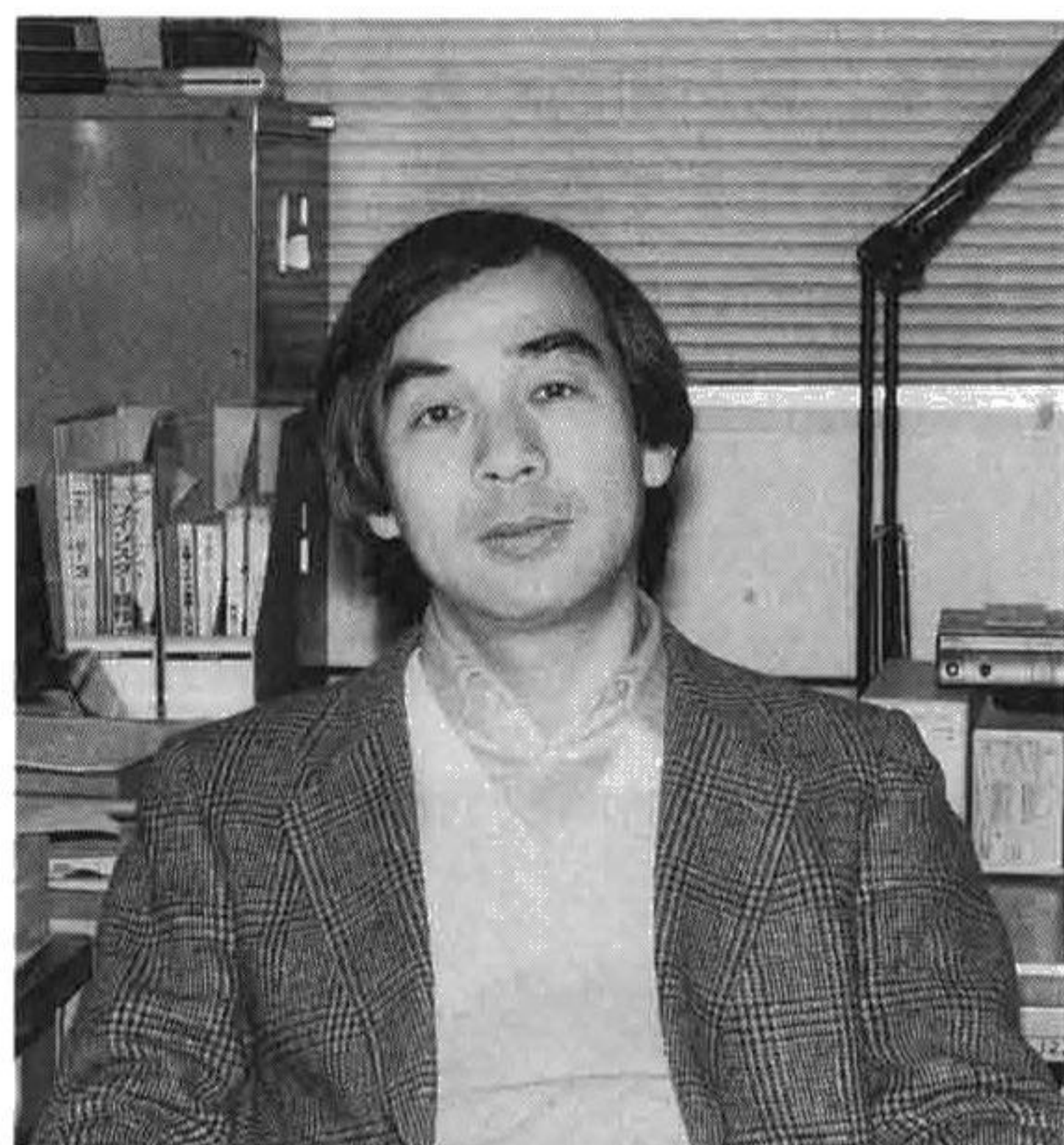


原子核世界の魅力を追い求めて

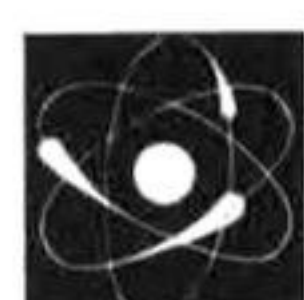
—— 小川研究室～エネルギー科学専攻 ——



小川 雅生 助教授

現在のエネルギー問題や環境問題を解決するための手段として、核融合が注目されている。実験炉や原型炉などが日本でも建設され様々な実験が行われている。そのような中で近年、常温核融合の可能性が発表さ

