

Kūginė terahercų spinduliuotė žadinama bichromatiniais lazerio impulsais oro plazmoje: kūgio kampo įvertinimas

Conical terahertz radiation induced by bichromatic laser pulses in air: estimation of the cone angle

Viktorija Tamulienė, Danas Buožius, Benas Motiejūnas, Virgilijus Vaičaitis
Vilniaus universitetas, Lazeriųjų tyrimų centras, Saulėtekio al. 10, LT-10223 Vilnius
viktorija.tamulienė@ff.vu.lt

Terahercų spinduliuotės generavimas oro plazmoje, žadinamoje bichromatiniais šviesos impulsais, yra gerai žinomas ir plačiai taikomas būdas. Ti:safyro lazerio 800 nm bangos ilgio spinduliuotė kartu su jos antrąja harmonika fokusuojamos lęšiu ore. Esant ultratrumpiems impulsams, apie 100 fs trukmės, ir pakankamai impulso energijai, apie 1 mJ, lešio židinio aplinkoje stebimas plazmos filamento susidarymas. Kartu stebimi kiti netiesiniai procesai: šviesos savifokusavimas dėl Kerr'o reiškinių, plazmos defokusavimas, aukštesnių harmonikų generacija ir terahercų spinduliuavimas. Terahercų generacijos efektyvumas gali būti keičiamas, keičiant vėlinimą tarp kaupinimo impulsų [1].

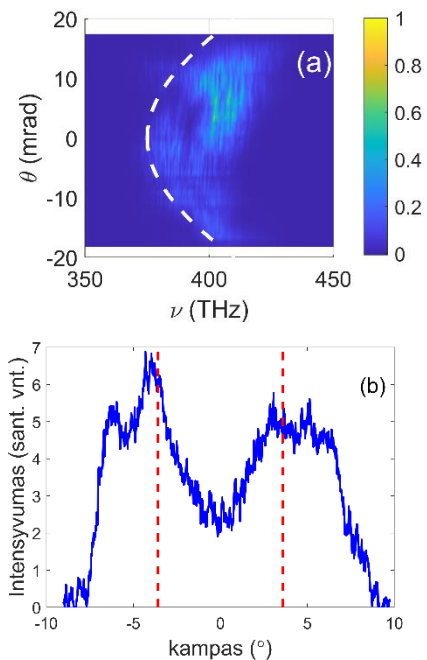
Tokių būdu generuojama kūginė terahercų spinduliuotė. Kūgio puskampis paprastai būna 5°. Tokia kampo vertė aiškinama kaip optinio Čerenkovo spinduliuavimo rezultatas. Čerenkovo spinduliuotė spinduliuoja plazmos srovė, kurios greitis viršija šviesos fazinį greitį ties terahercų dažniu. Šiame darbe mes pagrindžiame kitą įdomų pastebėjimą: Čerenkovo formulė kūgio kampui rasti sutampa su X-bangų dispersijos dėsnio terahercų spinduliuotei.

X-bangos yra lokalizuotos struktūros aptinkamos įvairiose fizikos srityse: akustika, elektromagnetizmas, gravitacinės bangos ir kt.. Elektromagnetizme X-bangos sklinda greičiu, viršijančiu šviesos greitį. Tokia banga sudaryta iš bangų vektorių, kurių išilginiai komponentai sklinda vienodu greičiu; sąryšis tarp išilginio bangos vektoriaus ir šviesos dažnio yra tiesinis.

Ankstesniame darbe [2] buvome pastebėję, kad X-bangos, kurios formuojasi trečioje harmonikoje, generuojamoje oro plazmoje (vieno dažnio infraraudonas 1500 nm kaupinimas) aprašoma teoriniu dispersijos dėsnio, kuris gerai atitinka eksperimentinį tik tuomet, kai be daugiafotonės jonizacijos įskaitoma taip pat ir tunelinė plazmos jonizacija. Be to, tiek fundamentinė banga, tiek jos harmonikos pasižymi tuo pačiu X-bangos dispersijos dėsnio – jos sklinda vienodu grupiniu greičiu. Panašų reiškinį pastebime ir šiame darbe: abiejų kaupinimo bangų disperijos dėsniai ir terahercų spinduliuotės disperijos dėsnis (arba Čerenkovo formulė) yra tarpusavio susiję. Nustačius X-bangos grupinį greitį, galima rasti terahercų kūgio kampą, 1 pav..

Be eksperimentinių matavimų taip pat atliktas skaitmeninis modeliavimas, įskaitantis trečios eilės netiesiškumą, plazmos generavimą ir šviesos defokusavimą bei nuostolius plazmos filamente. Plazmos generacijos modelis pritaikytas toks pat kaip [2] darbe: įskaityti daugiafotonės ir tunelinės jonizacijų

mechanizmai. Skaitmeniniai rezultatai taip pat parodė sąryšį tarp kaupinimo bangų dispersijos dėsnio ir generuojamos terahercų spinduliuotės kūgio kampo.



1 pav. Eksperimentiškai pamatuoti fundamentinės harmonikos spektras (a) ir terahercų kampinis pasiskirstymas (b). Brūkšninės linijos: X-bangos dispersijos dėsnis (a) ir jį atitinkantis kūgio kampas (b).

Taigi, remiantis eksperimentiniais ir skaitmeninio modeliavimo rezultatais parodėme, kad bichromatiniais impulsais ore generuojamas terahercų kūgis aprašomas X-bangų dispersijos dėsnio. Galima teigti, kad šiuo atveju kaupinimo X-bangos yra objektai judantys didesniu greičiu nei šviesos greitis ir spinduliuojantys terahercų kūgi.

Reikšminiai žodžiai: terahercų spinduliuotė, bichromatinis kaupinimas, plazma.

Literatūra

- [1] V. Tamulienė, D. Buožius and V. Vaičaitis, Phys. Rev. A **103**, 033502 (2021).
- [2] V. Tamulienė, G. Juškevičiūtė, D. Buožius, V. Vaičaitis, I. Babushkin and U. Morgner, Scientific Reports **10**, 17437 (2020).