

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Institut für Physik

Fachgebiet: Experimentalphysik

Betreuer: PD Dr. Josef Tiggesbäumker
Klara Raspe
(e-mail: klara.raspe@uni-rostock.de)

Ionen- und Elektronenemission bei der Coulombexplosion von massenselektierten Silberclustern

Deutsche Zusammenfassung

Die Untersuchung der Licht-Materie-Wechselwirkung unter Verwendung starker Laserfelder liegt aktuell im Fokus der Wissenschaft. Dabei liefert die Interaktion von Materie auf der Nanometerskala mit kurzen, intensiven Laserpulsen nicht nur fundamentale Einblicke in ultraschnelle Dynamiken, sondern liefert auch Informationen über die nicht-lineare Reaktion von Vielteilchensystemen, unter anderem die Zeitentwicklung eines Nanoplasmas ausgehend von Nanoteilchen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Starkfeldexperimente an Clustern durchgeführt, um die Dynamik dieses Materiezustands zu untersuchen. Dazu wurden experimentelle Methoden weiterentwickelt, um unter definierten Bedingungen, hinsichtlich Laserintensität und Clustergröße, die Elektronen- und Ionenemission aus der Coulombexplosion zu bestimmen. Außerdem wurde eine hochauflösende Diagnostik eingesetzt, um die Teilchenemission energiselektiv und im Falle der Ionenemission zusätzlich ladungszustandsselektiv zu analysieren. Das Ziel dabei ist es, bisherige experimentelle Einschränkungen durch Clustergrößen- und Laserintensitätsverteilungen zu minimieren. Ein besonderes Merkmal ist die Kombination der Ionenfallen-Technik mit der Laser-Cluster-Wechselwirkung unter feldfreien Bedingungen sowie der laserintensitätsselektiven Datenauswertung. Die systematischen Messungen an Silberclustern ($N = 13 - 2869$) erlauben es, erstmals die Nanoplasmodynamik massenselektierter Metallcluster zu studieren und Größeneffekte im Detail herauszuarbeiten. So lassen sich Aussagen über den N -abhängigen Übergang von einem partiellen zu einem vollständig ionisierten Nanoplasma treffen. Durch die laserintensitätsselektive Auswertung von weiteren Messungen an Argonclustern ließ sich außerdem der Übergang von oberflächen- zu volumengetriebener Coulombexplosion identifizieren. Durch den Einsatz der Pump-Probe-Technik werden bei optimaler Pulsverzögerung die Relaxationsprozesse während der Nanoplasmaentwicklung so beeinflusst, dass anhand von Signaturen in den Ionenenergiespektren, Rückschlüsse auf die anfängliche Struktur der Cluster möglich sind. Insgesamt zeigt die Analyse der Ionen- und Elektronenemission den wesentlichen Einfluss der Elektronendynamik und der plasmonverstärkten Energieabsorption auf die Nanoplasmodynamik.

Englische Zusammenfassung

The investigation of light-matter-interactions using strong laser fields is currently in the focus of scientific research. The interaction of matter on the nanometer scale with short, intense laser pulses provides fundamental insights into ultrafast dynamics as well as information about the nonlinear response of many-particle systems, including the time development of a nanoplasma starting from nanoparticles. Within the framework of this work, strong-field experiments were performed on clusters to investigate the dynamics of this state of matter. For this purpose, experimental methods were developed to determine the electron and ion emission from the Coulomb explosion under well-defined conditions, with respect to laser intensity and cluster size. In addition, high-resolving diagnostics were used to analyze the particle emission energy selective and, in case of ion emission, also charge-state selective. The aim is to minimize previous experimental limitations by cluster size and laser intensity distributions. A crucial aspect is the combination of the ion trap technique with the laser-cluster interaction under field-free conditions, as well as laser intensity-selective data analysis. The systematic measurements on silver clusters ($N = 13 - 2869$) allow to study the nanoplasma dynamics of mass-selected metal clusters for the first time and to investigate size effects. This enables conclusions to be drawn about the N -dependent transition from a partially to a fully ionized nanoplasma. Due to the laser intensity-selective analysis of measurements on argon clusters, the transition from surface-driven to volume-driven Coulomb explosion could be identified. By utilizing pump-probe technique, the relaxation processes during nanoplasma expansion are influenced in such a way that signatures in the ion energy spectra allow for inferences about the initial structure of the clusters. Overall, the analysis of ion and electron emission shows the crucial impact of electron dynamics and plasmon-enhanced energy absorption on the nanoplasma dynamics.