

氏 名	武 田 英 徳 たけ だ ひで のり
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 276 号
学位授与の日付	昭 和 48 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学 位 論 文 題 目	膨張宇宙における物質と輻射の相互作用
論文調査委員	(主 査) 教 授 林 忠四郎 教 授 長谷川博一 教 授 町 田 茂

論 文 内 容 の 要 旨

1965年に電波の観測から、宇宙には 3°K の黒体輻射が存在することが発見されたが、これは Gamow らの一般相対論的な膨張宇宙論を裏づける観測事実の一つであると考えられている。この宇宙論によると、宇宙は非常な高温の状態から急激に膨張して温度は降下する。そのいろんな温度の段階において、いろんな種類のミクロの反応、すなわち原子核や原子、分子の反応、荷電粒子による輻射の放出、吸収、散乱などがおこる。例えば、約 10^{10}K では陽子と中性子から He 核が形成され、 10^4K の近くではイオンと電子の結合によって H や He の原子が形成される。この原子形成によって電子の数が減少すると、光子の平均自由行路は急激に増大するが、このように自由になった光子が宇宙膨張による赤方偏移をうけたものが 3°K の黒体輻射であると考えられている。

主論文は、この膨張宇宙の He 核形成以後の段階において、乱流の散逸などによる物質の加熱がある場合について、物質粒子と光子との相互作用がどのように進行して、輻射のエネルギー・スペクトルが Planck の分布からどのようにずれるかを調べるとともに、中性原子の形成過程とこれに続く水素分子の形成過程を詳細に追求したものである。

まず、原子形成以前の完全電離の物質が Compton 散乱と制動輻射の両過程を通じて輻射と相互作用している場合について、輻射のスペクトルが Planck 分布に近づく緩和時間、物質の加熱によって輻射エネルギーが変化する時間、および加熱が持続する時間を温度と密度の関数として求めている。ついで、これらの時間と宇宙膨張の時間の大小を相互に比較し、そのいろんな場合について、輻射のスペクトルがどのように変化するかを明らかにしている。すなわち、制動輻射が十分早く起こるような温度と密度においては、スペクトルは Planck 分布に近いが、Compton 散乱だけが起こっている温度と密度においては、光子の数が変化しないので一般に Bose 凝縮が起こることを見出している。

ついで、宇宙の温度が十分に降下して、電子とイオンの結合の反応が逆の輻射による電離にうち勝つようになった場合の原子形成過程を定量的に追求している。物質の加熱がある場合とない場合の両方について

て、原子の形成に関与するすべての反応を調べ上げて、 He^{++} , He^+ , He , H , P , e の存在量の時間変化を定式化し、その解を数値的に求めている。その結果、 $\text{He}^{++} + \text{e} \rightarrow \text{He}^+$, $\text{He}^+ + \text{e} \rightarrow \text{He}$ の反応は、それぞれ輻射温度が 1.8×10^4 °K, 7×10^3 °K の段階で進行することを見出している。さらに、 H 原子の形成は 4×10^3 °K のときに始まるが、温度と密度が十分低下すると、この反応は停止するので、ごく一部の電子、すなわち H 原子 1 個あたり $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 個の電子は陽子と結合せずに残ることを見出している。さらに、乱流の散逸による物質の加熱がある場合についても、電離度の時間変化の様子を明らかにしている。

最後に、残存した電子と H 原子から H の負イオンがつくられ、さらに、 H_2 分子が形成される過程を追求している。その結果、加熱源のない宇宙では H 原子の 10^{-6} 程度の数の H_2 分子が最終的に残ること、また乱流による加熱がある場合には、上の値は 10^{-3} の程度、またはこれ以下であることを見出している。

参考論文 1 は、膨張宇宙の初期に乱流が存在した場合について、乱流の散逸過程と原子形成時に起こる物質の圧縮過程の両方を考えると、原子形成以後の宇宙においては、銀河ないし銀河集団の質量をもった領域における密度のゆらぎの成長が可能であることを示したものである。参考論文 2 は、宇宙乱流の散逸による物質加熱の割合を求め、物質の温度変化に対するその影響を論じたものである。参考論文 3 は、宇宙乱流が存在する場合には、物質の中性化の時期に太陽質量の $10^{10} \sim 10^{11}$ 倍の物質を含むような大規模の磁場が励起されることを示したものである。参考論文 4 は、銀河内における星の形成と進化の結果として、星間ガス中の重元素量がガスの質量とともにどのように変化するかを論じたものである。

論文審査の結果の要旨

現在の宇宙に 3°K の黒体輻射が存在することが発見されて以来ここ数年間に、一般相対論的な膨張宇宙の理論はいろんな面で大きく発展してきた。その一つは、宇宙膨張の各段階で諸種の物質粒子や光子の間にどのようなミクロの反応が進行したかという問題であり、他の一つは、流体力学的なマクロの過程がどのように進行して、物質の凝集形態としての銀河や銀河集団が形成されたかという問題である。

主論文は、上の前者の問題に関するものであって、宇宙の温度が 10^8 °K 以下に降下して原子核反応が終了した以後の段階において、物質粒子と光子との相互作用がどのように進行して、輻射のスペクトルの強度と形や物質の電離度が時間的にどう変化したかを系統的に追求したものである。

この変化を定めるミクロの過程は数多く存在するが、申請者はまず各種の反応の断面積と反応率を詳細に検討比較することによって、宇宙膨張の各段階でどの種の過程が重要であることを明らかにしている。ついで、物質の加熱源が存在して、一般に物質温度が輻射温度より高い場合について、物質粒子と光子との相互作用の結果として、宇宙の輻射のスペクトルの強度と形が時間的に変化する様子を明らかにしている。さらに、電子とイオンの結合によって He や H の原子が形成されて、物質が中性化する過程を追求し、宇宙が十分膨張して反応が凍結したあとに残る電子や H_2 分子の存在量を見出している。この H_2 分子は、輻射放出による冷却作用をもつので、宇宙内でのガス雲の収縮に重要な役割を演ずるものと期待されている。

以上の主論文は、膨張宇宙における物質と輻射の相互作用の過程を明らかにすることによって、宇宙論

や銀河形成の理論の発展に寄与するところが少なくない。なお、参考論文はいずれも、申請者が宇宙物理学やプラズマ物理学の広い分野にわたって豊富な知識とすぐれた研究能力をもっていることを示している。

よって、本論文は、理学博士の学位論文として価値あるものと認める。