでいるわけです。日本人は非常に器用ですから、だんだんマグネットを作るのも専門家の巧い人が出てきました。加速器というのは一般に荷電粒子を磁場で回しておいて、そういう場合には何もしないとビームは発散してしまいますから適当に磁気レンズ（四極磁石）などで収斂して、そして一ヶ所又は数ヶ所で加速しているわけです。加速するのは高周波空洞によります。そういうことで加速器のことは大体お判り頂けたことと思います。加速器は先程申しました様にジュネーブにも大きなのがございまして、えーとこれがレマン湖、これがジュネーブ飛行場で、これがセルンです。この辺にジュラ山脈がありまして、約一〇〇mから一五〇mの下の地下をジュラ山脈の近くまで回っているLEP（レップ）という電子陽電子衝突加速器があります。これが現在世界で一番活躍している加速器の一つです。フランスの民法によれば、私は今法学部におりますので民法という言葉を使わせて頂きますが、フランスでは地球の中心まで所有権があるらしいんですね。だから一〇〇m下とか一五〇m下とかを通っても全部フランスのお百姓さんは補償金を貰ったわけです。そのためセルンの研究所は、その補償のための副所長を設けたそうです。レップは現在完成しましたが、大

儲けた人がいるわけです。

次にシカゴのフェルミラボの加速器です。これは非常に大きくて世界で一番エネルギーが高いんですけれども、今度テキサスに出来ますSSC^{*}（スーパーコンダクティング・スーパーコライダー）というのはもっと大きくて、先程レップは周囲二七kmと申しましたが、この周囲は八七kmあるわけです。もちろん準備研究中です。約一兆円ぐらいで二千億ぐらいを日本に出してほしいと言っているわけですけれども、私は日本の学問・科学研究費なんかを圧迫しなければ、そういうことを日本政府が約束することは非常にいい投資なんじゃないかと思います。というのは日本の会社に発注すればいいんですから。日本は超伝導マグネットの製作が非常に巧いんですね、だから二千億ぐらいを日本の会社に発注すればいいんじゃないかと思っています。もちろんそのために日本の国内の学者の計画を圧迫したり曲げたりすると非常にまずいんで、その辺はうまくやらないといけないと思います。これがSSCの検出器です。これが周囲八七km。ダラスにあります。

次に測定器の話にうつりましょう。我々のトリスタンの一つの衝突点にはエミーという名前の検出器があり、そのグループをエミーグループと言います。エミー（AMY）というのは、この実験のプロポザルをしたアメリカ人が、日本に来て住んでいた家の近くにエミちゃんという日本人の子供がいたので、それを付けただけです。このエミーという名は今では世界中に通用しま

す。エミীর測定装置を図2に示します。これだけでは何もお判りにならないと思いますけれど、要するに電子・陽電子衝突点の周りを出来るだけすべての粒子が測れるように種々の測定器で囲っているわけです。図2のインタラクションポイント、ここで衝突するわけです。この辺でこちらからやって来た電子と、こちらからやってきた陽電子が衝突します。そうするとまずどこで衝突したかを調べるのはトラッキングチェンバーです。それからここに、セントラルドリフトチェンバーというのがありますけれども、ここで粒子の走った道筋が全部点々に現れます。この外側にあるシャワーカウンターというのは電子とかγ線がシャワーのようになるんですね。電子がまずγ線を出し、γ線がまたペアクリエーションで電子や陽電子になる。そのような繰返しでシャワーのようになるので、それを検出するカウンターをシャワーカウンターと言うわけです。その外側にあるのは磁場を作るもの超電導磁石です。更にその外側にはずっと鉄がありまして、その外側にミュオンチェンバーというのがある。ミュオンというのは弱い相互作用と電磁相互作用しかしませんから鉄をスツと通り抜けてミュオンチェンバーで検出されます。こういう様な測定器がトリスタンの衝突点の四点の内三点に有ります。エミールとビーナスとトパーズという名前が付いたディテクターです。

それでちょっと話が長くなりましたが、次に「真空の驚異」というのをお話したいと思っています。先程申しました様に真空というのは、こういう所に真空容器を置きましてポンプで中の空気

をポンポン抜いていきますと真空が出来ます。それでもこうして出来る真空はそれ程良い真空ではなくて、宇宙空間の方が遙かに良い真空ですけれども。さっきの加速器の真空パイプ中では、だいたい一番いい所で10のマイナス13乗トール (mmHg) です。宇宙空間はもっともつといいわけです。しかし真空は、空虚な空間ではなく素粒子が一杯つまっているものだと言えます。