れて世間を沸かせたことは記憶に新しい。こうした核融合は、原子や原子核の構造が詳しく解明されることなくして実現できない。そこで今回我々はエネルギー科学専攻の小川助教授にお話を伺った。



まとまりのよい数——魔法数

小川研究室では軽イオンや重イオン等のビームを用いたビーム科学を基にして、おもに原子核物理に関する研究と核融合エネルギーの開発を行っている。そこでまず、小川先生に原子核物理についてのお話をしていただいた。

原子核物理というのは、ある意味では中途半端な系を扱っている。原子核は100個、200個といった粒子数で出来ているため、個々の粒子(陽子や中性子)のもっている特性を示したり、全体として統計的な動きを示したりする。このために理論だけではなかなか正確に解くことができない。

これは人間社会に例えると次のことに相当するだろう。100人程度の集団で、A君とB君は仲がいいとかCさんとDさんは仲が悪いとか、そういうことが全て分かっていると仮定する。そのような場合、集団としての性質が分かりそうなものだが、コンピュータを使ったとしても全貌が分かるわけではない。そのような場合は、ある共通の目的を持った集団のように特徴をつかみ易いものを考え、ある程度までそれと似通った集団の性質を理解しようと試みるこ

が多い。

原子核物理でもこれとまったく同じ手法を用いている。原子核は一定数の粒子から構成されるとその特徴をつかみ易くなり、その数を魔法数(Magic Number)と呼んでいる。原子を構成する陽子や中性子の数が魔法数となる場合、原子核のグループとしての効果、方向、特徴が際だってくる。

魔法数は実験的に求められている数で、2, 8, 20, 50, 82, 126がそうである。このような数の陽子または中性子を持つ核は非常に安定で、そこから構成粒子を一つ引き抜こうとすると、他の粒子数から構成される核の場合に比べて、大きなエネルギーを必要とする。これは原子が希ガス型の電子配置をとると安定である、といったことによく似ている。

再び人間社会に例えるならば、まとまりのよいメンバーから一人を引き抜くことは難しいが、付和雷同の人間の集まりから、一人を引き抜くことは簡単だということになる。

魔法数を持った原子核は安定だがその中でも二重に魔法数を持った原子核は特に安定であり、特徴もつか

み易い。そこで小川先生は、多くの魔法数の中から50を選び出し、陽子数も中性子数ともに50の $^{100}_{50}\text{Sn}$ について研究をなされてきた。ところが $^{100}_{50}\text{Sn}$ という物質は自然界に存在しない。それどころか今までに人工的にすら作られたことがないものなのである。

それではどのようにして $^{100}_{50}\text{Sn}$ についての研究を行っていくのであろうか。先にも述べた通り魔法数をもった原子核は非常に安定であるため、それに近い粒子数を持った原子核に比べてエネルギー状態が非常に異なる。だからエネルギー状態が極めて小さくなっていることは分かるが、それがどれ位なのかは良く分からない。そこで仕方なく $^{100}_{50}\text{Sn}$ に一步步近づくために ^{104}Sn や ^{106}Sn に関する実験を行っていくそうである。今までのところ、 $^{100}_{50}\text{Sn}$ に一番近い性質を持っていて、正確な実験データが得られているのが、 ^{106}Sn である。ドイツの重イオン研究所では重イオンを加速し、 ^{104}Sn を作ること成功した。けれども実際には ^{104}Sn が β^+ 崩壊した後でできる ^{104}In が確認されただけ

