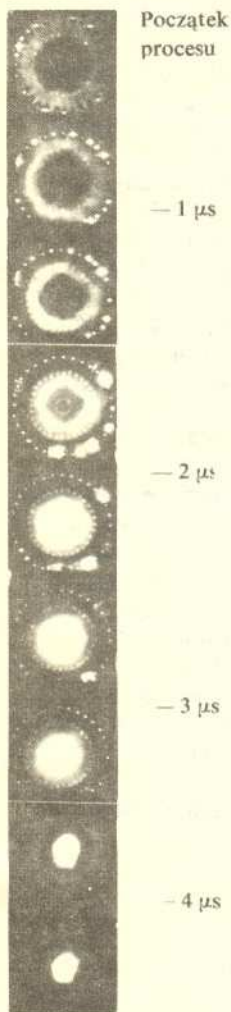
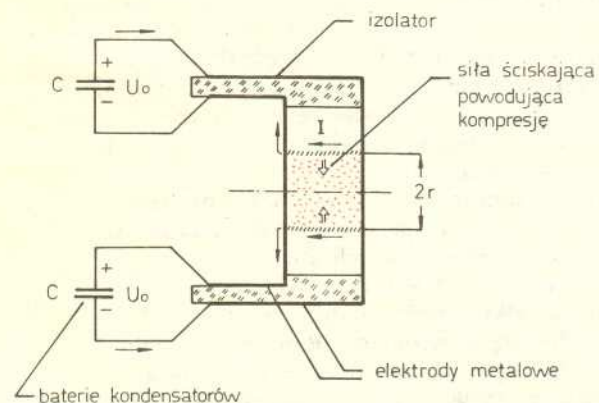


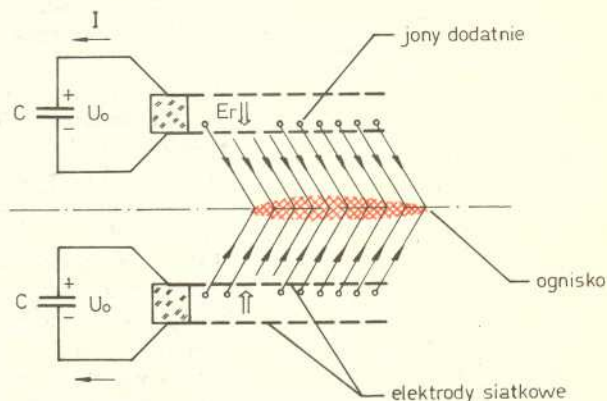
Doc. dr Michał GRZYŃSKI



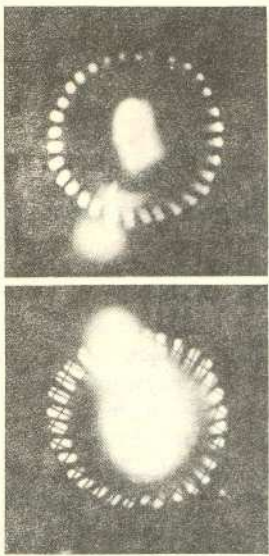
Kolejne fazy tworzenia się ogniska plazmowego (widok wzdłuż osi urządzenia), odpowiadające różnym chwilom (szybkość robienia zdjęć 2 mln. kadrów/s)



Rys. 1. Powszechnie stosowanym sposobem uzyskania gęstej i gorącej plazmy jest samościskanie się sznura plazmowego przewodzącego prąd (siła samościskania się jest proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu promienia sznura $F_{sc} \sim (I/r)^2$)



Rys. 2. Urządzenie do wytwarzania gęstej i gorącej plazmy, skonstruowane w Zakładzie Fizyki Plazmy Wysokotemperaturowej IBJ. Jony przyspieszone radialnie w polu elektrycznym E_r , przechodząc przez wewnętrzną elektrodę siatkową, warunkują powstanie ogniska plazmowego na osi.



Fotografie ogniska plazmowego w świetle promieniowania rentgenowskiego. Oprócz promieniowania rentgenowskiego, pochodzącego z obłoku plazmowego (w pobliżu osi urządzenia), widoczne jest promieniowanie pochodzące z bombardowania elektronami zewnętrznej elektrody siatkowej wykonanej z prętów rozmieszczonych tak, że tworzą powierzchnię cylindryczną (fotografie różnią się grubością filtra aluminiowego, co pozwoliło oszacować temperaturę plazmy na około 2–3 mln. kelwinów)

