

可視化による高校生向け量子力学教材

稲垣知宏、中村純、山根阿樹、伊藤亮平（広島大）、Bernd Thaller（Graz 大）

量子力学によって記述される物理現象を多くの高校生に理解してもらうにはどのようなやり方が適当でしょうか。高等学校の初年度で学習する数学までを前提知識とし、三角関数等は利用することにします。重要なのは用いた数式の物理的な意味です。用いた数式を数値的に処理し、その結果を可視化、アニメーション化、もしくはインタラクティブなコンテンツによって表現することで、容易に数値的な特徴を読み取ることができます。ここでは、基本的な波と粒子の性質について、それを表現する数式とその数値的な特徴を読み取る事から始めていき、量子力学で記述される光と電子の振る舞いの特徴を物理的に理解するための教材作成を目指しました。

量子力学を学ぶ

現代技術の基礎にもなりつつあるミクロな世界の力学は量子力学で記述されます。ニュートン力学は量子力学に現れるプランク定数をゼロとした極限で成立するマクロな世界の力学です。

トランジスタ、ナノテクノロジー、超伝導、化学反応、物質設計の基礎となる量子力学を現代人の基礎知識として広く学ぶべきではないでしょうか？

従来の量子力学教育

数学の言葉を用いて、

$$i\hbar \frac{d\psi}{dt} = H\psi \quad H = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\vec{x})$$

といった形で表現される理論を専門家以外に分かれというのは困難です。

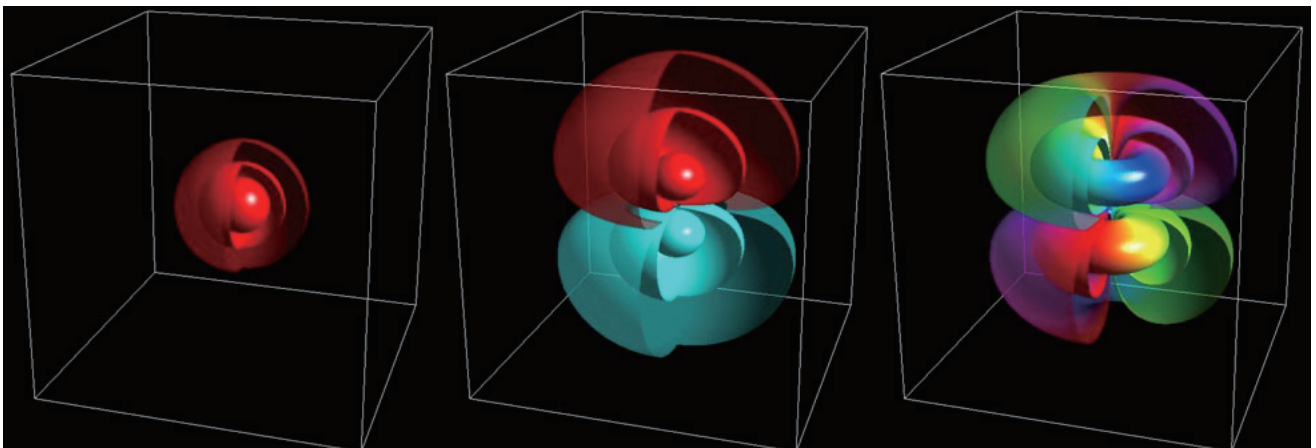
特に複素数で表される波動関数はなかなかイメージできません。

量子力学で描かれる光と電子の振る舞いというのはいささか複雑です。この複雑な振る舞いを数学的にどのように表現するのか？それが問題です。

量子力学教材

本教材ではオーストリアでの実践例に倣い、複素数の持つ二つの自由度、大きさと位相、のそれぞれを色合い、明度に対応させるカラーマップを利用することで、通常複素数で表される波動関数の振る舞いを色と明るさで表現しました。また、QuickTimeムービー、もしくはFlashコンテンツとして波動関数の時間変化の様子を描きました。