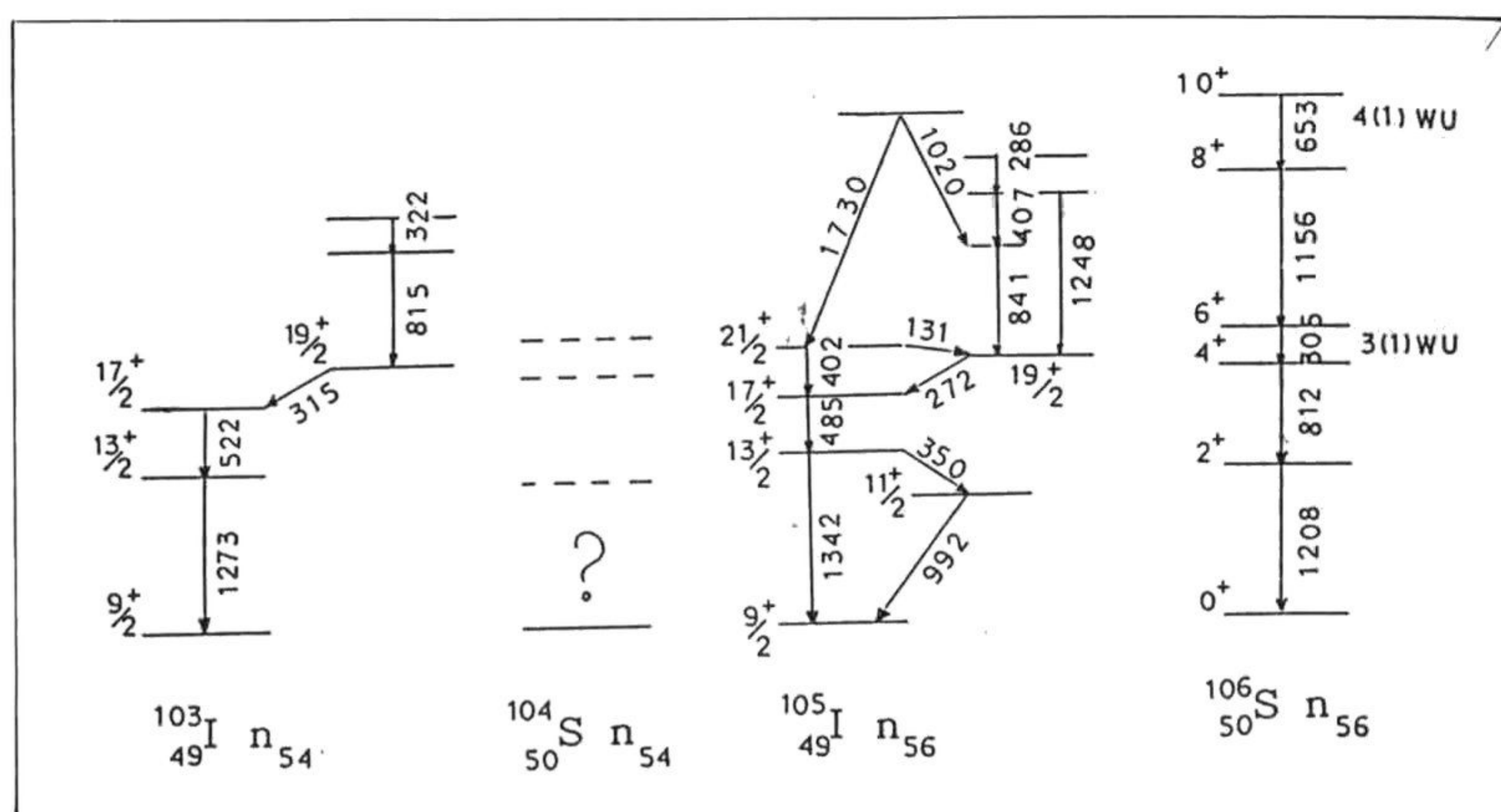


図1 Sn In 同位体のレベルスキーム

で、 ^{104}Sn ものの測定はうまくいかなかったそうである。したがって詳しいデータ、エネルギーやスピンの量などを得ることはできなかったのである。

小川研究室では20 MVのタンデム加速器を使って重イオンを加速させて ^{106}Sn の測定以外に $^{100}_{50}\text{Sn}$ に近く、中性子数の少ないIn同位体のインビーム γ 線測定を行った(図1)。その結果 ^{105}In 、 ^{103}In に関して高スピン状態まで調べられた。このときには ^{104}Sn に関するデータは取らなかったそうであ