I tak, bezpośrednim wskaźnikiem dużej energii elektronów (wysokiej temperatury elektronowej) jest obecność promieniowania rentgenowskiego. Istotnie, owinięta w metalowe folie różnej grubości (dla oceny twardości promieniowania rentgenowskiego, a w konsekwencji — energii elektronów) błona fotograficzna uległa zaczernieniu. Z analizy stopnia zaczernienia wynikało, że temperatury elektronowe kształtują się na poziomie kilku milionów kelwinów. Naświetlając błonę fotograficzną poprzez maleńki otworek wykonany w znajdującej się w pewnej odległości osłonie ołowianej (fotografia metoda *camera obscura*) można było uzyskać obraz plazmy w świetle promieniowania rentgenowskiego (patrz zdjęcie obok). Korzystając z układów scyntylacyjnych z fotopowielaczami można było dowiedzieć się o zmianach temperatury elektronowej w czasie. Przy szybko zachodzących procesach — a z takimi mamy do czynienia, gdyż całe zjawisko trwa milionowe części sekundy — nieodzowne jest wykonanie innego typu pomiarów dla określenia temperatury jonowej. Aby wnioskować o temperaturze jonów, obserwowano poszerzenie doplerowskie linii widmowych. Pomiary te wskazywały, że temperatura jonów jest rzędu wielu milionów kelwinów. Obserwacje spektroskopowe pozwoliły zorientować się w wielkości innego ważnego parametru, jakim jest gęstość plazmy. Otóż przy dużych gęstościach plazmy w poszerzeniu linii widmowych zaczyna odgrywać rolę inne zjawisko, tzw. zjawisko Starka. Dokładna analiza konturów linii widmowych wskazywała na znaczny stopień radialnej kumulacji (blisko stukrotny) i tworzenie się ogniska plazmowego o gęstości $\sim 10^{17}$ cząstek/cm³.

Dla precyzyjnego określenia przestrzennych rozkładów gęstości plazmy niezmiernie użyteczna jest interferometria laserowa i sondowanie plazmy wiązkami atomowymi. Dla pełnego rozpoznania procesów zachodzących w plazmie korzystamy z całej gamy jeszcze innych metod diagnostycznych. Powszechnie stosowane są sondy Langmuira, sondy magnetyczne, interferometria mikrofalowa, spektroskopia rentgenowska, analiza promieniowania jądrowego (pomiar neutronowe). Generalnie rzecz biorąc, technika pomiaru parametrów plazmy jest skomplikowana, a zarazem nadzwyczaj interesująca. Każda z przytoczonych metod warta jest poświęcenia jej specjalnego artykułu. Do niektórych z nich, jak też i innych prac prowadzonych w Zakładzie — takich, jak na przykład wytwarzanie supergęstej plazmy w eksperymencie *Plasma Focus* czy utrzymywanie plazmy w pułapkach magnetycznych — powrócimy jeszcze na łamach «Denty».

Ciężkie jony

Dr Krystyna SIWEK-WILCZYŃSKA

Terminem „ciężkie jony” przyjęto nazywać zjonizowane atomy pierwiastków cięższych od helu (a więc o liczbie atomowej $Z > 2$), przyśpieszane do stosunkowo wysokich energii; atomy te wykorzystuje się do bombardowania jąder atomowych. Popularnie stosowana nazwa „reakcje z ciężkimi jonami” oznacza więc reakcje pomiędzy wielonukleonowymi układami będącymi jądrami atomów.

Początek kariery ciężkich jonów datuje się na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych. Skonstruowano wówczas pierwsze akceleratory wielokrotnie zjonizowanych atomów — w ZSRR (Dubna) i USA (Berkeley). Potrzeba przyśpieszania pocisków cięższych od ⁴He wynikała w związku z próbami sztucznego wytworzenia nie istniejących w stanie naturalnym pierwiastków o liczbach atomowych $Z > 92$ (zwanymi pierwiastkami transuranowymi). Co prawda ekstrakcja chemiczna produktów reakcji wielokrotnego wychwytu neutronów w reaktorach oraz w podziemnych wybuchach jądrowych umożliwia wyprodukowanie kilku kolejnych pierwiastków transuranowych, dalszy jednakże postęp tą drogą jest niemożliwy. Pierwiastki o liczbach atomowych $Z > 100$ można wytworzyć jedynie w reakcjach z ciężkimi jonami. Bombardując jądro $X(A_1, Z_1)$ (o liczbie masowej A_1 i posiadające Z_1 protonów) pociskiem $Y(A_2, Z_2)$ możemy doprowadzić do fuzji obu jąder, wytwarzając tym samym produkt $P(A_1 + A_2, Z_1 + Z_2)$. Tak utworzone jądro jest silnie wzbudzone. Przechodząc do stanu podstawowego, wzbudzone jądro emituje głównie neutrony i kwanty γ . Jeżeli uniknie ono konkurencyjnego procesu rozszczepiania ze stanów wzbudzonych, to osiągnie w końcu stan podstawowy jądra $T(A, Z)$, którego