ですからまずエネルギーを真空の一点に与えますと、図3に示しましたように負のエネルギーの粒子が正のエネルギーの状態に飛び上がります。図には負のエネルギー状態に粒子がつまっている様子を書いてあります。粒子は電子でもいいしミューオンでもいいし、タウでもいいし、クオークでもいいわけです。電子の場合ですと負のエネルギーの電子がぎっしりつまっています。二つ書いているのはスピニングが上向きと下向きの二個です。全部つまってますから何事も起こらないんですが、真空の一点にエネルギーを与えます。例えば電子と陽電子をぶつけますね。ぶつけますとその一点で物質は無くなってエネルギーだけになります。すると電子・陽電子消滅点にエネルギーが与えられたことになります。すると負のエネルギー状態の電子が正のエネルギーに飛び上がります。そうしますとこれは普通の電子です。負のエネルギーの方は電子の空孔みたいなものです。負のエネルギーの中に出て来た電子の空孔は、電子の反粒子である陽電子に当ります。この図3を見ますと、真空に充分なエネルギーを与えますと必ず粒子・反粒子が飛び出してくることがわかります。このことを我々のトリスタンのエミールの実験データでお目にかけましょう。

図4は先程申しましたエミールの測定装置で得られたものです。トリスタン主リングの真空パイプ内の一点で電子・陽電子が衝突して消滅しエネルギーが真空の一点に与えられたわけです。そうするとこの一点から電子・陽電子が一对で生れてきます。ちょっと御注意ください。この2本の飛跡は一八〇度になってますね、丁度。運動量を保存しますからこのように一八〇度にとび出している。それで今度はもうちょっと面白いですが、図5をごらん下さい。

ミューオンというさっきのメゾトロンにあたるやつです。湯川粒子と間違ったやつですけれども、電子の約二〇〇倍ぐらいの質量を持っている他は殆んど電子と同じ性質をもっています。これはミューオン対の非常にきれいなデータです。全部計算機で処理しています。ミューオンと電子との区別は、前者はあまりシャワーを起さず、鉄を貫いてミューオンチェンバーやカウンタを放電させることでわかります。これらは、素粒子が真空から生まれてきた非常にきれいな例です。

最後に今度はクオーク対が飛び出したところ(図6)。非常に面白いデータです。自由クオークは観測されないとさっき申しましたから、これはクオークそのものではないんですが、いいですね、こっちから陽電子が来て、こっちから電子が来て衝突・消滅してエネルギーとなり、この真空の一点にエネルギーを与えますとクオークと反クオークが飛び出します。クオークがこちらに飛び出し、反クオークがその反対方向に飛び出しますと、クオークと反クオークの間に強い力

がはたりますから、クオークと反クオークとの距離が離れてゆきますと、ばらばらと α メゾンが出来てくる。これらをクオークジェットと言います。2つのジェットのなす角は、電子やミューオンのとくと同じくやはり一八〇度になっています。最後に素粒子と星・天体・宇宙の関係を少しお話しします。

まず最近素粒子物理学と天体物理学が結婚したと言われています。それは素粒子物理学が良く分かると宇宙の開闢、約一五〇億年前のビックバン（大爆発）の時の状態のちよつと後は素粒子物理学が支配します。しばらくたちますと三分ぐらい後になると原子核物理学、それからずっと後になりますと原子物理学・プラズマ、それから重力がはたらいて星が出来てくるわけです。そういう意味で素粒子物理学が宇宙物理学と非常に接近してきたわけです。そこで面白いトピックが三つぐらいあります。一つは先程申しました素粒子の世代の数ですね。世代が第三世代より上の世代があるかどうかという問題は一つの大きな問題だったんですが、現在は三つでお仕舞ということが非常にきれいに判りました。これは一昨年从去年にかけての成果です。一つは素粒子物理学で決まった。もう一つは宇宙物理学で決まった。宇宙物理学での決め方というのは、ちょっと面白いんです。ヘリウムという元素の合成は主として大爆発（ビックバン）の直後に出来ます。それを原始のヘリウム生成というんですけれども、このヘリウムの量を正確に測りますと世代の数が判ります。最近ヘリウムの量が非常に正確に判るようになりました。勿論ヘリウムはビ

ッグバンより後の星の内部においても作られますから、それを差し引いた原始のヘリウム生成量でないといけないんで、それを正確に決めるのはかなり難しかったわけですけども、最近これが出来まして、それから世代の数は「三」ということが判りました。他方、素粒子物理学では表1のZボゾンの質量の幅から世代の数が3であるということが決まりました。これが最近の素粒子物理学と宇宙物理学との非常に密接な共同作業の成果の一つだと思います。

もう一つは超新星の発見です。一九八七年に発見された超新星がございます。正確な名前はSN一九八七Aと申します。SNとはスーパーノバ（超新星）のことですね。新星の発見というのは全くはつきりしているもので、これは発見する前、これが発見した後です（図を示す）。この二つの写真を並べたら新星が出現したことは誰の眼にもはつきり判るでしょう。これが新星の発見で、これは南米のチリのラスカンパナスという天文台で発見されたものです。毎日全天を写真撮影しているんですね。それで前はなかった所に今回はあったというわけで、発見されたわけですけども、この現象が実際に起ったのは実は今から十七万年前のことです。この星は地球が属していますこの天の川銀河のすぐ隣の衛星銀河大マゼラン星雲に属しています。ですから比較的近いんですけれども、それでも光が走って十七万年かかります。だから十七万年前の話ですけども。新星があったということは勿論すぐ世界中に知らせたわけです。これは一九八七年の二月二十三日です。そうしますと理論というのは良く出来ていまして、超新星の研究はその前にやっ

