

СПЕКТР СЫЗЫҚТАРЫНЫҢ ИНТЕНСИВТІЛІКТЕРІН САЛЫСТЫРУ ӘДІСІ КӨМЕГІМЕН ПЛАЗМА ЭЛЕКТРОНДАРЫНЫҢ ТЕМПЕРАТУРАСЫН АНЫҚТАУ

Кез-келген дене күйі қалыпты жағдайдан ауытқығанда, мысалы жоғары температурада қыздырылған кезде шығаратын (немесе жұтатын) электромагниттік сәулелердің толқын ұзындықтарының жиыны шығару (немесе жұтылу) спектрі деп аталады. Спектрлік сызықтар сипатына қарай үш түрге бөлінеді: тұтас, жолақ және сызықтық.

Қыздырылған қатты денелер, сұйықтықтар, тығыз газдар тұтас спектр шығарады. Молекулалар жолақ спектр шығарады. Ал, өзара бір-бірімен әсерлеспейтін, еркін атомдар сызықтық спектрлер шығарады. Жалпы кванттық жарық атомдар немесе иондардағы электрондардың энергетикалық күйінің өзгеруі нәтижесінде шығарылады. Атомдардың сәуле шығару спектрлері жеке спектрлік сызықтардан немесе жақын орналасқан сызықтар топтарынан, мультиплекстерден тұрады. Бұларды сызықтық спектр деп атайды. Әрбір элементтің өзіне тиесілі, тек өзіне ғана тән ерекше, яғни саусақтың ізі секілді, қандай элементке жататынын анықтауға мүмкіндік беретін сәуле шығару спектрі болады және сызықтық спектрдің түрі атомды қоздыру амалына тәуелді емес.

Жұлдыздардың барлығы плазмалық күйде болып атомдар мен молекулалардың қозуы және ион-электрондық рекомбинация кезінде жарық квантын шығарады. Сәулелену сәуле шығарушы нысана туралы қашықтан (жанама) мәліметтер алудың жалғыз қол жетімді жолы болғандықтан, спектроскопиялық әдіс астрофизикада кеңінен қолданады. Осылайша, спектроскопиялық әдіс негізінде плазмадағы электрондардың температурасы және концентрациясы, плазманың химиялық құрамы және т.с.с. маңызды параметрлерді өлшеуге болады. Кез келген дененің сәуле шығаруын теориялық сипаттау үшін берілген плазма типіндегі маңызды процестерді ескеретін әртүрлі плазма моделдері қолданылады. Тәжірибеде өлшенген сәуле ағынын осындай модельдер арқылы талдау плазмада өтіп жатқан процестерді бақылауға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыста локальді термодинамикалық тепе-теңдік (ЛТТ) күйде болатын импульсті плазмадағы электрондардың температурасын өлшеу әдісі көрсетілген. ЛТТ моделінде басты рөлді плазмадағы бөлшектердің өзара соқтығысу процесі атқарады. Бөлшектердің өзара соқтығысуы және өзара энергия алмасулары нәтижесінде плазма бөлшектерінің энергия бойынша статикалық таралуы пайда болады. Алайда ЛТТ күйдегі плазма бөлшектерінің өзара соқтығысуы жиі болғандықтан, плазма параметрлерін өзгерткенімен, бөлшектердің энергия бойынша таралуы тез арада қайта қалпына келіп отырады.

Электрондардың бір-бірімен энергия алмасуы оңай болғандықтан, ең алдымен еркін электрондар жылдамдықтары бойынша таралады, ол Максвелл формуласымен анықталады:

$$dN_e(v) = N_e 4\pi \left(\frac{m}{2\pi k T_e}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT_e}\right) v^2 dv. (59)$$

мұндағы N_e – электрондардың тығыздығы, T_e – электрондардың температурасы.

Атомдардағы немесе иондардағы байланысқан электрондарды қоздыру бөлшектердің өзара соқтығысу нәтижесінде жүзеге асады. Тағы бір айта кететін жағдай, плазмадағы барлық процестерге қарама-қарсы процестер бар. Мысалы, қозу және қайта қалыпты жағдайға келу, ионизация және рекомбинация және т.с.с. Сонымен, ЛТТ плазмада осы қарама-қарсы процестер бір уақыт аралығында өтетіндіктен, бөлшектердің энергетикалық таралуы толық термодинамикалық тепе-теңдікте деп қарастыруымызға болады.

