

Title	液体酸素を透明にする?
Author(s)	植田, 千秋
Citation	大阪大学低温センターだより. 1985, 51, p. 8-11
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/11678
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

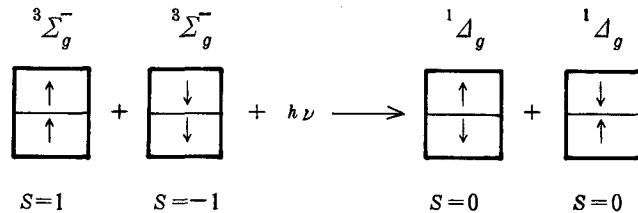
Osaka University

液体酸素を透明にする？

理 学 部 植 田 千 秋 (豊中4157)*

単体酸素 O_2 は、液体や固体の様な濃縮した状態では、淡いスカイブルー色を呈する事が古くから知られている。このスカイブルー色が、強い外磁場の作用により、透明化されるという新しい現象を見出す事に成功したので簡単に報告する。¹⁾

酸素分子 O_2 の電子の基底状態は ${}^3\Sigma_g^-$ で、分子1個当たり $2\mu_B$ の磁気モーメントを有しているが、このモーメントは、 ${}^3\Sigma_g^-$ と第一励起状態 ${}^1\Delta_g$ の間のエネルギー差が十分に大きいことから、室温に至るまで極めて安定である。液体及び固体酸素が淡い青色を呈するのは、この基底状態 ${}^3\Sigma_g^-$ の分子2個がペアを作り、フォトン1個を吸収して ${}^1\Delta_g$ のペアに励起する、いわゆる二分子遷移が原因であるとされている。²⁾



$$\lambda_1 = 6290 \text{ \AA} \quad (\text{振動モード不変})$$

$$\lambda_2 = 5760 \text{ \AA} \quad (\text{振動モード: } +1)$$

つまり、この遷移による線幅の広い吸収スペクトルが「赤色」の領域(λ_1)と「黄色」の領域(λ_2)に1本ずつ存在するため、液体酸素を透過する光からこれらの色が抜けて、液体は青色を呈するわけである。

今、上の式において、分子ペアの total spin に注目すると、まず励起状態のペアは ${}^1\Delta_g \cdot {}^1\Delta_g$ の組合せであるから、total spin はゼロである。ところで、角運動量保存則に従うなら、遷移の前後で total spin は保存されなければならないから、当然、基底状態の total spin もゼロでなければならない。即ち、遷移にあずかる基底状態のペアは、例えば、上の図の様に各分子の spin $S=1$ が互いに反平行にカップルしたものでなければならない事になる。

もし今、この系に一定方向の外磁場をかけて行くなら、磁場の増大と共に磁場方向のスピン分布が増加し、ために、上に述べた様な反平行スピンをもつカップリングのペアの数は減少するだろう。その結果、吸収スペクトルの強度は弱まり、液体酸素のブルーは透明に近づくことになる。

液体酸素の帯磁率等から計算すると、大体2MOe位の外磁場で、スピンはほぼ完全に磁場方向にそろってしまい、二分子遷移にあずかる基底状態のペア数はゼロとなり、青色は完全に消失する。また、液体酸素の帯磁率がキュリー・ワイス則に従って、沸点90Kから凝固点54Kの間で、約2倍近く変化

する事からこの効果にもかなり大きな温度変化が期待できる。

上に述べた現象の有無を検証するために、阪大強磁場のパルスマグネットを用いて、まずはじめに、光源としてHe-Ne レーザーのビームを使った実験を行なった。He-Ne レーザーの波長(6328Å)は液体酸素の赤色の吸収スペクトルのpeak($\lambda_1=6290\text{\AA}$)に充分近いので、強度一定のレーザー光を液体酸素中に透過させ、その強度の磁場変化を見る事で、この効果の有無は充分確認できる。サンプルの液体酸素は純度99.9%の標準O₂ガスを液体窒素中で液化させて作り、測定中もその中で保存した。さらに温度変化を見る測定では、液体窒素をpumpingして温度を下げた。サンプルは図2の様にパルスマグネットの磁場中心にセットし、サンプルの長さは磁場の不均一性が1%以内である領域にサンプルが収まるよう10mmとした。

測定の結果、透過光の強度(図3:上方のカーブ)は、パルス磁場の時間変化(図3:下方のカーブ)に追従して明らかな増加を示す事が確認された。図3は、77Kでの測定であるが、最高磁場 $H_{max}=366\text{kOe}$

において、透過光の強度 I はゼロ磁場の時に比べて、約20%近い増加を示している。透過光の増加は吸収スペクトルの減少を意味するので、これにより青色の消失効果は確認された事になる。なお、磁