てるわけです。私が京都大学にいた頃も天体核物理の学生が超新星の話をしていたことを思い出します。しかしそのとき話を聞いていて、要するに実験出来ないから本当か嘘か判らないと思っていました。それがや々と実際に観測出来たんです。それでどうしたかと言いますと、世界中の研究者は皆争ってその星の出すX線とか紫外線とか電波とかを測り出したわけです。しかしもっと面白いのはこの星が光を出す前にですね、二、三時間前にニュートリノという素粒子が、わあっと出ているはずだということを理論が予言してるんですね。その数は猛烈な数です。全部重力エネルギー。それで日本で神岡という所に陽子が崩壊するかどうかということ調べるための装置（カミオカンデという）が有ります。約三〇〇〇トンぐらいの水を溜めた検出装置です。水の中を荷電粒子が走りますとチェレンコフ光を出します。丁度あのコバルト60の貯蔵庫を見に行きますと光が出ているでしょう、水の中で。あれはコバルトから出てくる γ 線がエレクトロンに変わって、そのエレクトロンが水中で発しているチェレンコフ光です。要するに媒質中を荷電粒子が光の速さより速く走ればチェレンコフ光が出ます。丁度ボートレースのときの波のようですね。媒質中では媒質の屈折率を n としますと光のスピードは $\frac{c}{n}$ になりますから、電子なんか簡単に $\frac{c}{n}$ 以上になりうるわけです。するとチェレンコフ光を放射し、そのチェレンコフ光を測るためにこんな大きな水のタンクが有ります。その一メートルぐらい内側に大きな光電子増倍管が千個ばかり付いている。そこで超新星発見の報告を聞いて、光の観測より二、三時間前のデータ

をしらべてみたら、ちゃんとニュートリノによる現象が出ていたんですね。これは誠に壮挙だと言えます。

得られたニュートリノイヴェントは全部で十一個です。こんなものがたまたま入ってくる確率というのは七千万年に一回ぐらいしかないはずなんです。だから絶対超新星からのニュートリノに間違いないということでみんな大喜びしたわけです。日本だけでなくアメリカにも同種の測定器（IMB）があります。アメリカの測定器はニュートリノ・イヴェント8個を記録しました。要するに超新星の誕生を直接観測出来たわけです。太陽の二十倍ぐらいの星が年を取っていくと内部で元素の合成が鉄まではいくんですね。鉄までいってしましますともうそれ以上燃えなわけです。燃えなくなると冷えるわけです。そうすると内部の圧力が減ってものすごい重量のものがどかんと、星の中心に向かって重力落下して行きます。そうしますとそこからニュートリノが飛び出す。そこで、神岡の検出装置で検出したニュートリノの数を勘定してですね、星の方までずっと伸ばすわけです。要するに星の全立体角で積分しますと、超新星爆発のとき放出されたニュートリノの全数と全エネルギーが出てきます。その数とエネルギーの値が殆んどぴったり太陽の十倍ぐらいのやつが重力落下していきのエネルギー、重力エネルギーとぴったり合う。もう一つ面白いのは、これだけ出ますと我々の一人一人の身体を通過するニュートリノの数が計算できそれが約10の14乗個ですから、一億個×百万倍のニュートリノが僅か10秒位の間に体を通

過したはずなんです。世界中で多分誰もこれで死んだ人がいないので、ニュートリノはたしかに弱い相互作用しかないということがよくわかります。そういう事でこれは非常に大きな出来事でした。

最後に素粒子物理学と宇宙物理学のインターフェイスの3番目の例についてちょっと申ししますと、我々のすぐ近くの太陽ですね、光の走る時間で八分の距離なんですけども、ここに大きな謎がありまして「太陽ニュートリノ問題」とよばれています。それは太陽から出てくるニュートリノの数の観測値が太陽モデルから理論的に予想される値の七割位であるということで、現在大きな謎になっています。これは現在素粒子物理学に大きなインパクトを与えている現象の一つです。ちよつととんで恐縮ですが、もしこれがほんとうならば今までニュートリノは質量がゼロだと思つてたのが、質量があるんじゃないかということになるわけですね。もしそうだとすると現在の素粒子の標準モデルが一部破綻することになります。そうでなくても、この標準理論が究極の理論とは考えられておりません。

最後にまとめて申しますと、素粒子物理学は最近猛烈に進歩しました。その進歩は実に加速器・測定器の進歩即ち実験と理論とがうまく協力してやっているからなんです。加速器が大きくなるに従つて、次々と新しい発見がなされてきたわけです。今後もちょうこのことが続いてゆくと思われまふ。そこで、現在の素粒子（クォークやレプトン）に更にその下の階層があるのか、