る。なぜなら粒子を高速で衝突させると一度にいくつかの核反応が起こる。そのときに必要な反応とそれ以外の反応のS/N比が小さすぎると、必要な反応の結果を検出できなくなるから、 ^{104}Sn に関するデータはたぶん得られないだろうと小川先生が考えられたからだ。小川先生は、仮に $^{100}_{50}\text{Sn}$ が簡単にできなくても $^{100}_{50}\text{Sn}$ にできるだけ近いデータを得たいとおっしゃっていた。



中性子の発生しないDヘリウム3核融合

次に小川研究室での研究のもう一つの重要な課題であるエネルギー資源としての核融合の開発についてお話を伺った。現在、世界各国で主に実験されている核融合は



で表される反応をもとにしている。重水素(D)とトリチウム(T)の反応(DT反応)は、核反応を起こすために必要なエネルギーが少なくすむが、反応により中性子(n)が発生する。また困ったことに、反応で発生したエネルギーは、質量に反比例して各粒子に与えられるため、エネルギーの大部分が中性子に与えられる。その

結果核融合のエネルギーを有効に回収するのが難しくなる。その理由は中性子は電荷をもっていないから、それに働く力は核力しかない。核力のごく短い距離でのみ作用するので、中性子の運動エネルギーを取り出すことが難しいというところにある。またこうしたDT反応を行う場合現在の時点では、プラズマの磁気閉じ込め方式、慣性閉じ込め方式の2方式が主なものである。しかしこれらの方式はどちらも非常に巨大なシステムになり実験装置も大型のものとなる。

