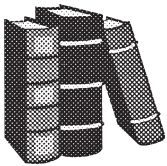


書評



Fast Light, Slow Light and Left-Handed Light

by P. W. MILONNI

Institute of Physics Publishing (Bristol and Philadelphia), 2005

(ISBN 0750309261)

本書は表題にある通り、速い光、遅い光、左利きの光についての三題断で、異常分散の真っ只中を通過する光の異常な振る舞いを論じたものである。

速い光とは超光速で走る光を意味し、実用的な興味よりも、真空中の光速 c を超えられないという相対論的因果律が破られるという、概念的な面白さで注目されている。超光速伝搬では吸収で波形が変わってしまうという議論があるが、ガウス関数形を保ちつつ群速度が c を超える例があり、単純な理屈で片付く問題ではない。本書では、群速度が無限大や負になる場合も含めて速い光と呼んでいる。群速度が無限大になると、媒質の一方の端にパルスが入射すると同時に、他端からパルスが出てくる。このような現象は、全反射で生じたエバネセント波が空気間隙を通過するとき観測される。また、群速度が負になると、パルスが媒質に入射する以前に、射出光が反対側から出てこなくてはつじつまが合わない。こんな奇妙な現象が実際に起こるが、しかし相対論的因果律を破ることはない。それは、信号の定義にかかわってくるのであるが、光が超光速で走っても、信号が超光速で伝わるわけではないことを著者は論証してゆく。この話は評者に孫悟空の有名な逸話を思い出させる。孫悟空の乗る筋斗雲は超光速で飛ぶことができる。しかしそれはあくまでお釈迦様の掌の上で許されるのであり、決してそこから飛び出すことはできない。

3章では、速い光に関するいくつかの量子力学的な問題が取り上げられる。そのひとつが Fermi の問題である。2つの原子が r だけ離れて真空中に置かれている。これは光源と検出器の最も単純化されたモデルである。さて、時刻 $t=0$ に第1の原子は励起状態に、第2の原子は基底状態にある。時刻 t に励起状態が入れ替わる確率を計算すると $t < r/c$ でゼロになるだろうか。この問題のポイントは、波動方程式の解から因果律を破る先進波を合理的に排除できるかということにある。著者の言い分は、光電場の演算子はちゃんと因果律を満たす。しかし、これを正と負の周波数成分に分けると、途端に因果律を満たさなくなるから、注意深く計算しなさいということのようである。本

章ではそのほか、EPR 量子相関を用いた瞬間遠隔通信が不可能なことなど、興味深い話題が議論される。本章を評者なりにまとめると「量子力学は相対論的因果律を救う」。

5章では遅い光を扱う。遅い光については、原理的な困難はない。分散を大きくして群速度を小さくし、かつ吸収も抑えるためのアイデアに面白さがある。ここで扱うのは、1つの上準位に2つの下準位が結合した系に、遷移に共鳴した光（結合光）を照射したときに、プローブ光が吸収されなくなる電磁誘導透明化（EIT）の現象である。吸収が極小になる周波数で遅い光が実現する。続く6章のテーマは、止まった光である。やはり EIT の構成で結合光を時間的に制御すると、光の情報を一度物質系に転写し、後で読み出すことが可能になる。

最後の2章では、負の屈折率媒質が扱われる。誘電率と透磁率が同時に負になると、屈折率も負になる。このような媒質中を伝搬する光の電場、磁場、波動ベクトルは、この順に左手系をなす。この意味で、負屈折率媒質中の光を左利きの光と呼ぶ。7章で、左利きの光のいろいろな性質、例えば、ドップラー効果やチェレンコフ効果の符号が通常の場合と変わることなどが論じられる。さらに、負屈折率媒質でできた平行な板が結像性能をもつことや、比誘電率と比透磁率が -1 になる媒質では、エバネセント波が増幅され、結果的に波長以下の分解能をもつ完全結像が実現することなど、結像系に使ったときの特異な性質が論じられる。8章は、負の屈折率を実現する人工物質、いわゆるメタマテリアルについての紹介である。プラズマの誘電率が負になることはよく知られている。透磁率を負にする構造として、スプリットリング共振器が提案され、これが現在の負屈折率ブームの火をつけたわけであるが、これについての議論が中心となっている。

本書は、現代光学の中で特異な位置を占める、極端に分散の大きな媒質中の光の伝搬を、要領よくまとめた良書である。内容は大学院生や専門家向けで、電磁気学や量子力学についてのある程度の予備知識が要求される。

(東京大学生産技術研究所 黒田和男)