

論文審査の結果の要旨

博士後期課程 先端融合科学専攻

オプティクスバイオデザインプログラム

氏名 Luis Alejandro Garza Soto

幾何学的位相は1956年に初めて発見され、それを記述するために多くの数学的モデルが開発されたが、それを記述する物理的モデルは存在しなかった。つまり、幾何学的位相がどのように作られ、どのように変化していくかを示す図面を描画する方法がなかった。博士後期課程でガルサ・ソト氏は、この分野で従来使用されていた複雑な数学を、幾何学的位相の物理モデルに変換する方法を発見した。このモデルはこの種のものとしては初めてであるだけでなく、非常にシンプルで、複雑な数式が不要であることを示している。このモデルは、複数の波が結合するときに生じる波のピークの予期せぬシフトから、幾何学的位相がどのように生成されるかを示している。

本論文の第1章では、内容の要約と、幾何学的位相に関する既存の理論の背景を述べる。

第2章では、光の偏光変化を計算するための代数についてまとめている。この代数は論文全体を通して使用される。

第3章では、幾何学的位相に関する既存の文献をレビューし、新しい物理モデルの背景を説明する。

第4章では、本論文の最も重要な成果である、波の加算によって幾何学的位相がどのように生じるかについての解析を行う。この章では、複数の波が加算されたときに生じる波のピークを見つける方法を示す。これは、すべての波が同一平面上にある場合には簡単であるが、互いに直交する方向に振動する波を加える場合には、適切に行うための慎重な解析が必要である。この章では引き続き、この簡易モデルと既存の計算方法との比較を示し、結果が正確に一致することを実証する。最後に、この章は、干渉波の幾何学的位相は、波の測定に使われる干渉計から得られる位相とは全く同じものではないことを示すことで締めくくられる。これは、幾何学的位相に関する既存の文献において、混乱を招く問題であった。ここでは、ある条件下でのみ、干渉計の測定が波の幾何学的位相と一致することを示している。

第5章では、1956年にパンチャラトナムによって書かれたオリジナルの論文を、現代的なアプローチ、改良された図、より明確な文章を用いて分析している。その目的は、幾何学的位相の最初の発見者たちが、物理的モデルの洞察力を持たずに、いかにして正しい数学的モデルを見出したかを明らかにすることである。この1956年の論文は2000回以上引用されているが、難解な文体のため、実際に論文を熟読した人はほとんどいない。ここで示す説明は、パンチャラトナムの仕事をより親しみやすくし、幾何学的位相を発見するために彼が行った正確な手順を示し、またパンチャラトナムの仕事が文献の中でいかに広く誤解されているかを示している。

第6章では、幾何学的位相と、より広く理解されている「伝播位相」との違いを強調するために設計された一連の実験について述べる。幾何学的位相の新しい物理モデルを利用することで、これらの実験は、幾何学的位相の文献における謎の一つを解くことに成功した。幾何学的位相は無制限（すなわち、無制限にどんな値でも取り得る）なのか、それとも限定的（すなわち、 $-\pi$ と $+\pi$ の間の値に限定される）なのか、ということである。この質問に対する答えは、理論的にも実験的にも、見かけほど簡単ではなく、解析の結果、答えは実際には位相規則の選択に依存することがわかった。

第7章では、得られた結果をまとめ、この分野の理解を深めるための重要性について論じる。

学位論文の公聴会は、2024年1月25日に宇都宮大学陽東キャンパスにて開催され、全委員と数名の一般社会人が出席した。公聴会終了後、学位審査委員会において学位論文の内容について審議が行われ、本論文は新規性があり、研究価値が高く、学術界に貢献するものであると認められた。よって、本論文は博士の学位を授与するに値するものと認められた。