

CONDUCTIBILITE NEGATIVE ABSOLUE DANS LE PHOTOPLASMA

L'étude du phénomène de Conductibilité Négative Absolue (CNA) présente un grand intérêt à la fois par son aspect scientifique fondamental et par son aspect application. Ce sujet est interdisciplinaire avec d'autres domaines de recherche tels que la physique de plasma, les applications lasers, la physique de l'émission de hautes fréquences. Il s'agit d'un phénomène se produisant dans un plasma hors équilibre, quand, par la suite d'une répartition énergétique d'électrons très spécifique, une partie d'électrons acquiert des propriétés inattendues. En particulier, leur mouvement peut prendre la direction inverse au champ électrique du plasma.

La maîtrise de CNA ouvre des possibilités entièrement nouvelles de conversion directe de l'énergie de rayonnement lumineux (énergie de radiation laser) en rayonnement UHF (Ultra High Frequency), ce qui pourra déboucher sur des applications très prometteuses en télécommunications par satellite et à grande distance.

Des recherches récentes ont amené à un développement considérable des connaissances sur l'effet de Conductibilité Négative Absolue. La possibilité de réalisation de l'effet de CNA dans un plasma induit par radiation sélectif laser dans un mélange de vapeurs d'un métal alcalin et d'un gaz lourd inerte a été confirmé théoriquement [1-5]. Plus précisément, la recherche portait sur le phénomène de la répartition énergétique inverse des électrons dans le mélange des vapeurs de lithium et de l'azote moléculaire avec les gaz lourds inertes (Kr, Xe). La solution analytique de l'équation de Boltzmann pour la partie hors équilibre de la fonction de répartition énergétique d'électrons (FREE) a été donnée. La partie hors équilibre de FREE se forme suite à des collisions superélastiques électrons-atomes de lithium excités. Avec cette approche, il est possible d'élaborer les critères quantitatives de formation de la répartition inverse d'électrons $df/d\varepsilon > 0$ dans l'intervalle d'énergie correspondant au minimum de Ramsauer sur la section de collisions élastiques électrons-atomes des gaz lourds inertes. En utilisant la modélisation numérique, la densité critique d'atomes de lithium excités pouvant faire apparaître l'effet de CNA a été définie. La composition optimale des mélanges, le degré d'ionisation et la tension électrique, favorables pour détecter l'effet de CNA, ont été déterminés. L'influence de la température du gaz et de la répartition des molécules de N_2 dans l'état vibrationnel excité sur la valeur de CNA a été investiguée. Il a été mis en évidence que la réalisation de l'effet CNA est possible en régime quasi-stationnaire sous les conditions d'augmentation de la densité d'électrons suite à l'excitation optique sélective de la transition Li(2S)-Li(2P). La puissance limite du rayonnement a été calculé. Une vaste expérience du diagnostic optique, par sonde, et par les méthodes UHF du photoplasma a été accumulée.

Le plasma avec conductibilité négative absolue représente un milieu actif permettant d'émettre et amplifier des oscillations électromagnétiques dans un large intervalle de fréquences. Le rayonnement stimulé se caractérise par une haute cohérence d'espace et de temps dans un intervalle de fréquences relativement basses (0.1-10 Hz). Les amplificateurs et générateurs quantiques existants à l'heure actuelle ne peuvent pas émettre un rayonnement possédant un si haut niveau de cohérence temporelle et spatiale. Effectivement, dans le plasma avec CNA l'énergie de rayonnement lumineux se convertit directement en énergie d'oscillations UHF. Le fonctionnement de ce processus ne nécessite pas de sources d'énergie électrique complémentaires. Cette propriété peut trouver de larges applications. L'utilisation du plasma avec CNA en tant que milieu actif permettra éventuellement de créer des émetteurs et des amplificateurs miniaturisés ayant un diagramme directionnel de haute précision. Ils prendront la place des antennes et des réseaux de mise en phase de grandes dimensions utilisés actuellement dans les systèmes de télécommunication.

