

Streszczenie

Zasadniczym celem badań realizowanych w ramach mojej rozprawy doktorskiej (przedstawionej w formie spójnego tematycznie zbioru opublikowanych artykułów) było umożliwienie, na podstawie uzyskanych wyników, opracowania nowych metod diagnostyki plazmy nisko- i wysokotemperaturowej generowanej różnymi sposobami. W przypadku niskotemperaturowej gęstej plazmy propozycja diagnostyki oparta była na wynikach moich przewidywań teoretycznych dla położenia (i kształtów) linii serii K, L i M charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego różnych metali 3d-, 4d- i 4f-elektronowych, wyznaczonych przy użyciu wielokonfiguracyjnej metody Diraca-Focka (MCDF). Diagnostyka ta dotyczyła plazmy produkowanej m.in. w wyniku wyładowań impulsowych (za pomocą diody PFRP, urządzenia PF-1000), przy użyciu laserów dużej mocy oraz generatora promieniowania rentgenowskiego - maszyny Z. W przypadku wysokotemperaturowej rzadkiej plazmy, generowanej w reaktorach termojądrowych typu tokamak, propozycja diagnostyki polegała na dekompozycji rejestrowanych z wysoką zdolnością rozdzielczą widm rentgenowskich serii M wolframu oraz serii L molibdenu na uzyskane teoretycznie przyczynki, będące wynikiem modelowania tych widm dla określonej temperatury i gęstości elektronowej plazmy w ramach modelu kolizyjno-radiacyjnego (CR, *Collisional-Radiative*) przy użyciu pakietu FAC (*Flexible Atomic Code*).

W wyniku moich badań, przedstawionych w serii artykułów uzyskałam precyzyjne informacje o przesunięciach energetycznych i kształtach poszczególnych linii rentgenowskich badanych metali. Stwierdziłam, że stopień jonizacji ciężkich metali w plazmie termicznej wpływa istotnie na zmiany energii charakterystycznych linii rentgenowskich serii K, L i M. Ponadto uzyskałam dla niklu, miedzi i cynku zbiory wzorcowych kształtów emisyjnych widm rentgenowskich serii K, będące wynikiem jonizacji zewnętrznych powłok tych metali. Przy wykorzystaniu pakietu FAC, przeanalizowano m.in. wpływ użycia trzech wariantów modelu CR i stwierdzono, że wszystkie otrzymane widma teoretyczne odtwarzają z dobrą dokładnością emisyjne widmo wolframu zarejestrowane z bardzo dużą zdolnością rozdzielczą na urządzeniu SuperEBIT. Ponadto, opracowywano szczegółowe zbiory widm wzorcowych dla linii rentgenowskich serii M jonów wolframu oraz serii L jonów molibdenu w plazmie. Badania te umożliwiły przeprowadzenie pierwszej wiarygodnej interpretacji widm rentgenowskich zarejestrowanych na tokamaku JET za pomocą spektrometru krystalicznego o bardzo wysokiej zdolności rozdzielczej KX1. Ponadto, opracowano zbiory szczegółowych widm wzorcowych dla linii rentgenowskich serii N, M i L jonów wolframu w szerokim zakresie energii emitowanego promieniowania, ważnym dla rozwijanych nowych metod diagnostyki plazmy na tokamaku WEST. Otrzymane wyniki mogą ukierunkować dalsze badania nad plazmą wytwarzaną w tokamakach nowej generacji (m.in. przyszłymi reaktorami fuzyjnymi DEMO i PROTO, będącymi następcami obecnie budowanego reaktora ITER).

03.11.2016

Ewa Wpolska

Abstract

The main goal of the study realized in the framework of my doctoral dissertation (presented in the form of thematically coherent collection of published articles) was enabling, on the basis of obtained results, to develop new diagnostic methods for low- and high-temperature plasma generated in various sources. In the case of dense low-temperature plasma the diagnostic proposition was based on the results of my theoretical predictions for the positions (and shapes) of the K, L and M x-ray lines of the characteristic x-ray radiation for various 3d-, 4d- and 4f-transition metals, evaluated using the *multiconfiguration Dirac-Fock* (MCDF) method. This diagnostic was focused on the plasma produced, among others, by pulsed discharge (using PFRP diode, PF-1000 plasma focus device), short-pulsed high power lasers and by x-ray generator such as Z-machine. In the case of high-temperature plasma, generated in tokamak-like fusion reactors, the diagnostic proposition was based on the decomposition of registered with high-resolution the M x-ray line spectra for tungsten and L x-ray line spectra for molybdenum, on the obtained theoretical contributions, being a result of modeling these spectra for particular electron temperature and density in the framework of Collisional-Radiative (CR) model using the FAC (*Flexible Atomic Code*) package.

As results of my research, presented in the series of articles I have received the precise information about the ionization energy shifts and shapes of particular x-ray lines for studied metals. I have proved that the ionization degree of heavy metals in thermal plasma significantly affects on the energy changes of the characteristic K, L and M x-ray lines. Moreover, for nickel, copper and zinc I have obtained the sets of predicted shapes of K x-ray emission spectra, being a results of outer-shell electron stripping of these metals. By using the FAC package it has been analyzed among others the impact of use three variants of the CR model and it has been found that the all obtained theoretical spectra reproduce with good accuracy the x-ray emission spectrum of tungsten, registered with high-resolution on the SuperEBIT device. In addition, it has been developed the sets of detailed benchmarks for spectra of M x-ray lines for tungsten ions and L x-ray lines for molybdenum ions in the plasma. These study allowed the first reliable interpretation of x-ray spectra registered by JET tokamak, using a high resolution KX1 crystal spectrometer. Moreover, it has been developed a sets of detailed benchmarks for spectra of N, M and L x-ray tungsten lines in a wide energy range of the emitted radiation, which is important for developing new methods of plasma diagnostics on tokamak WEST. The obtained results can propose direction for further plasma research, generated in new generation tokamaks (among other, the future fusion reactors such as DEMO and PROTO, which are successors of currently building reactor ITER).

03.11.2016

Eve Aeppler