

Title	Radiation Reaction in the Interaction of Ultraintense Laser with Matter and Gamma Ray Source
Author(s)	Ong, Jianfuh
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/59532
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

Abstract of Thesis

Name (ONG JIAN FUH)

Title

Radiation Reaction in the Interaction of Ultraintense Laser with Matter and Gamma Ray Source
(超高強度レーザーと物質の相互作用における輻射減衰とガンマ線源)

Abstract of Thesis

Radiation reaction (RR) force plays an important role in gamma ray production in the interaction of ultraintense laser with relativistic electron beams at the laser intensity beyond 10^{22} W/cm². The relationship between emission spectrum and initial kinetic energy of the electrons at such intensities has not been studied experimentally yet. The energy from both the relativistic electron beams and laser pulse may be converted into the gamma rays. Therefore, the conversion efficiency of energy purely from laser pulse into gamma rays is of great interest. We can use them as an alternative gamma ray source if the conversion efficiency is high enough.

We present the simulation results for the dynamics of an electron in strong laser field by taking into account the effects of RR. We have investigated how the effects of RR affect the emission spectrum and photon number distribution for different laser and electron beam conditions. We found that the peak locations of emission spectra are suppressed for higher initial kinetic energies of the electron interact with a long laser pulse duration.

We have studied the conversion efficiencies of laser energy into gamma ray energy. We found that that an electron with an energy of 40 MeV would convert maximally 80 % of the sum of electromagnetic work and its initial kinetic energy to the radiation energy when interacting with 10 fs laser pulse at the laser intensity of 2×10^{23} W/cm². By using this estimation, a bunch of electrons with the maximum charge of 1 nC at Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) would emit around 0.1 J of energy into gamma ray emission.

The laser field energy depletion can be neglected for a single electron. When considering a realistic electron beam with 10^9 electrons, the laser energy depletion has to be included, and we have to solve Maxwell's equations self-consistently via Particle-in-Cell (PIC) method. For this purpose, we performed three-dimensional PIC simulation by considering the interaction of a pulsed Gaussian beam with a finite size electron beam. We present the simulation results for electron charge density in strong laser field with and without RR. We investigate how the ponderomotive force affects the emission process at laser intensity more than 10^{23} W/cm². When treated self-consistently, however, the conversion efficiency reduces to 8 % due to the laser field energy depletion. This is because the laser field energy reduction is sensitive to the motion perpendicular to the laser beam. As the energy of the electron beam increases, the laser energy reduction is relatively small. We emphasise that to obtain efficient gamma ray production at laser intensity more than 10^{23} W/cm², an electron beam with energy more than 1 GeV is required to reduce the laser energy change. The same requirement is also necessary in order to observe a clear signature of radiation reaction in the radiation spectrum at high power laser facility such as Extreme light Infrastructure (ELI) where the laser intensity is expected to reach the order of 10^{23-26} W/cm².

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (ONG, Jian Fuh)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	保坂 淳
	副 査	教授	久野 良孝
	副 査	教授	村上 匡且
	副 査	准教授	坂和 洋一
	副 査	准教授	Luca Baiotti

論文審査の結果の要旨

数十 MeV の光子（以下 MeV 光子と呼ぶ）は、がん治療で用いられる放射性元素テクネシウムの製造や、長寿命放射性元素の核変換などの分野で重要な役割が期待されている。その生成方法として、電子と高強度レーザーの反応を用いることが考案されている。また、MeV 光子とレーザー光子の非線形量子電磁力学では、真空中における電子対生成の可能性の検討が行われており、本研究の輻射減衰の MeV 光子のスペクトルへの影響の研究が重要になってきている。

本論文で Ong 君は MeV 光子を効率良く生成するための理論的な考察を行った。この問題に取り組むにあたり、まず（1）単一電子とレーザーの系を、続いて（2）多数の電子からなるビームとレーザーの系を自己無撞着に考察し、それぞれ反応により生成される MeV 光子の性質を調べた。

電子とレーザー、すなわち光子との相互作用は、微視的には量子電磁気学におけるコンプトン散乱として記述されるが、現実の状況におけるシミュレーションに用いられるには至っていない。そこで、電磁場中における相対論的な電子運動は古典的に扱うことにした。また量子効果を取り込む方法として、放出される光子のエネルギーが量子化されることを考慮したソコロフの方法を採用した。

（1）においては、まずレーザーとの散乱過程における電子の古典軌道を解析し、入射電子のエネルギー、レーザー強度、レーザーのパルス長などのパラメータの依存性を調べた。その上で、放出される MeV 光子のエネルギースペクトラムと入射エネルギーに対する放出 MeV 光子のエネルギー効率を求めた。そして最も効率良く MeV 光子が放出される条件として、より高エネルギーの電子を用いることが有利であること、そして 1GeV を越える電子で MeV 光子の最大エネルギーが飽和することを明らかにした。

（2）基礎的な反応過程の性質を明らかにしたのちに、 10^9 個からなる現実の電子ビームとレーザーとの反応過程から放出される MeV 光子の性質を、数値シミュレーションによって調べた。多くの電子が関わるため、レーザーパルスのエネルギーが減少する効果を考慮した。その結果、レーザー光圧が MeV 光子放射を阻害することを明らかにした。そして、MeV 光子を効率良く生成するためには、単一電子の場合に比べ、電子の入射エネルギーを十分大きくする必要があることを示した。またその条件のもと生成される光子の数においても、実用上十分な数が得られることを明らかにした。

以上、電子とレーザーの基礎的な反応から、電子ビームの反応による MeV 光子生成過程のシミュレーションを行い、生成される MeV 光子の性質を明らかにした。

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。