換言すればクオークやレプトンは実は複合粒子ではないのかということが、これから大きな問題の一つになってくると思います。

御静聴を感謝致します

註 1 最近一九九三年一〇月クリントン政権の下でSSC計画は完全に中止されることが決った。

2 超新星SN 1987 Aの記事については、パリティ Vol. 3 No. 02 1988-02 P. 2 デビット・ヘル
フアンド(寿岳・平田訳)を参照した。

3 長島順清著『ニュートリノの謎』の表1を参考にした。

4 武田暁著『素粒子』の6-3図を参考にした。

(この稿を終えるに当って、種々の資料を提供して下さい、高エネルギー物理学研究所教授木原
元央氏、同真木晶弘氏、同阿部和雄氏に厚くお礼を申し上げます。)

(帝京大学教授・文部省高エネルギー物理学
研究所名誉教授・元京都大学理学部教授)

表 1 '現在の' 素粒子一覧表

		第 1 世代	第 2 世代	第 3 世代	電 荷	スピン
物質をつくる素粒子 (フェルミ粒子)	クォーク	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$	$+\frac{2}{3}e$ $-\frac{1}{3}e$	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$
	レプトン	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}$	0 -e	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$
媒介する素粒子 (ボーズ粒子)	重力子	Graviton (重力子)			0	2
	光子	$W^\pm, Z^0$			$\pm e, 0$	1
	光子	γ (光子)			0	1
	グルオン	Gluon (グルオン)			0 (カラー荷)	1
$W^\pm, Z^0$ などの質量を与える素粒子 (ボーズ粒子)		Higgs particle $\text{H}^0, \text{H}^\pm$				

註: $\text{H}^0, \text{H}^\pm$ は、未発見である。

表 2 “昭和18年当時の” 素粒子 (1943年)

電 子

光 子

陽 子

中性子

陽電子 (電子の反粒子)

ニュートリノ (エレクトロンニュートリノ, ν_e)

湯川中間子 (現在の π 中間子)

メゾトロン (現在のmuon, μ)

$\text{H}^0, \text{H}^\pm$ は、当時は未確認その後、実在が判明

$\text{H}^0, \text{H}^\pm$ は、現在では複合粒子

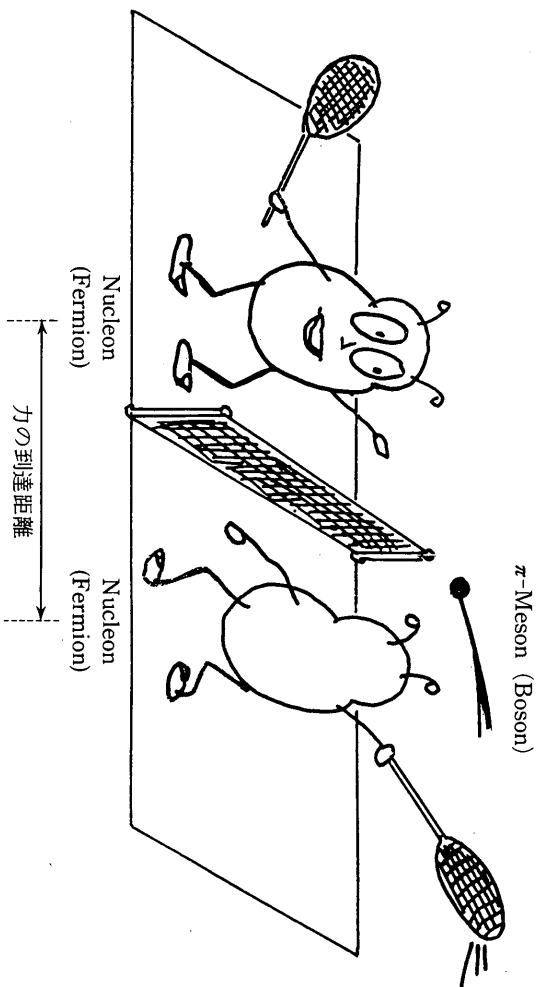
表 3 自然界における、4つの基本的力 (相互作用)*3

力の種類	強さ	到達距離 (cm)	力を媒介する粒子 (デニスホル)	その質量 (GeV)	関係する自然現象
重力 Gravity	$\sim 10^{-38}$	∞	Graviton (グラビトン)	0	銀河, 星の形成, 天体の運動, 太陽系, 物体の落下, 潮の干満
弱い力 Weak Force	$\sim 10^{-6}$	$\sim 10^{-16}$	$W^{\pm}, Z^0$ ボゾン	$W^{\pm}: 80.6 \pm 0.4$ $Z^0: 91.161 \pm 0.031$	原子核の β 崩壊, 粒子の崩壊, 星 (太陽) の熱源
電磁力 Electromagnetic Force	$\sim 10^{-2}$	∞	γ (光子)	0	原子の構成, 分子の構成 (分子間力), フランデルワール力, 光波, エレクトロニクス
強い力 Strong Force	$\sim 10^{-1}$	カラー閉じ込めの距離 ($\leq 10^{-13}$)	Gluon (グルーオン)	0	核子を含むハドロン of 構成, 核力の存在
核力 Nuclear Force [複合力]	10	10^{-13}	$\pi^{\pm, 0}$ (π 中間子) [湯川中間子]	0.14	原子核の構成, 核分裂及び核融合のさいの, エネルギーの源