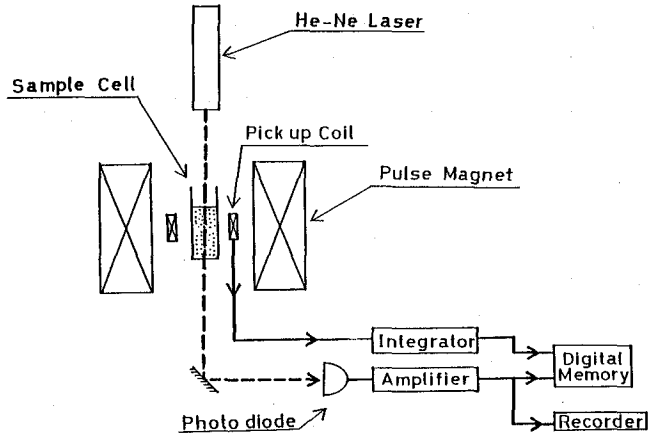


図2. He-Ne レーザーによる検証実験のための測定装置

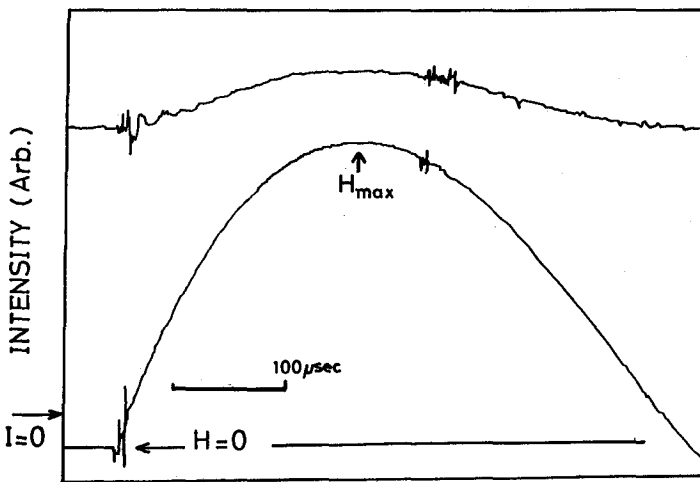


図3. He-Ne レーザーの透過光強度及び磁場の時間変化。縦軸は透過光強度を表す。

場強度と光の強度の対応は、パルス磁場の上りと下りでよく一致しており、誤差範囲を越えるヒステリシスは観測されなかった。

この測定を磁場の強さ及びサンプルの温度をかえて行なった結果液体酸素の赤色吸収スペクトル($\lambda_1=6290\text{\AA}$)の吸収強度は、図4の様な磁場依存性を示した。¹⁾ 図は横軸が磁場強度、縦軸はスペクトルの吸収強度をゼロ磁場の値でnormalizeしたものである。先に予測したように、温度が77Kから58Kに下がると帯磁率の増大を反映して、吸収強度の減り方の度合も急激になる事がわかる。

図中の点線は各々の温度でのゼロ磁場帯磁率に基づいて計算した曲線であるが、少なくとも今回測定した磁場強度の範囲では実験とよい一致を示している。

さて、これまで見てきたHe-Neレーザーによる測定は、ブロードな吸収スペクトルのいわばごく一部分の変化のみを追いかけたわけだが、次の段階として、今度はスペクトル全体の line shape が磁場によりどう変化しているのか観測を試みた。測定装置は、光源をXeランプの白色光に置きかえた他は、図2のシステムをそのまま流用した。なお、スペクトルの検出及びデータ処理は阪大強磁場の光測定システムを使って行った。³⁾ この測定では、赤色と黄色両方の吸収スペクトルについても強磁場をかけた場合に、吸収強度が減少している事が明らかとなった。なお、スペクトルの外磁場によるエネルギーシフト等は、少なくともこの磁場強度では観測されなかった。

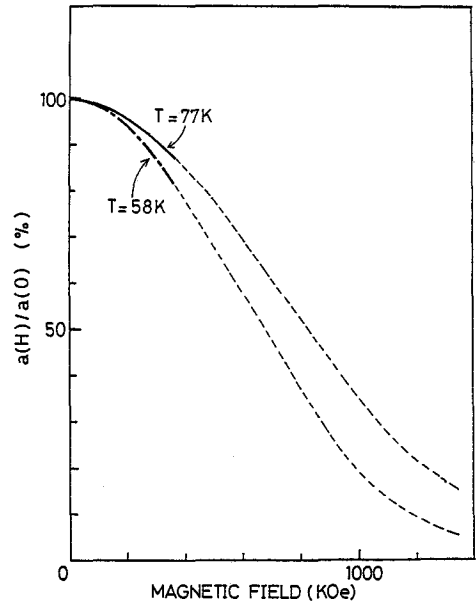


図4. 吸収スペクトル強度の磁場依存性

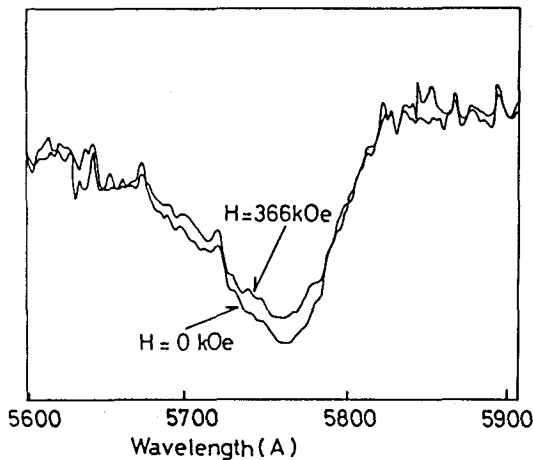


図5. 吸収スペクトル ($\lambda_2 = 5760 \text{ \AA}$) 全体の磁場変化

付記

文献2)にあるように、今から10年近く前に基礎工学部の中村伝先生が本誌に「液体酸素はなぜ青い？」という題の一文をお書きになりましたが、今回の透明化の効果は、実は、この一文をめぐる伊達先生と雑談している際に、ひょっこり見出されたものです。難しい話について行くのが大変苦手な筆者

にとって、中村先生の簡明な文章と特にスピン状態の変化を示した直観的な図式は、大変わかりやすく、ありがたいものでした。文末を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 植田千秋、山岸昭雄、伊達宗行：日本物理学会第40回年会予稿集 3 (1985) P. 253.
- 2) 中村 伝：本誌 №14 (1976) P. 1.
- 3) 堀 秀信：本誌 №37 (1982) P. 10.

*) 現在、教養部(豊中 5305)