このようなことを解消するため小

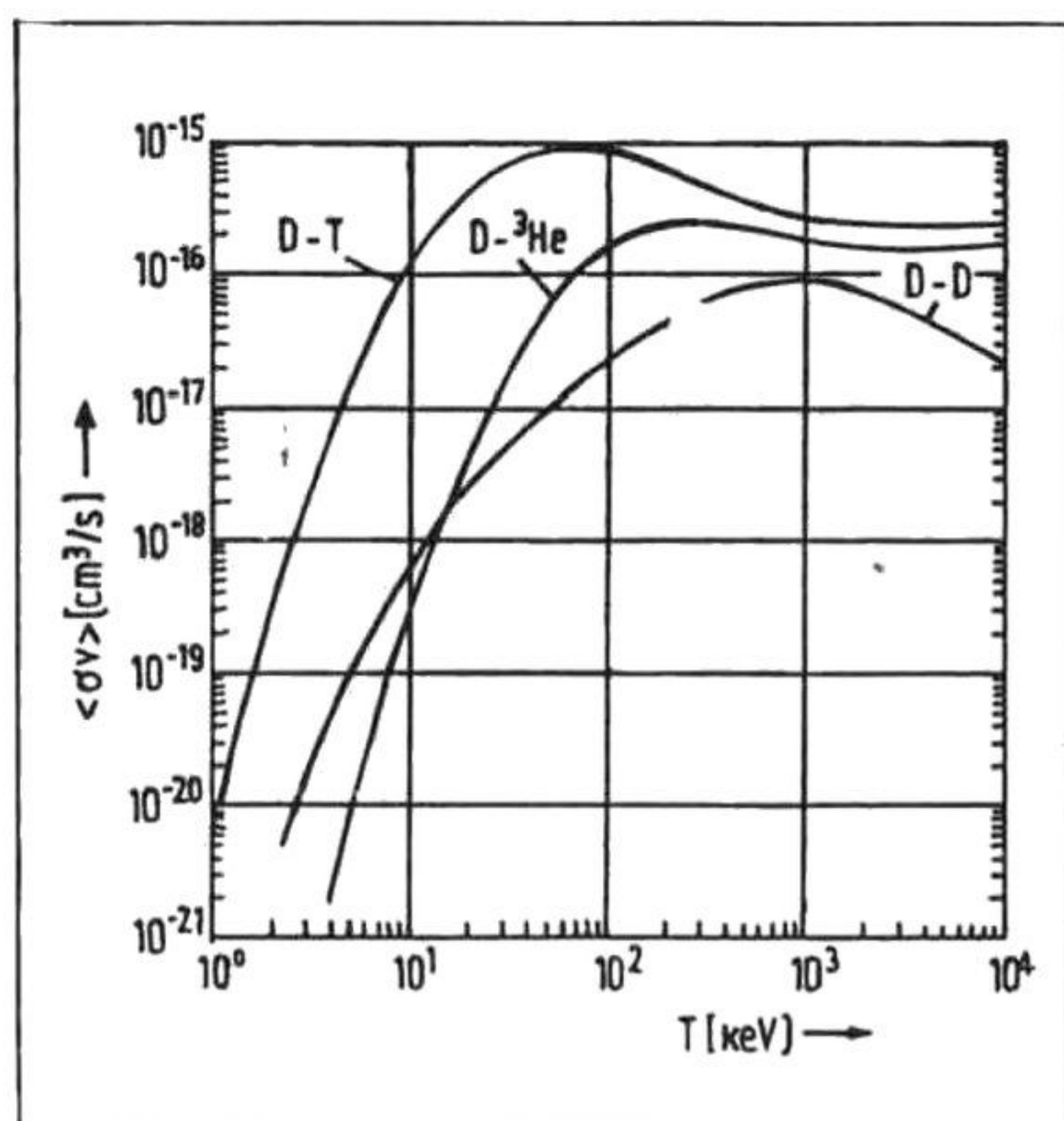


図2 熱核融合断面積のプラズマ温度に対する依存性

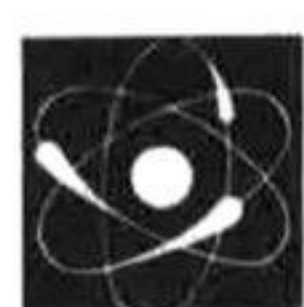
川先生は



といった反応式で与えられる核反応を研究しておられる。この核融合ならば、中性子も発生せず、放射性同位体であるトリチウムも使わないから、非常にきれいなエネルギー源となる。そのうえプロトン(p)の運動エネルギーも直接、電磁力で回収できるのである。またこの核反応は反応生成エネルギーが大きく反応断面積も大きい(図2)。このように優れた部分が多いのだが、この核融合を行うときに大きな問題点も一つある。核反応を起こすには、プラズマ状態

を作らなくてはならない。ところがヘリウムは水素に比べて原子価が大きく、クーロン力も大きいため、核力が粒子間に働くまで粒子を近づけるのは難しい。そのため核反応を起こすためのプラズマを作りにくくなってしまうのである。

そこで解決策として放電によってプラズマを作るのではなく、エネルギーの高いビームを入射して磁場の中に高密度領域を作ることが考え出された。こうすると高温のプラズマ状態と似た世界になるため、原子どうしが非常に近寄り核反応が可能になるのである。



夢の核融合の実現に向けて

こうした核融合実現のための第一歩として、小川先生は現在



の反応式で表される重水素どうしの核融合を行おうとしておられる。この実験は分子イオンを加速して、ミラー磁場で解離した重陽子(D^+)を蓄えることを目的としている。ミラー磁場というのは、中心軸方向の磁場が中心より外側の方が強くなっており、粒子が逃げにくくなっているが、粒子が軸方向の運動成分を持っていると逃げだしてしまうというものである(図3)。そこで軸に対して直角にビームを入れ、さらに磁場を一樣

にではなく、中心から遠くなるほど小さくなるようにかければ、中心部での密度が高くなったとしても、粒子を閉じ込められるというわけである(図4)。そして軸方向の運動成分を持った粒子のエネルギーを減速器を用いて電気エネルギーに直接変換するのである。

「とりあえず、エネルギーの低いイオンでうまく行くのかどうか、どれくらいの密度まで安定に閉じ込められるのか。あるいは積極的に解離させるにはどうすればよいか、電子や光などの強烈なビームを照射するのか、最初だけガスを吹き込むのかなどを考えねばならない。」と小川先生おっしゃっていた。

今のモデルは、およそ常伝導コイルを用いて0.6テスラの磁場が中央に出来るものでビーム電流が10~100 μA の D^+ ビームを入射するものであるが、これだと10KeV程度のエネルギーを持った粒子しか溜められない。これがうまくいったら、超伝導を使って6テスラの磁場をかけるモデルを作る。この場合運動エネルギーは磁場の大きさの2乗の比例するから、

