



極低温氷表面での水素原子トンネル拡散を初めて観測

研究成果のポイント

- ・ 極低温の氷表面を水素原子がトンネル拡散することを初めて実証。
- ・ 宇宙に浮遊する氷微粒子表面上の水素原子の振る舞いが明らかに。
- ・ 重水素原子と水素原子の拡散速度を比較する新しい実験手法を確立。

研究成果の概要

宇宙に浮遊する氷微粒子上では、真空中から付着した水素原子が氷表面を動き回り、他の原子や分子と衝突して有機分子を含む多様な分子を生成していると考えられています。極低温の宇宙環境下では、水素原子は極低温特有の量子トンネル効果（粒子の波の性質が顕著になり、エネルギーの壁をすり抜ける現象）によって、氷表面を通常よりも格段に速く動き回る（トンネル拡散する）ことが理論的に予想されています。しかし、実験の困難さゆえ、それを実証した研究は行われていませんでした。本研究では、これまでにない新しい手法により、このトンネル拡散を初めて実験的に観測することに成功しました。

論文発表の概要

研究論文名：Signatures of quantum-tunneling diffusion of hydrogen atoms on water ice at 10 K (10K の極低温氷表面における水素原子のトンネル拡散の実証)

著者：桑畑 和明, 羽馬 哲也, 香内 晃, 渡部 直樹 (北海道大学)

公表雑誌：Physical Review Letters (American Physical Society)

公表日：米国東部時間 2015 年 9 月 23 日 (水) (オンライン公開)

研究成果の概要

(背景)

水素原子は宇宙でもっとも存在量の多い原子で、宇宙における多くの分子生成に関与しています。特に、宇宙の極低温環境に浮遊する氷微粒子上では水素原子が氷表面を拡散し、他の物質と衝突・反応して水素、水、有機分子等を生成していると考えられています。しかし、これら分子生成の前段となる、「水素原子がどのようなメカニズムで氷表面を拡散するか」は未解明でした。従来から、水素原子は量子力学的な効果により、極低温氷表面の温度から推定される通常の拡散よりも格段に速いトンネル拡散で動き回ることが理論的に予想されていましたが、実験が困難なため実証には至っていま

せんでした。本研究では2種類のレーザーを用いたこれまでにない新しい実験手法で、水素原子が極低温氷表面をトンネル拡散していることを初めて観測することに成功しました。

(研究手法)

実験では、氷表面に付着した原子は拡散したのちに他の水素原子と出会い分子化（水素分子生成：原子ではなくなる）し、その数を減らします。したがって、氷表面の原子の数を測定することにより原子の表面拡散の情報が得られます。低温科学研究所では、独自に開発した実験装置内（図1）に宇宙に浮遊する極低温（-263℃）氷微粒子表面を再現し、そこへ水素原子もしくはその同位体原子（重水素原子）を付着させました。表面上の原子を一つめのレーザーで蒸発させ、蒸発してきた原子を、別のレーザーを用いて分析検出することにより原子の数を測定しました。水素原子のトンネル拡散は質量の重い重水素原子の拡散と比較して2桁程度速いことが予想されていましたが、本実験ではその顕著な差を実測することに成功しました。

(研究成果)

極低温の氷表面では、水素原子がトンネル拡散により通常よりも格段に速く拡散することがわかりました。さらに、拡散のメカニズムは氷表面の構造に大きく依存し、構造に大きなゆがみがある部分ではトンネル拡散せず、通常の拡散をすることがわかりました。実際の宇宙空間の氷微粒子表面は単一の構造ではなく、平坦な部分やゆがみのある部分が共存しています。水素原子はその表面を素早いトンネル拡散と通常の拡散を交互に繰り返しながら動き回り、最終的に反応する相手にたどり着くこととなります（図2）。

(今後への期待)

宇宙の氷微粒子表面では、酸素や炭素原子も多くの分子生成に関わっています。これらの原子が氷表面をどのように動くかも未解明のままです。本研究の実験手法を用いれば、これらの原子の振る舞いも明らかになることが期待されます。こうした基礎過程の詳細な研究の積み重ねにより、宇宙における分子の生成・進化の全容解明に迫ることができます。

お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学低温科学研究所 教授 渡部 直樹（わたなべ なおき）

TEL：011-706-5501 FAX：011-706-7142 E-mail：watanabe@lowtem.hokudai.ac.jp

ホームページ：<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/>

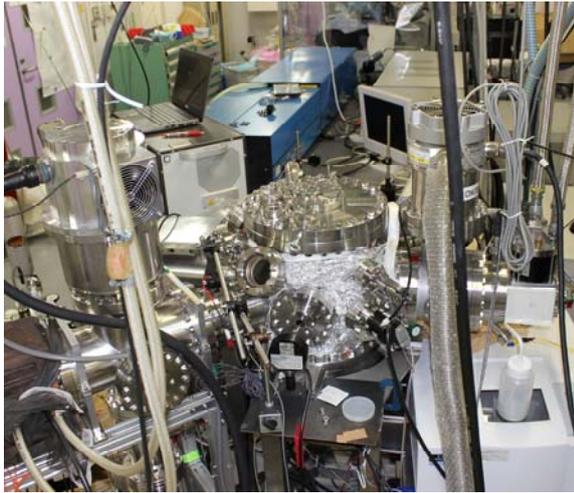


図1 低温科学研究所で開発し，本研究に用いた実験装置

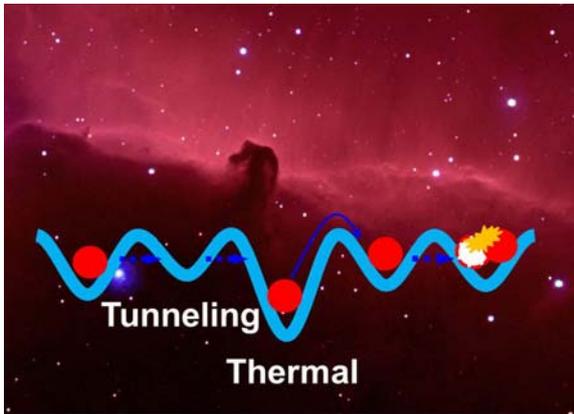


図2 水素原子が氷微粒子表面を，トンネル拡散と通常の熱的拡散を繰り返して移動し，反応パートナーと出会う様子を模式化したイメージ図。水色の波線が氷表面。赤丸は水素原子，青破線はトンネル拡散，青実線は通常の拡散をそれぞれ意味する。