Les propriétés uniques du plasma avec CNA citées ci-dessus attirent constamment l'attention des scientifiques. La conductibilité négative est enregistrée dans le plasma de xénon en état de recombinaison [6], l'absorption négative du rayonnement UHF est enregistrée dans la

postluminescence du plasma d'argon [7]. Il existe des techniques différentes pour créer une répartition énergétique hors équilibre (inverse) d'électrons libres afin d'atteindre l'effet de CNA. Elles sont comme suit : le plasma en post-décharge, le plasma additionné de gaz électronégatifs [8-10] et le photoplasma du mélange des métaux alcalins avec les gaz inertes. Récemment ce phénomène a suscité l'intérêt dans la physique des semi-conducteurs [11]. Cependant, il est à noter qu'à l'heure actuelle les investigations expérimentales de l'effet de CNA sont pratiquement inexistantes. Après l'étude théorique, les scientifiques se posent pour objectif la mise en place et le suivi des expérimentations sur la génération du rayonnement UHF, qui pourraient servir à la mise en évidence de la réalisation de l'effet de CNA dans le plasma. Plus précisément, il s'agit à confirmer expérimentalement la possibilité de réalisation de l'effet de CNA dans le mélange des vapeurs de lithium avec les gaz lourds inertes (Ar, Kr, Xe) induit par l'irradiation laser sélective ayant la longueur d'onde correspondante au passage de l'atome de lithium au premier état excité (671 nm).

Pour atteindre l'effet de CNA, il est nécessaire de créer un maximum sur la fonction de la répartition énergétique d'électrons dans l'intervalle d'énergies, correspondantes à la partie croissante de la section de diffusion élastique. Ceci peut être réaliser dans les gaz lourds inertes (Ar, Kr, Xe), qui dans l'intervalle d'énergies supérieures au minimum Ramsauer, possèdent la configuration recherchée de la section de collisions avec les électrons. Les propriétés actives du milieu sont fonction de la propriété des électrons libres d'émettre le rayonnement induit par les collisions avec des atomes du gaz inerte [12].

Récemment la radiation du laser semi-conducteur a été proposée comme source d'excitation optique. Le spectre naturel d'émission des lasers semi-conducteurs est largement supérieur à la bande d'absorption des vapeurs de lithium. Pour augmenter la capacité d'absorption du milieu, il faut resserrer le spectre d'émission du laser. Pour cette fin, on utilise le résonateur optique extérieur avec un émetteur semi-conducteur à l'intérieur. Dans les études spectroscopiques des mélanges des métaux alcalins avec les gaz inertes, un tube spécial chauffé est largement utilisé. Cet outil peut jouer le rôle du résonateur UHF, qui est nécessaire pour observer l'émission de la radiation UHF cohérente.

Références bibliographiques:

1. Gorbunov N., Melnikov A., Movtchan I., Smurov I., and Flamant G. // IEEE Transactions on Plasma Science, v. 27, No. 1, February 1999, pp. 182- 192.
2. N.A.Gorbunov, A.S.Melnikov, I.Smurov. // Plasma Sources Sci and Techn., **9**, P.534 (1999).
3. N.A. Gorbunov, O. V. Krylova and I. Smurov // IEEE Transactions on Plasma Science, August 2000, v. 28, No 4, pp. 1287-1295.
4. N.A.Gorbunov, A.S.Melnikov, I.Smurov, I.Bray // J. Phys. D: Appl.Phys., **34**, P.1379 (2001).
5. N.A.Gorbunov, A.S.Melnikov, I.Smurov.// Physics of Plasmas, **10**, P. 4552 (2003).
6. J. M. Warman, U. Sowada and M. P. De Haas// Phys. Rev. A. **31**, P.1974 (1985).
7. T.Okada, M.Sugavara // J. Phys. D: Appl.Phys. **35**, P.2105 (2002).
8. N. A. Dyatko, D. Loffhagen, A. P. Napartovich et al // Plasma Chem. & Processing, **21**, P. 421 (2001).
9. S.Dujko, Z.M.Raspopovic, Z.L.Petrovic, T.Makabe // IEEE Trans. Plasma Sci. **31**, P.711 (2003).
10. R. E. Robson, Z.L.Petrovic, Z.M.Raspopovic, D. Loffhagen // J. of Chem. Phys. **119**, P. 11249 (2003).
11. E. H. Cannon, F. V. Kusmartsev, K. N. Alekseev et al // Phys. Rev. Lett. **85**, P.1302 (2000).
12. G. Bekefi, *Radiation Processes in Plasma* (New York: Wiley, 1966).