図 1

力の働き方は、すべて “湯川流”

(Tennis における volley)



Fermion (フェルミ粒子) は、互にボーズ粒子を交換して、その間に力 (相互作用) が働く。

2 KEK-TRISTAN-AMY

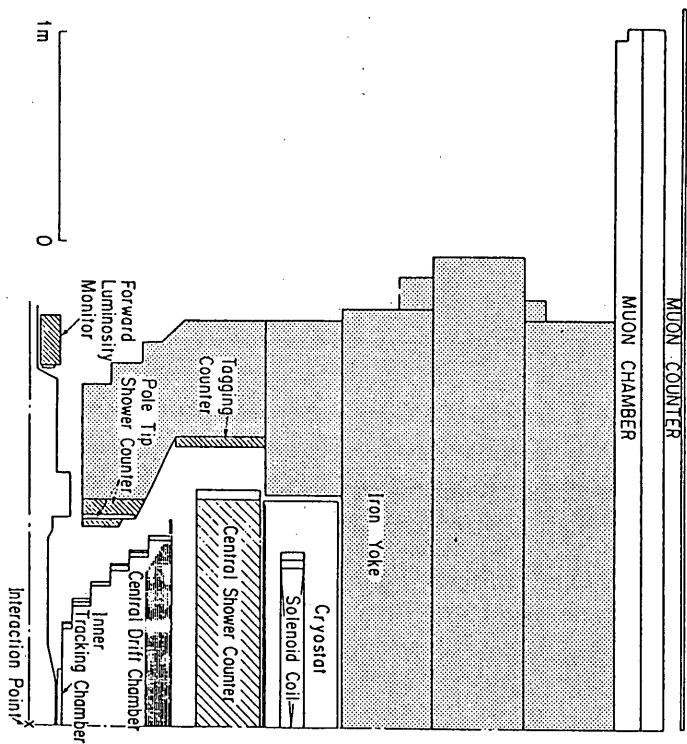


図 3 真空からの素粒子の対発生

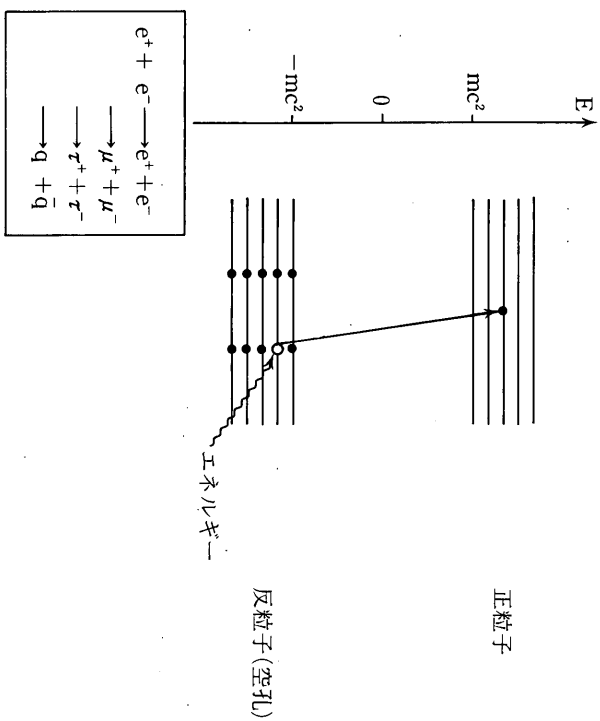
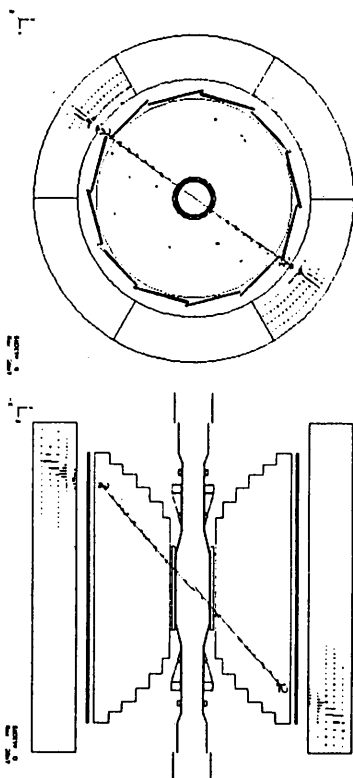