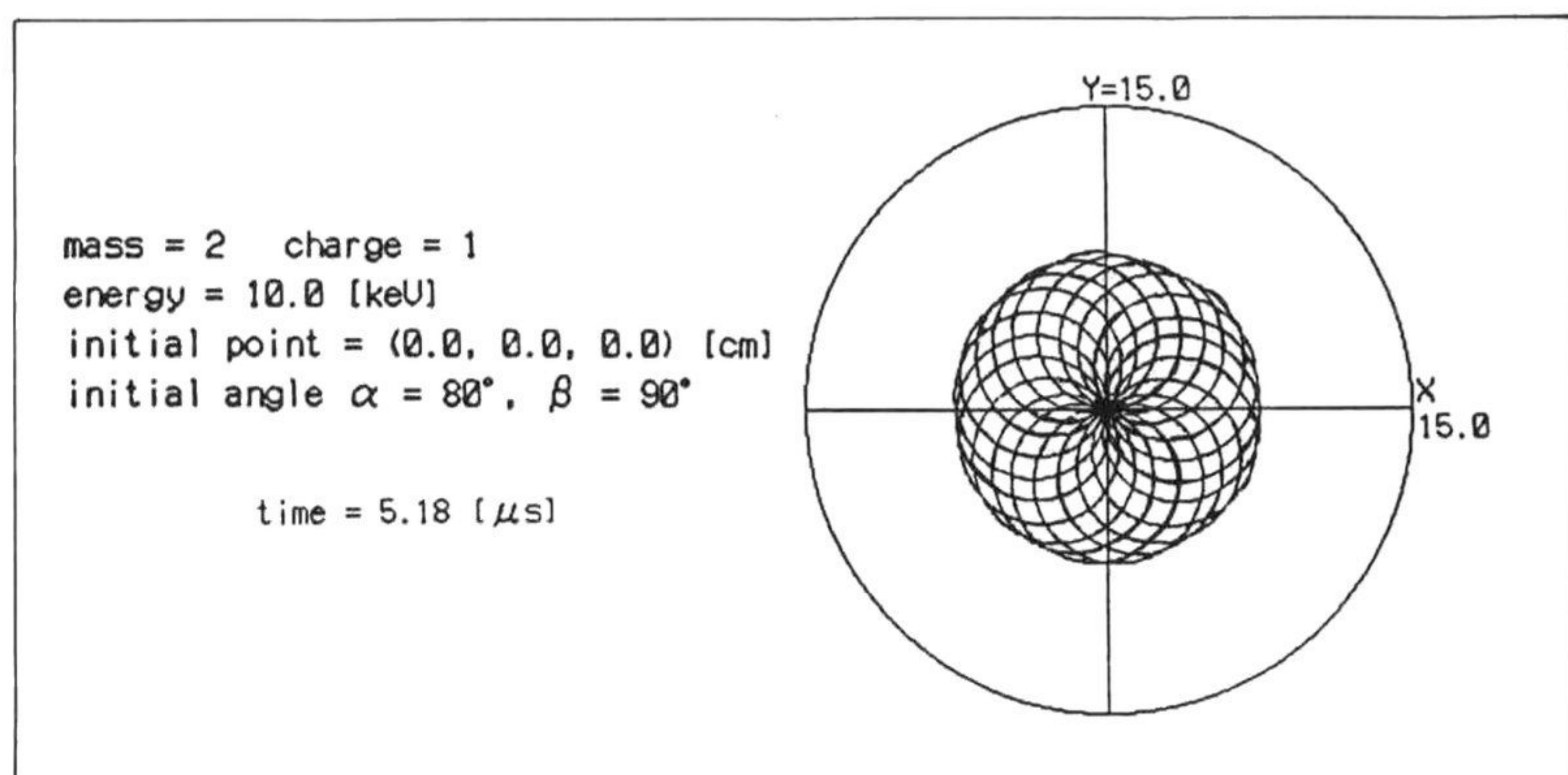


図3 原子イオンの軌道

1 MeV程度までなら蓄えることが可能になるのである。この程度まで蓄えられれば、現行の最高のトカマク型核融合炉に近いエネルギーが達成されることになる。いままで述べた実験がすべてうまくいった後、Dヘリウム3核融合の実験が行われるだろうが、小川先生は、うまくいくと世の中が変わってしまうかも知れないとおっしゃっていた。