Бұл жағдайда, сыртқы электронының энергиясы E_k деңгейінде (негізгі күйден бастап санағанда) тұрған қозған атомдардың саны Больцман заңымен анықталады:

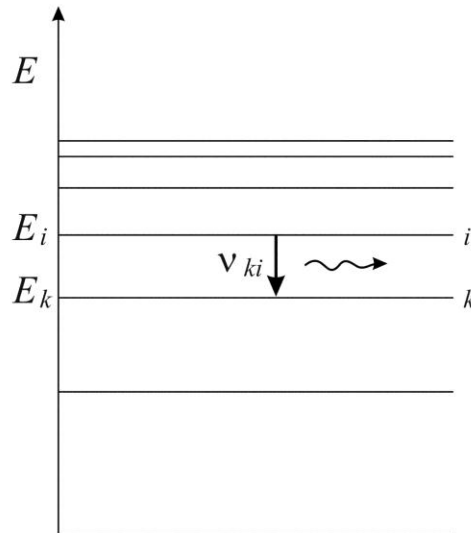
$$N^* \sim N^0 \exp\left(-\frac{E_k}{kT_e}\right). (60)$$

Бұл теңдеуде тек қана электрондардың температурасы ғана тәжірибеде анықталатын шама, ал қалғаны константалар. Осы жерден электрондардың температурасын қозған атомдардың шамасын өлшеу негізінде есептеуге мүмкіндік туады. Ал, қозған атомдардың шамасын плазмадан шыққан фотондардың шамасымен анықтауға болады.

Анықталып отырған атом электрондарының k қозған күйінен i төменгі күйіне ауысуы кезіндегі (21 суретті қараңыз) бірлік көлемде бірлік денелік бұрышқа түсетін спектрлік сызықтардың жарық интенсивтілігі төмендегідей болады:

$$J = \frac{1}{4\pi} A_{ki} n_k h\nu_{ki} = \frac{1}{4\pi} n_0 \frac{g_k}{g_0} A_{ki} h\nu_{ki} \exp\left(-\frac{E_k}{kT_e}\right), (61)$$

мұндағы A_{ki} – ауысу ықтималдығы; n_k , n_0 – қозған атомдар мен негізгі күйдегі атомдардың концентрациясы; h – Планк тұрақтысы; $\nu_{ki} = (E_k - E_i)/h$ – жарық сәулеленуінің жиілігі; E_k және E_i деңгейлер энергиясы.



21-сурет. Қозу кезіндегі жарық квантының бөлінуі

Ауысу ықтималдылығының орнына әдетте ауысу осциллятордың күші ν_{ik} қолданылады және олар бір-бірімен атомдық константалар арқылы байланысқан:

$$A_{ki} = \frac{2e^2}{mc^3} \omega_{ki}^2 f_{ik} \frac{g_i}{g_k}. \quad (62)$$

Спектрлік сызықтардың интенсивтілігін өлшеу және ауысу осцилляторының күші немесе ықтималдылығын білу арқылы электрондардың температурасын анықтау үшін (61) формуланы қолданамыз. Бірақ, сызықтардың абсолютті интенсивтілігін өлшеу күрделі есептердің бірі болып табылады. Осымен қатар, ЛТТ күйдегі плазманың электрондарының температурасын екі немесе оданда көп сызықтардың интенсивтілігін бір-бірімен салыстыру арқылы да электронның температурасын анықтауға болады, яғни:

$$\frac{J_2}{J_1} = \frac{g_2 \lambda_2 A_2}{g_1 \lambda_1 A_1} \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right). \quad (63)$$

Жоғарыдағы формулаларды қорыта келе, электрондардың температурасын төмендегі формуламен анықтаймыз:

$$T = \frac{5040(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\lg \frac{(gA)_1}{(gA)_2} - \lg \frac{\lambda_1}{\lambda_2} - \lg \frac{J_1}{J_2}}. \quad (64)$$

Мұндағы, λ_1 және λ_2 – сәйкесінше спектрлік сызықтардың толқын ұзындығы, $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – қозу энергиялары $(gA)_1$ мен $(gA)_2$ – қозған күйлердің статистикалық салмағы мен сәулелік ауысу ықтималдығы, J_1, J_2 – спектрлік сызықтардың жарық интенсивтілігі.