Fig 4 KEK-AMY



L

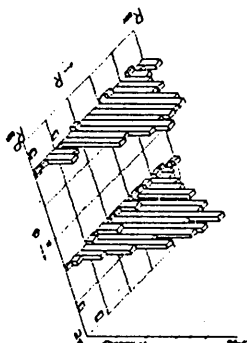
100 cm

L

100 cm

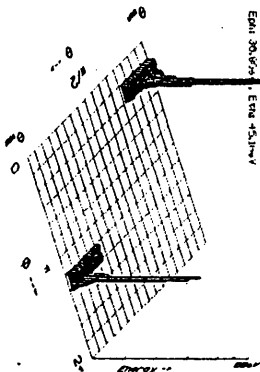
ANODE SUMMED SIGNAL

Hs: 2.10eV
Rms: 0.001, 0.001
Est: 37.79eV



Over Lap SUMMED SIGNAL

Hs: 5.40eV
Rms: 0.001, 0.001
Est: 30.65eV, Err: 45.19eV



5 KEK-AMY

Run: 5512, Exp: 1723, Ebeam: 25.5(GeV), Efile: 24(GT), Dated: 07-18, Time: 01:31:28
 ATAU0H03E7D, SEL0A1A
 TR0UT: 2114,
 DET01: 3.1.

Efn: 1.46eV, Efile: 1.65eV, Ee: 552.2(MeV)
 Efn: 52.66eV, Efile: 50.0(MeV)
 V01: 3A 04J0312, V01: 520