実用化に際しては、ビームの磁場に閉じ込めによる装置は、それ自身かなり小さく、発電規模も最大1万KW級のものになるそうである。したがって、ローカルなところへの利用にたいへん適している。またラジオアイソトープや中性子が少ないので安全性が高く、この核融合による発電所は都市近郊にも立地可能である。

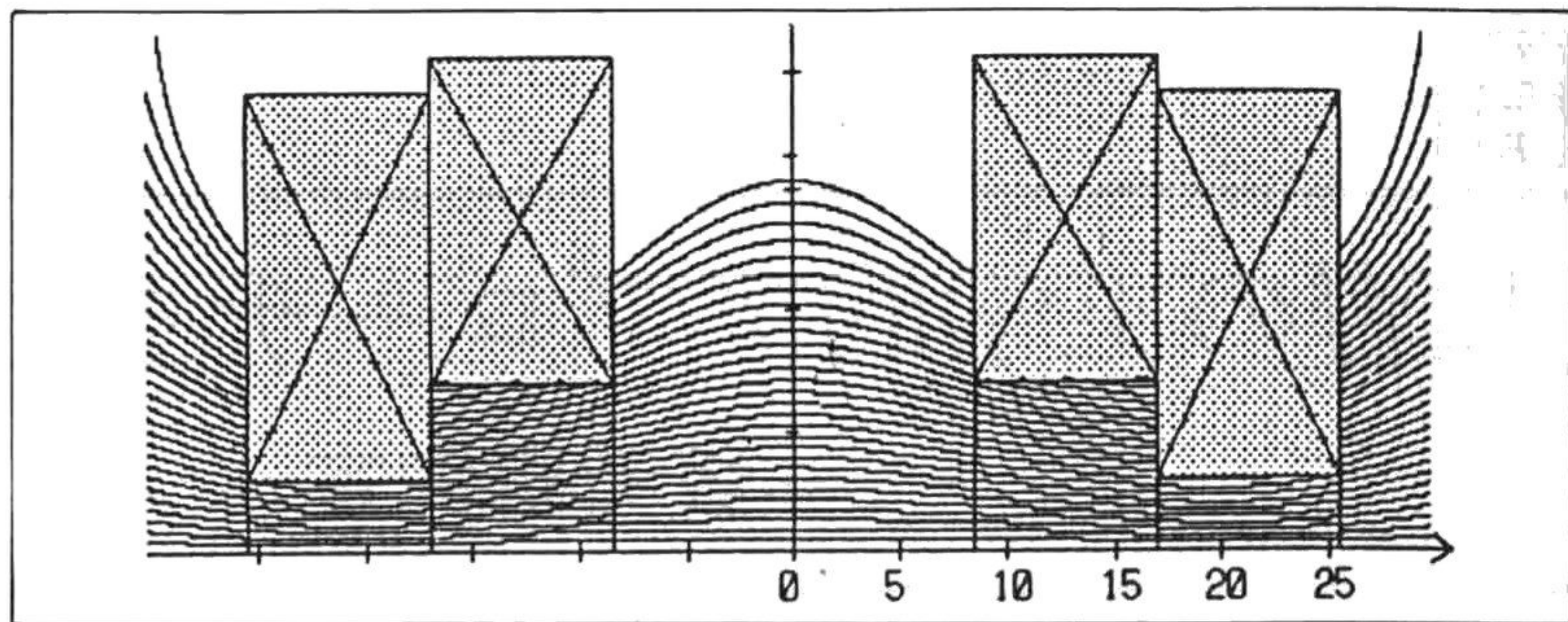


図4 常電導空心コイルの磁場分布

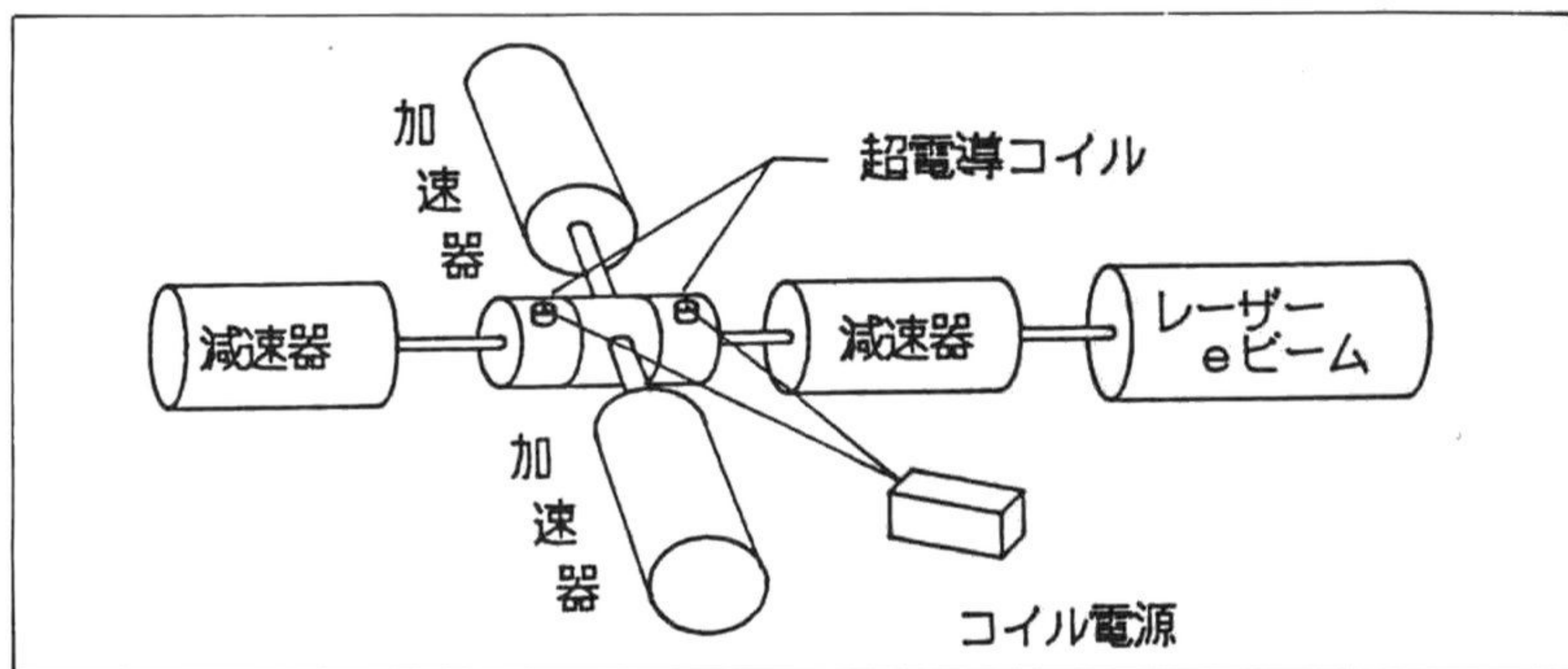


図5 ビーム閉じ込め核融合によるエネルギー発生概念図

大学では他の人のやらない研究を

小川先生に、大学であるいはこれから先に勉強することの意義について伺いしたら、次のように答えてくださった。

「今までしてきた受験勉強というのは、必ず問題集があって、その問題にはどこかに答がある。でもあるところから先は、問題は提供されるけれど、解答はないわけだ。そういった障害にぶつかったときにどう取り組むか、そういった点がポイント

だと思う。

それに、このことを考えているのは世界で自分一人ではないか、というようなことを一生涯の間に何個も見つけた人ほど、楽しく研究することが出来るのではないのかな。やはり偉い人ほどそういったことを多く見つけている。だから君達も他人がやるから自分もやる、という考えを持たないで、進んで人のやらないことをやった方がいい。」

以前に何かの本でDヘリウム3核融合は究極の核融合であるということを読んだことがある。その本によれば、この核融合の燃料であるヘリウム3は月面上に豊富に存在するそうだから、もしこれが実用化すればエネルギー問題も解決するだろう。東工大の中でこうしたことを研究しておられる先生が、実験に成功され

れば素晴らしいことではないだろうか。最後になってしまいましたが、取材のときにホワイトボードやコンピュータを使って、丁寧に説明してくださり、取材後には、実験室まで見せて下さった小川先生にお礼を申し上げます。

(小澤)