



| | |
|--------------|---|
| Title | Theoretical Study of Positron Production by Ultra-Intense Laser |
| Author(s) | 中島, 健一 |
| Citation | 大阪大学, 2004, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/45098 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。 |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

| | |
|------------|--|
| 氏名 | なかしま 健一 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(理学) |
| 学位記番号 | 第 18370 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 16 年 3 月 25 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻 |
| 学位論文名 | Theoretical Study of Positron Production by Ultra-Intense Laser (超高強度レーザーを用いた陽電子生成の理論的研究) |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 高部 英明 (副査) 教授 畠地 宏 教授 高原 文郎 教授 山中 卓 早稲田大学理工学部助教授 山田 章一 |

論文内容の要旨

新規に開発した数値計算コードを用いて超高強度レーザーによる陽電子生成過程について研究を行い、次のような成果が得られた。

- ・ 2つの有用なプラズマシミュレーションコードを開発した。一つは、Particle-in-Cell 法を用いた電磁粒子コードである。二つ目は、相対論的 Fokker-Planck 方程式に基づいた輸送コードである。
- ・ 超高強度レーザーの入射から陽電子生成までの詳細な物理過程を数値シミュレーションを用いて明らかにした。
- ・ 陽電子生成量を最適化するようなターゲットとレーザーの条件を求めた。
- ・ 超高強度レーザーを用いた陽電子源は従来の陽電子源と比較しても遜色無く、将来的には小型で安価な陽電子源と成りうることを示した。

超高強度レーザーを用いることで高強度な陽電子源を作ることが出来ると考えられている。この可能性を詳細に研究するために、超高強度レーザーとプラズマの相互作用を調べる必要がある。このために陽電子生成過程を含む電磁粒子コードを開発した。この電磁粒子コードは数十 μm の狭い領域でおこるレーザープラズマ相互作用を調べるために適している。特に、ターゲット表面に出来るプレフォームド・プラズマ中の高エネルギー電子生成を調べることができる。シミュレーションの結果、プレフォームド・プラズマの大きさが陽電子生成に寄与することが明らかになった。また、高エネルギー電子は Ponderomotive 力やプラズマ波による加速によって生成されることが示された。

生成された高エネルギー電子の高密度プラズマ中の伝搬を記述するために、相対論的 Fokker-Planck 方程式に基づく輸送コードを開発した。このコードは電子、光子、陽電子の輸送を記述し、また制動放射、クーロン散乱、対生成などの物理過程を含んでいる。数値シミュレーションは多くの物理現象が複雑に絡んだ系を記述するのに力を發揮する。数値シミュレーションによって、陽電子生成量を最適化する条件を明らかにした。陽電子生成量は、超高強度レーザーの強度に依存している。最適な強度が 10^{20} W/cm^2 であることを示した。また、陽電子生成量の原子番号や

ターゲットの厚さ、高速電子の閉じ込め効果などについても明らかにした。

これらの結果から、現在利用できる超高強度レーザーを用いて、電子加速器を用いた陽電子生成や、放射性同位体の β^+ 崩壊を利用する従来の陽電子源に匹敵する陽電子源を作ることが出来ることを示した。現在の急速なレーザー技術の発展を考慮すると、これまでに無いコンパクトで安価な陽電子源を実現できるであろう。

論文審査の結果の要旨

近年の高強度レーザー技術の進展はめざましく、レーザー電場は $10 \text{ kV}/\text{\AA}$ にまで達している。このようなレーザーを金などの高 Z 物質に照射することにより量子電磁力学効果により高エネルギー密度の反物質を生成できるまでにいたった。本研究は大きく 3 つの部分よりなる。

- ① 反物質（陽電子）生成の源である、相対論的大電流電子群のレーザーによる生成過程を解明した。そのために電磁場内でのプラズマ粒子の挙動を解析する粒子コードの開発を行った。
- ② 生成された相対論的電子群による陽電子生成の研究のため、電子、ガンマ線、陽電子にたいする運動論的な解析を行うための相対論的輸送コードを開発し、陽電子生成の系統的な研究を行った。
- ③ これらのコードを用い、実際に米国リバモア研で行われた陽電子生成の実験解析を行い、新しい知見を得た。

①の研究については、特に、固体ターゲットに弱いプレ・パルスによる希薄プラズマが存在することによる発生する電子群の特性の変化と、それに伴う、陽電子発生の依存性を明らかにした。その結果、希薄プラズマによる電子のスペクトルの制御により陽電子生成を最適化する指針を明らかにした。

②の研究では、ターゲットの厚さ、材質、レーザー強度などの依存性を調べ、その結果の物理の解釈を行った。結果としてレーザー強度は 10^{21} W/cm^2 程度が最適で、強くしすぎても意味がないことなどを明らかにした。本研究は米国物理学会の刊行誌 (Physics of Plasmas) にすでに掲載されている。

③については実験との比較を行い、レーザー生成陽電子においては、電子群の電流密度が通常の加速器より桁違いに高いため、プラズマ効果による両極性電場の生成が陽電子のエネルギー・スペクトラムの説明に本質的であることを発見した。本結果も投稿予定である。

上記研究内容は世界的に通用する新しい研究成果である。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。