

◆原子・分子衝突過程の理論とその宇宙物理学への応用

Theory of Atomic and Molecular Collision Processes and Its Applications to Space Physics

東京大学教授 高 柳 和 夫

Prof., Univ. of Tokyo

Kazuo Takayanagi



略 歴 大正15年11月28日生
昭和23年 東京大学理学部物理学科卒
" " " 大学院入学
" 25年 埼玉大学文理学部助手
" 34年 " " 助教授
" 40年 " 理工学部教授
" 41年 東京大学宇宙航空研究所教授

Extensive theoretical studies have been made of rotationally and vibrationally inelastic molecular collisions at thermal energies. For molecule-molecule collisions, a powerful approach called the Modified Wave Number method was introduced. For electron-molecule collisions, the Born approximation as well as more elaborate approaches such as the distorted-wave, the close-coupling, the adiabatic and the Glauber approximations were applied to clarify the nature of the collision processes. More recently, ion-polar molecule collisions are being studied along a newly-developed Perturbed Rotational State approach. The theory of atomic and molecular collision processes has been applied to study some basic problems in ionospheres and interstellar clouds.

研究概要

本研究の中心課題は衝突による分子の振動・回転励起の理論である。最初の仕事は分子と分子の衝突における励起確率を計算することで¹⁻⁷⁾、超音波の異常分散を定量的に理解しようというのが主な目的であった。手動の計算器しか使えない時代であったが、波数修正法と称する近似法を考案し¹⁾、問題の本質をできるだけ変えずに計算労力を著しく少なくすることに成功し、これによりはじめて現実性のある理論計算を可能にした。その後この近似法に基礎をおいていわゆるSSH理論が米国で作られ、この分野で唯一の簡易計算法として広く利用された。なお、分子衝突に関する2篇の総合報告^{8,9)}はその後の研究の出発点として数多くの論文に引用されている。

つぎに電子衝突による分子励起を研究した⁸⁻¹⁶⁾。地球や他の惑星の電離層への応用を考えて H₂, N₂, O₂ などの回転励起をまず調べた。当時これら気体中の電子の振舞いに関して

実測とはほぼ合う結果を与える唯一の理論は、電子分子相互作用の漸近形だけを用い Born 近似を適用するというものであった。本来高速衝突でだけ適用可能とされている Born 近似がなぜ低速衝突でも成功しているのか、本研究者はまずその特殊事情を明らかにしたのち、この近似が使えなくなる 0.1 eV 以上の衝突について歪み波近似による計算を実行した。これは後日他の研究者によってさらに詳細な計算が行なわれる契機となった。ついで極性分子の励起についても研究をはじめ⁹⁾、市川行和氏の協力を得て一連の仕事をした¹²⁾。その後米国での測定により、大きな電氣的二重極能率を持つ分子による電子の散乱では、中程度の散乱角で予期に反して Born 近似から著しくはずれることが分かった。本研究者は、Glauber 近似が実測値に近い数値を与えることを見出し^{13,14)}、その後研究室室内で行なわれた断熱近似、緊密結合法などによる計算とともに、この分野の理論研究のさきがけと

なった。

数年前から、イオンと極性分子の衝突を、「歪んだ回転状態」と呼ばれる新しい手法を導入して研究している¹⁷⁾。星間分子雲のような低温気体中の衝突でこの方法がとくに有用である。

衝突過程としては以上のほかにイオンと中性原子の間の電子移動反応の研究がある¹⁸⁾。

以上の研究に加えて、他の研究者による実験測定・理論計算の結果を多量に収集し、多くの文献リストを作成して国内外の研究者に提供してきた。本研究自身はこれらの豊富な資料を利用して、星間気体中のエネルギー・バランスや分子生成^{19~22)}、電離層にある電子のエネルギー分布やそれに関連する諸問題^{23,24)}の解明に努めてきた。

発表論文

- 1) K. Takayanagi: Prog. Theor. Phys. **8**, No. 5, 497-508 (1952)
- 2) K. Takayanagi: Prog. Theor. Phys. **11**, No. 6, 557-594 (1954)
- 3) K. Takayanagi: Sci. Rep. Saitama University, **A3**, No. 2, 65-86, 87-100 (1959)
- 4) K. Takayanagi: Prog. Theor. Phys. Suppl. No. 25, 1-98 (1963)
- 5) K. Takayanagi: Adv. Atom. Mol. Phys. (Academic Press) Vol. 1, 149-194 (1965)
- 6) H. Shimamura and K. Takayanagi: Inst. Space & Aeronaut. Sci. Report **36**, No. 12, 327-341 (1971)
- 7) K. Takayanagi: Modern Developments in Shock Tube Research (Proc. 10th International Shock Tube Symposium) G. Kamimoto, ed. (Shock Tube Res. Soc. Japan) 67-77 (1975)
- 8) K. Takayanagi and S. Geltman: Phys. Rev. **138**, No. 4, A 1003-1010 (1965)
- 9) K. Takayanagi: J. Phys. Soc. Japan **21**, No. 3, 507-514 (1966)
- 10) K. Takayanagi: Prog. Theor. Phys. Suppl. No. 40, 216-248 (1967)
- 11) K. Takayanagi: J. Phys. Soc. Japan **28**, No. 6, 1527-1535 (1970)
- 12) K. Takayanagi and Y. Itikawa: Adv. Atom. Mol. Phys. (Academic Press) Vol. 6, 105-153 (1970)
- 13) K. Takayanagi: Prog. Theor. Phys. **52**, No. 1, 337-339 (1974)
- 14) O. Ashihara, I. Shimamura and K. Takayanagi: J. Phys. Soc. Japan **38**, No. 6, 1732-1741 (1975)
- 15) K. Takayanagi: Atomic Physics Vol. 4 (Proc. 4th International Conf. on Atomic Physics) G. zu Putlitz, E.W. Weber and A. Winnacker, eds. (Plenum Press), 435-447 (1975)
- 16) K. Takayanagi: The Physics of Electronic and Atomic Collisions (Invited Papers of the 9th International Conf. on the Physics of Electronic and Atomic Collisions) J.S. Risley and R. Geballe, eds. (Univ. Washington Press) 219-230 (1976)
- 17) K. Takayanagi: J. Phys. Soc. Japan **45**, No. 3, 976-985 (1978)
- 18) K. Takayanagi: Sci. Rep. Saitama University, **A2**, No. 1, 33-47 (1955)
- 19) K. Takayanagi and S. Nishimura: Publ. Astron. Soc. Japan **12**, No. 1, 77-105 (1960)
- 20) S. Hayakawa, S. Nishimura and K. Takayanagi: Publ. Astron. Soc. Japan **13**, No. 2, 184-206 (1961)
- 21) K. Takayanagi and Y. Itikawa: Publ. Astron. Soc. Japan **20**, No. 4, 376-384 (1968)
- 22) K. Takayanagi: Publ. Astron. Soc. Japan **25**, No. 3, 327-348 (1973)
- 23) K. Takayanagi and Y. Itikawa: Space Science Reviews **11**, No. 2/3, 380-450 (1970)
- 24) O. Ashihara and K. Takayanagi: Planet. Space Sci. **22**, No. 8, 1201-1217 (1974)