AMY
 SL-cut OFF

No. Ch First CDS 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1070 1071 1072 1073 1074 1075 1076 1077 1078 1079 1080 1081 1082 1083 1084 1085 1086 1087 1088 1089 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1099 1100 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 1117 1118 1119 1120 1121 1122 1123 1124 1125 1126 1127 1128 1129 1130 1131 1132 1133 1134 1135 1136 1137 1138 1139 1140 1141 1142 1143 1144 1145 1146 1147 1148 1149 1150 1151 1152 1153 1154 1155 1156 1157 1158 1159 1160 1161 1162 1163 1164 1165 1166 1167 1168 1169 1170 1171 1172 1173 1174 1175 1176 1177 1178 1179 1180 1181 1182 1183 1184 1185 1186 1187 1188 1189 1190 1191 1192 1193 1194 1195 1196 1197 1198 1199 1200 1201 1202 1203 1204 1205 1206 1207 1208 1209 1210 1211 1212 1213 1214 1215 1216 1217 1218 1219 1220 1221 1222 1223 1224 1225 1226 1227 1228 1229 1230 1231 1232 1233 1234 1235 1236 1237 1238 1239 1240 1241 1242 1243 1244 1245 1246 1247 1248 1249 1250 1251 1252 1253 1254 1255 1256 1257 1258 1259 1260 1261 1262 1263 1264 1265 1266 1267 1268 1269 1270 1271 1272 1273 1274 1275 1276 1277 1278 1279 1280 1281 1282 1283 1284 1285 1286 1287 1288 1289 1290 1291 1292 1293 1294 1295 1296 1297 1298 1299 1300 1301 1302 1303 1304 1305 1306 1307 1308 1309 1310 1311 1312 1313 1314 1315 1316 1317 1318 1319 1320 1321 1322 1323 1324 1325 1326 1327 1328 1329 1330 1331 1332 1333 1334 1335 1336 1337 1338 1339 1340 1341 1342 1343 1344 1345 1346 1347 1348 1349 1350 1351 1352 1353 1354 1355 1356 1357 1358 1359 1360 1361 1362 1363 1364 1365 1366 1367 1368 1369 1370 1371 1372 1373 1374 1375 1376 1377 1378 1379 1380 1381 1382 1383 1384 1385 1386 1387 1388 1389 1390 1391 1392 1393 1394 1395 1396 1397 1398 1399 1400 1401 1402 1403 1404 1405 1406 1407 1408 1409 1410 1411 1412 1413 1414 1415 1416 1417 1418 1419 1420 1421 1422 1423 1424 1425 1426 1427 1428 1429 1430 1431 1432 1433 1434 1435 1436 1437 1438 1439 1440 1441 1442 1443 1444 1445 1446 1447 1448 1449 1450 1451 1452 1453 1454 1455 1456 1457 1458 1459 1460 1461 1462 1463 1464 1465 1466 1467 1468 1469 1470 1471 1472 1473 1474 1475 1476 1477 1478 1479 1480 1481 1482 1483 1484 1485 1486 1487 1488 1489 1490 1491 1492 1493 1494 1495 1496 1497 1498 1499 1500 1501 1502 1503 1504 1505 1506 1507 1508 1509 1510 1511 1512 1513 1514 1515 1516 1517 1518 1519 1520 1521 1522 1523 1524 1525 1526 1527 1528 1529 1530 1531 1532 1533 1534 1535 1536 1537 1538 1539 1540 1541 1542 1543 1544 1545 1546 1547 1548 1549 1550 1551 1552 1553 1554 1555 1556 1557 1558 1559 1560 1561 1562 1563 1564 1565 1566 1567 1568 1569 1570 1571 1572 1573 1574 1575 1576 1577 1578 1579 1580 1581 1582 1583 1584 1585 1586 1587 1588 1589 1590 1591 1592 1593 1594 1595 1596 1597 1598 1599 1600 1601 1602 1603 1604 1605 1606 1607 1608 1609 1610 1611 1612 1613 1614 1615 1616 1617 1618 1619 1620 1621 1622 1623 1624 1625 1626 1627 1628 1629 1630 1631 1632 1633 1634 1635 1636 1637 1638 1639 1640 1641 1642 1643 1644 1645 1646 1647 1648 1649 1650 1651 1652 1653 1654 1655 1656 1657 1658 1659 1660 1661 1662 1663 1664 1665 1666 1667 1668 1669 1670 1671 1672 1673 1674 1675 1676 1677 1678 1679 1680 1681 1682 1683 1684 1685 1686 1687 1688 1689 1690 1691 1692 1693 1694 1695 1696 1697 1698 1699 1700 1701 1702 1703 1704 1705 1706 1707 1708 1709 1710 1711 1712 1713 1714 1715 1716 1717 1718 1719 1720 1721 1722 1723 1724 1725 1726 1727 1728 1729 1730 1731 1732 1733 1734 1735 1736 1737 1738 1739 1740 1741 1742 1743 1744 1745 1746 1747 1748 1749 1750 1751 1752 1753 1754 1755 1756 1757 1758 1759 1760 1761 1762 1763 1764 1765 1766 1767 1768 1769 1770 1771 1772 1773 1774 1775 1776 1777 1778 1779 1780 1781 1782 1783 1784 1785 1786 1787 1788 1789 1790 1791 1792 1793 1794 1795 1796 1797 1798 1799 1800 1801 1802 1803 1804 1805 1806 1807 1808 1809 1810 1811 1812 1813 1814 1815 1816 1817 1818 1819 1820 1821 1822 1823 1824 1825 1826 1827 1828 1829 1830 1831 1832 1833 1834 1835 1836 1837 1838 1839 1840 1841 1842 1843 1844 1845 1846 1847 1848 1849 1850 1851 1852 1853 1854 1855 1856 1857 1858 1859 1860 1861 1862 1863 1864 1865 1866 1867 1868 1869 1870 1871 1872 1873 1874 1875 1876 1877 1878 1879 1880 1881 1882 1883 1884 1885 1886 1887 1888 1889 1890 1891 1892 1893 1894 1895 1896 1897 1898 1899 1900 1901 1902 1903 1904 1905 1906 1907 1908 1909 1910 1911 1912 1913 1914 1915 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1923 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1930 1931 1932 1933 1934 1935 1936 1937 1938 1939 1940 1941 1942 1943 1944 1945 1946 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050 2051 2052 2053 2054 2055 2056 2057 2058 2059 2060 2061 2062 2063 2064 2065 2066 2067 2068 2069 2070 2071 2072 2073 2074 2075 2076 2077 2078 2079 2080 2081 2082 2083 2084 2085 2086 2087 2088 2089 2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2099 2100 2101 2102 2103 2104 2105 2106 2107 2108 2109 2110 2111 2112 2113 2114 2115 2116 2117 2118 2119 2120 2121 2122 2123 2124 2125 2126 2127 2128 2129 2130 2131 2132 2133 2134 2135 2136 2137 2138 2139 2140 2141 2142 2143 2144 2145 2146 2147 2148 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165 2166 2167 2168 2169 2170 2171 2172 2173 2174 2175 2176 2177 2178 2179 2180 2181 2182 2183 2184 2185 2186 2187 2188 2189 2190 2191 2192 2193 2194 2195 2196 2197 2198 2199 2200 2201 2202 2203 2204 2205 2206 2207 2208 2209 2210 2211 2212 2213 2214 2215 2216 2217 2218 2219 2220 2221 2222 2223 2224 2225 2226 2227 2228 2229 2230 2231 2232 2233 2234 2235 2236 2237 2238 2239 2240 2241 2242 2243 2244 2245 2246 2247 2248 2249 2250 2251 2252 2253 2254 2255 2256 2257 2258 2259 2260 2261 2262 2263 2264 2265 2266 2267 2268 2269 2270 2271 2272 2273 2274 2275 2276 2277 2278 2279 2280 2281 2282 2283 2284 2285 2286 2287 2288 2289 2290 2291 2292 2293 2294 2295 2296 2297 2298 2299 2300 2301 2302 2303 2304 2305 2306 2307 2308 2309 2310 2311 2312 2313 2314 2315 2316 2317 2318 2319 2320 2321 2322 2323 2324 2325 2326 2327 2328 2329 2330 2331 2332 2333 2334 2335 2336 2337 2338 2339 2340 2341 2342 2343 2344 2345 2346 2347 2348 2349 2350 2351 2352 2353 2354 2355 2356 2357 2358 2359 2360 2361 2362 2363 2364 2365 2366 2367 2368 2369 2370 2371 2372 2373 2374 2375 2376 2377 2378 2379 2380 2381 2382 2383 2384 2385 2386 2387 2388 2389 2390 2391 2392 2393 2394 2395 2396 2397 2398 2399 2400 2401 2402 2403 2404 2405 2406 2407 2408 2409 2410 2411 2412 2413 2414 2415 2416 2417 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425 2426 2427 2428 2429 2430 2431 2432 2433 2434 2435 2436 2437 2438 2439 2440 2441 2442 2443 2444 2445 2446 2447 2448 2449 2450 2451 2452 2453 2454 2455 2456 2457 2458 2459 2460 2461 2462 2463 2464 2465 2466 2467 2468 2469 2470 2471 2472 2473 2474 2475 2476 2477 2478 2479 2480 2481 2482 2483 2484 2485 2486 2487 2488 2489 2490 2491 2492 2493 2494 2495 2496 2497 2498 2499 2500 2501 2502 2503 2504 2505 2506 2507 2508 2509 2510 2511 2512 2513 2514 2515 2516 2517 2518 2519 2520 2521 2522 2523 2524 2525 2526 2527 2528 2529 2530 2531 2532 2533 2534 2535 2536 2537 2538 2539 2540 2541 2542 2543 2544 2545 2546 2547 2548 2549 2550 2551 2552 2553 2554 2555 2556 2557 2558 2559 2560 2561 2562 2563 2564 2565 2566 2567 2568 2569 2570 2571 2572 2573 2574 2575 2576 2577 2578 2579 2580 2581 2582 2583 2584 2585 2586 2587 2588 2589 2590 2591 2592 2593 2594 2595 2596 2597 2598 2599 2600 2601 2602 2603 2604 2605 2606 2607 2608 2609 2610 2611 2612 2613 2614 2615 2616 2617 2618 261

