

水惑星地球と核酸、蛋白質

宇宙研 清水幹夫

ご自身の研究を分子スペクトル解析から星間分子、星間有機分子、そして宇宙生物物理学へと発展させてこられた経緯そのままに、原始太陽系の星間物質から生体高分子にいたる広大なフィールドで生命発生の大きなシナリオが概観された。現在の地球上の生命を根本的に支える二つの生体高分子、核酸と蛋白質が、比較的低温の、水に富んだ原始地球上でどのように進化誌を遂げきったのかを考える。核酸塩基の環状部分は疎水的であり、一方環上には親水的な基が付いておりこれらはワトソククリック結合を形成する。二つの核酸塩基を水中に入れればこれらは疎水環の面を合わせて重なり合うので、その状態で親水基と水素結合することで分子認識が可能となるだろう。遺伝暗号は三つ組であるので塩基三つの重なり合いでアミノ酸を認識できれば良い訳だが、疎水性アミノ酸も考慮してもう一つ別の塩基を横から結合させて複合4塩基としてその上にあいた孔でアミノ酸が認識できる。4番目の候補として以前からtRNA上でディスクリミネータ塩基と呼ばれていた塩基が有力であるが、現在のtRNAではtRNA上での距離が遠過ぎて、若干の無理がある。しかし原始のtRNAでは状況が違ったとも思われる。そもそも蛋白質は核酸の配列に書き込まれた情報によって合成されるわけであるが核酸をヌクレオチドから作るには酵素であるところの蛋白質が要る。原始にはどちらがさきにあったのが問われていたが、1980年代半ばに酵素的な役割をする核酸すなわちリボザイムが発見され、原始に於いては核酸だけで生命情報のやりとりのストーリーが完結出来るのではないかとするRNAワールドの考え方が登場した。原始tRNAがリボザイムの性質を持っていた可能性は十分あり、その末端が二重螺旋を形成すれば、溝は塩基群を十分受容できる大きさを持っている。これらの理論的、また実験的な検証についての概説があり、また今後の展望がなされた。また、講義後の質疑応答においては、出席された佐藤勝彦先生と生命発生の確率が地球型惑星に於いては1か、といったホットなテーマについての応酬があり、生命の起源から宇宙の起源へとシンポジウム全体のテーマの輪のつながりが自ずと明かになっていくようであった。

(文責 伊東 乾)

宇宙論研究の現状と展望

東大理 佐藤勝彦

今回、特に物性研究者にもわかりやすいようとの配慮から、標準的な宇宙モデルから始まってわかりやすく宇宙論について説明された。このモデルは理論的にはアインシュタインの一般相対論に対してフリードマンによって示された宇宙が膨張し収縮する解の存在に基づく。これは、また、ハッブルによって、遠い銀河ほど速い速度で遠ざかっているというハッブルの法則、及び、ペンジャスとウィルソンによる黒体射の発見という2つの観測事実に基づいている。

話の中心は、この標準モデルのもっている宇宙は数学的特異点から出発しなければならない、という困難をどのように越えていったかという点にあった。その困難を解消するインフレーション理論の概略とその成果についてへと話は進められた。インフレーション理論は統一理論を背景にして宇宙のもつ真空のエネルギーによって宇宙が急激に膨張することを示す。宇宙の地平線を越えた領域からなぜ同じ温度の射が観測されるかという地平線問題、また、宇宙の曲率がなぜ小さいのかという平坦性の問題を解決することはインフレーション理論の大きな成果である。また、インフレーション理論はボイド、グレートウォール等の宇宙の地平線を越えた大構造をも説明する。最後に、最新の成果であるCOBE衛星による宇宙の背景射の揺らぎの観測結果にインフレーション理論を支持されたことを述べられて話が締めくくられた。

(文責 野村 晋太郎)

量子非破壊測定

東大教養 清水 明

量子力学において測定は必然的に系の状態に影響を与えてしまうが、通常はほとんど考えられていない非測定系の測定後の状態について、詳しく精密にお話し頂いた。特に、今回は標準的量子力学の範囲内に限って議論された。

量子非破壊測定 (Quantum Nondemolition Measurement, QND 測定) とは、「物理量 Q の E' における統計分布が、 E における統計分布と一致するような測定で、測定誤差が原理的にいくらでも小さくできるもの。」と定義される。この QND 測定はその条件のきつさに応じていくつかのレベルに分類される。ここで測定過程を被測定系 S とプローブ系 P とに分類し、 P 中のその先は全て理想測定であると見なせる境界が存在し、それよりも S よりの部分と S とを量子系と考え、理想測定を考察する。そうすると、測定の前後の P と S の状態に応じて QND 条件は三つに分類される。最も厳しい条件は、被測定系、プローブ系の状態に関わらず QND となる条件 (Strong QND condition) である。少し緩い条件はプローブ系をうまく選んでその条件下で QND となる条件 (Moderate QND condition) である。最も緩いのが被測定系にも条件を課してその範囲内で QND となる条件 (Weak QND condition) である。

最後に、この Weak QND condition を満たす検出器の一例として、量子細線中の電子の位相が照射した光によって変化することを利用した QND 光検出器が示された。このような系は電子と光の双方を量子化しなければ説明できない興味深い対象であり、今後の展開が期待されている。

(文責 野村 晋太郎)

講義後半

銅酸化物高温超伝導体と強相関電子系の物理

東大物性研 今田正俊

今田先生には、高温超伝導の話題を講義していただいた。まず、実験的な事実を話し、次に理論的な説明をした。

実験では、高温超伝導は 1986 年に発見されて以来、転移温度を上げる努力がなされる一方、様々な方法によって格子状態、電子状態が調べられてきた。その結果、超伝導相の近くに反強磁性相が現れること、理論的には理想的な状態にありフェルミエネルギー付近ではバンドがほとんど縮退しておらず 1 軌道で表せることなどが分かった。

理論的には、モデルとして古くから知られているハバードモデルを二次元正方格子上で解くことで高温超伝導体を近似できそうであるということ話をした。ハバードモデルは

$$\mathcal{H} = -t \sum_{\sigma} \sum_{\langle i,j \rangle} (c_{i\sigma}^{\dagger} c_{j\sigma} + h.c.) + U \sum_i n_{i\uparrow} n_{i\downarrow} - \mu \sum_{i\sigma} n_{i\sigma}$$

によって表される。ここで、 U はオンサイトクーロン相互作用の強さを表しているパラメータである。まず、電子の数を half-filled に固定して $U \gg 1$ とすると、ハバードモデルの有効ハミルトニアンは反強磁性ハイゼンベルクモデルになる。この事実から、half-filled での高温超伝導体の反強磁性