日本の高校生が本教材で量子力学をどこまで理解利用できるかについての検証は今後の課題です。

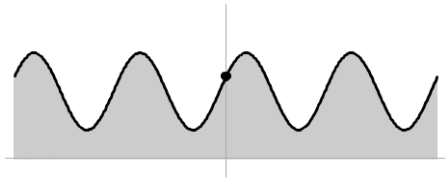


水素原子中の電子の波動関数に対するカラーマップの例

可視化の方法

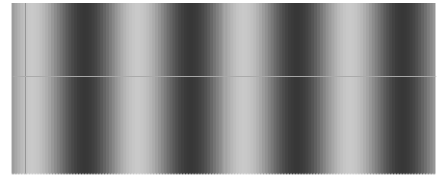
1次元の波の可視化

波の振幅を線グラフで可視化します。



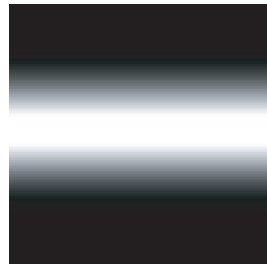
2次元の波の可視化

波の振幅、もしくは強度をグレーの濃淡で可視化します。



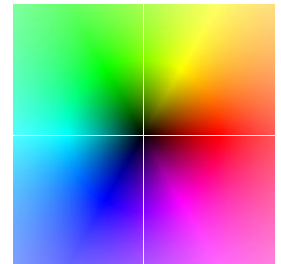
粒子ビームの可視化

粒子数密度、もしくは運動量密度をグレーの濃淡で可視化します。



複素数の可視化

粒子ビームの中の粒子の運動は波として記述されます。いつでも、この波は2つの値で記述される2次元の波です。この波としての性質を可視化するために色を使います。位相→色合い、大きさ→明度



学習内容の例

1. 波と粒子ビーム

光の流れにおいてはまず波としての性質が、電子のビームにおいてはまず粒子としての性質が現れます！！

今日において、電子だけでなく光子も粒子として記述されます。また、その力学的な運動は波の広がりによって記述されます。

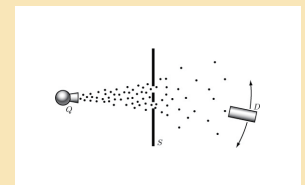
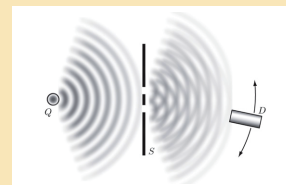


2. ダブルスリット実験

この実験の目的は、個々のスリットから出てくる二つの波相互の影響（干渉）を見ることです。

波の場合：

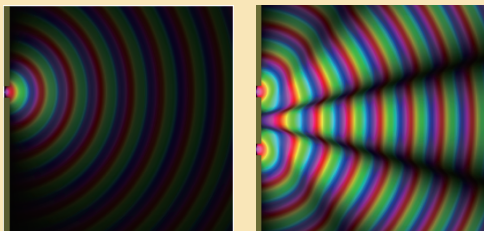
粒子ビームの場合：



波の場合の波長依存性と粒子の場合の運動量依存性を比べてみましょう。

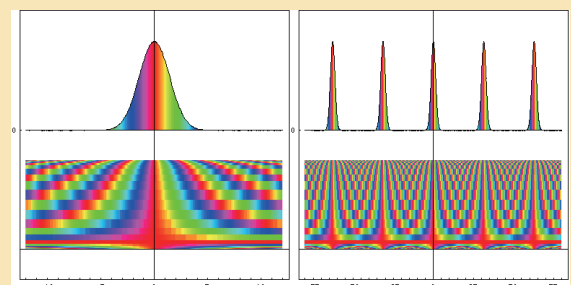
3. 波と粒子の二重性

同じ光源からの複数の粒子ビームが重なると干渉模様が 발생합니다。これを説明するには“波ではない”粒子密度を示す量と干渉を発生させる波の性質を持つ量が必要です。



4. 波束の運動

異なる波長を持つ数多くの平面波の干渉によって、空間的にははっきりと局在化した波の山が発生します。



関連サイト

量子力学教材サイト（ドイツ語）
ePhysics 教材サイト

<http://vqm.uni-graz.at/qms/>
<http://www.riise.hiroshima-u.ac.jp/ePhysics>