6. KEK-AMY

Run: 3188, Ev: 33.0, Elbeam: 26.00GeV, Bfz: 3.0311, Gen: 87-07-04, Time: 02:36:23
 AMF: MD0011, #26DATA
 IFRUN: 20, 26, 34, 18, 17, 16, 15, 13, 9, 8, 7, 6
 Defile: 7, 6, 5, 2, 1

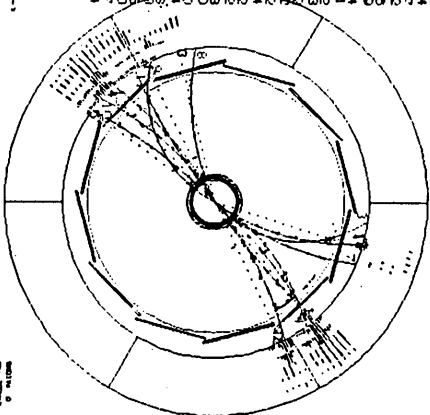
EP: 40.86eV, EIR: 44.0GeV, E: 37.0GeV
 EIR: 27.33eV, EIR: 31.5GeV
 VCR: 34, 33, 14, 07, V: 1, 438

SN, cut OFF
 IT, cut OFF
 IT, A, cut OFF

AMY

36

No.	Ch	Prot	θ	$\chi^2/\text{H/M}$
		Pyrene	Fluor	Cose
1	7	1.33	54.3	1.1/23
1	00	0.80	0.60	1.5/14
2	53	3.13	47.3	0.2/17
3	54	0.09	40.1	1.1/12
4	54	0.36	0.55	1.5/19
4	99	1.10	88.8	1.6/14
5	22	3.13	26.7	1.5/23
6	22	3.98	83.2	0.5/14
7	64	2.98	0.75	1.5/14
7	21	1.39	48.2	3.7/22
8	22	1.23	205.7	1.1/14
9	22	0.10	0.06	0.2/12
9	61	0.71	242.4	0.8/13
10	61	0.37	0.53	1.6/10
10	38	1.41	212.9	5.3/14
11	07	3.49	218.8	0.8/15
12	78	1.95	30.6	9.5/16
13	78	1.98	20.59	2.4/10
13	57	1.00	20.44	0.3/14
5	30	0.52	23.1	1.5/14
5	30	0.36	0.72	
11	3	0.75	39.4	
14	50	0.75	72.3	
0	65	0.37	0.46	
3	70	0.93	193.9	
2	85	1.73	207.4	
7	85	1.92	25.1	
1	66	1.96	29.1	
4	26	12.7	24.2	
10	26	7.31	0.56	



SCALE: 0
 10, 2000

