



Title	超ポンドラモーティブ力によるプラズマバブル中でのエキゾチック現象
Author(s)	矢野, 将寛
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76557
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (矢 野 将 寛)

論文題名

超ポンドラモーティブ力によるプラズマバブル中でのエキゾチック現象

論文内容の要旨

本論文では、超高強度のレーザーの強い力、超ポンドラモーティブ力、によってプラズマ中に生じたバブルの中で、これまでの強度のレーザープラズマ相互作用では見られなかったエキゾチックな物理現象を解明することを目的とし、レーザーとプラズマの相互作用における時空の歪みの観測可能性と新しい加速メカニズムによる高エネルギーイオン加速を研究した。

第1章は、序論であり本研究の背景として相互作用におけるエキゾチックな現象に関する研究の概要と、時空の歪みの効果を調べることで、高エネルギーイオンを生成することの意義について述べた。

第2章では、加速度場によって仮想的に時空が歪む可能性について述べた。時空が歪むことでブラックホール輻射に似たような現象である、ウンルー効果が生じることを示した。

第3章では、第2章で述べたウンルー効果を感じる電子による光の散乱がどのように影響を受けるか計算した。理想的な状態で、理論式からウンルー効果を観測するには、どれくらいのレーザー強度が必要か、どのようなプラズマを用いるのが良いのか、どのような実験設計をすればよいか検討した。

第4章では、超高強度レーザーパルスの非相対論的臨界密度より低密度なプラズマ中でのふるまいをPIC シミュレーションで研究した。パルス伝搬ダイナミクス、イオンダイナミクス、輻射減衰の効果などを包括的に研究した。また、ウンルー効果を観測するために必要な条件をもつ電子バンチが生成されるか調べた。

第5章では、超高強度レーザーパルスの非相対論的臨界密度を超える高密度プラズマ中でのふるまいをPIC シミュレーションで研究した。パルス伝搬ダイナミクスにおける相対論的透過性とホールボーリングの影響と、イオン加速について包括的に研究した。レーザーの超ポンドラモーティブ力によってイオンが直接加速され、イオンがプラズマ波の加速フェーズに入射されて20 GeV まで加速されるような新しいイオン加速メカニズムを発見した。

以上、超ポンドラモーティブ力によるプラズマバブル中でのエキゾチック現象である、超高強度レーザーとプラズマの相互作用における時空の歪みの観測可能性と、新しいイオン加速メカニズムによる20 GeV 級の高エネルギーイオン発生を調べた。前者では高強度レーザーとプラズマを用いたウンルー効果の実証提案をした。超高強度レーザーと非相対論的臨界密度より低密度なプラズマ相互作用によって時空の効果を検出するために必要な電子群を発生することができた。後者では、非相対論的臨界密度を超える高密度プラズマとの相互作用において、背景イオンのクーロン爆発とレーザーの直接加速によって、プラズマ波前方の加速フェーズへイオンが入射されることで、20 GeV の高エネルギーイオンを発生することが分かった。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (矢 野 将 寛)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教授	兒玉 了祐
	副 査	教授	上田 良夫
	副 査	教授	蔵満 康浩
	副 査	教授	吉村 政志 (レーザー科学研究所)
	副 査	教授	村上 匡且 (レーザー科学研究所)

論文審査の結果の要旨

本論文は、超高強度レーザーによる、極めて強いポンドラモーティブ力によってプラズマ中に生じたバブルの中で、これまでの強度のレーザーとプラズマの相互作用では見られなかった新たな物理現象に着目し、その物理機構の解明と応用を目的としている。具体的には、超高強度レーザーとプラズマとの特異な相互作用における加速度場における時空の歪みに関係する物理現象の1つであるウンルー効果の観測可能性と新しいイオン加速メカニズムを明らかにした。レーザープラズマを利用したウンルー効果の観測に関する従来の理論的研究では、期待される観測スペクトルが加速度場における時空の効果だけなのか、観測に必要な信号量を得ることができるかなどの、実験への適応の面で課題が多く残されていた。本論文では、観測に必要な超高強度レーザー相互作用による定加速度電子群の生成と共に、従来では無視されていた時空の効果以外のノイズや、観測に必要な計測感度を考慮して、より実現可能な実験手法を考案している。さらに、ここで扱う加速度場を利用し、高エネルギーイオンを加速する新たな手法を提案している。これまでのレーザープラズマを用いた粒子加速においては、粒子を多段加速させるにはレーザー強度が低かったため、電子多段加速しか考慮されていなかった。しかし、本手法により、電子より1000倍程度重いイオンを直接加速させて、プラズマの加速位相にイオンを入射しイオン多段加速を実現できることを明らかにしている。

本論文は以下の5章で構成されている。第1章は、序論であり本研究の背景として相互作用における特異な現象に関する研究の概要と、加速度場における時空の歪みの効果を調べることで、レーザープラズマ相互作用を利用したイオン加速の意義について述べている。第2章と第3章では、加速度場によって時空が歪む可能性について述べた。時空が歪むことでブラックホール輻射に似たような現象であるウンルー効果を生じることを示している。さらにウンルー効果を感じる電子による光の散乱がどのように影響を受けるか計算している。理想的な状態でウンルー効果を観測するために必要なレーザーやプラズマのパラメーターを検討している。第4章では、超高強度レーザーパルスの非相対論的臨界密度より低密度なプラズマ中でふるまいをPICシミュレーションで計算し、パルス伝搬ダイナミクス、イオンダイナミクス、輻射減衰の効果などを包括的に研究している。また、ウンルー効果を観測するために必要な条件をもつ電子群が生成されるか調べている。第5章では、超高強度レーザーパルスの非相対論的臨界密度を超える高密度プラズマ中でふるまいをPICシミュレーションで研究している。パルス伝搬ダイナミクスにおける相対論的透過性とホールボーリングの影響と、イオン多段加速について明らかにしている。

本論文の主要な成果は、新たな手法で実験室において一般相対論の等価原理に基づいた加速度場における時空の歪みを観測できる可能性を示したことである。超高強度レーザーをプラズマに照射することで、プラズマ中に極めて大きな一定の加速度を持つ電子群を生成することを示し、その電子群からのトムソン散乱が、加速度場の時空の歪みの情報を持った広がりのあるスペクトルになるという結果を得ている。さらに、本研究で明らかにした加速度場において世界で初めてイオンの多段加速の可能性を示した。従来のレーザー強度では生じなかったイオンの直接加速によってプラズマの加速位相にイオンが入射されることで、多段の加速現象をしていることを明らかにしている。

以上の研究成果は、レーザープラズマ物理学として従来のレーザー強度では見られない新たな物理現象を示しただけでなく、一般相対論における時空の歪みという基礎物理学や効率的なイオン加速の新たな技術につながる幅広い知見である。よって、本論文は博士論文として非常に価値あるものであると認める。