

UOT 537.52.**İONLAŞMA DALĞASI CƏBHƏSİNİN ARXASINDAKI
RƏQSLƏRƏ MAQNİT SAHƏSİNİN TƏSİRİ****G.M.SADIXZADƏ, Q.İ.QƏRİBOV, B.B.DAVUDOV, M.N.AĞAYEV*****Bakı Dövlət Universiteti******agaevm.50@mail.ru***

İşdə uzun boşalma borusunda yaranan ionlaşma dalğasına borunun oxu boyunca yönəlmiş uzununa maqnit sahəsinin təsiri, həmçinin dalğanın yayılma sürəti və boşalma borusunun vahid uzunluğuna düşən yükün miqdarının boru boyunca paylanmış tutumdan asılılıqları tədqiq olunmuşdur. Dalğa cəbhəsinin arxasındakı rəqslərin amplitud və tezliyinin maqnit sahəsindən asılılıqları öyrənilmiş və göstərilmişdir ki, maqnit sahəsinin köməylə ionlaşma dalğası cəbhəsinin arxasındakı dayanıqsızlığı stabilləşdirmək mümkündür. Müəyyən edilmişdir ki, ionlaşma dalğasına elektrik sahəsinin və həcmi yüklərin alışdırıcı elektrod yaxınlığında formalaşmış sabit sürətlə hərəkət edən solitonu kimi baxmaq olar.

Açar sözlər: ionlaşma dalğası, maqnit sahəsi, uzun borular, soliton.

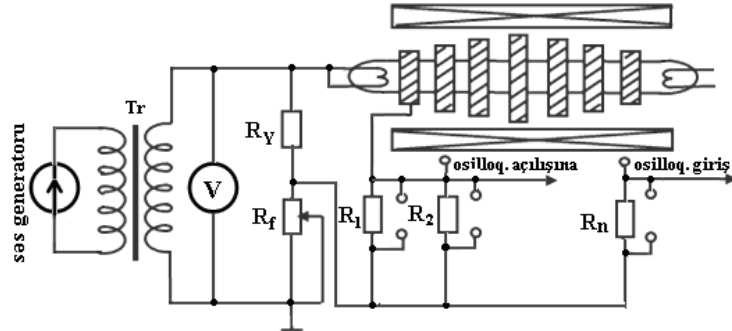
İonlaşma dalğası boşalma aralığındakı qazın elektrik deşilməsi prosesində yaranır. Uzun boşalma aralığının deşilməsi təbii şəraitdə və texnikada tez-tez müşahidə olunan fiziki hadisədir. Belə deşilmə zamanı ionlaşma cəbhəsinin qazda hərəkəti yaranır və bu hərəkət paylanmış elektrik tutumunun yüklənməsi ilə müşayiət olunur (ildırımında onu əhatə edən fəzanın, qaz boşalması borularında isə borunun divarlarının).

Son zamanlar uzun borularda boşalma aralığının dalğa deşilməsinin tədqiqinin elmi maraqdan əlavə həm də praktiki əhəmiyyəti olduğu müəyyən edilib. Qeyd edək ki, l uzunluğu r radiusundan böyük olan ($l \gg r$) qaz boşalması borularını uzun borular adlandırırlar. Uzun boşalma borularının lazer texnikasında, subnanosaniyəli impulsların plazma generatorlarında, həmçinin qaz boşalmalı qənaətcil işıq mənbələrində geniş tətbiqi ilə əlaqədar olaraq ionlaşma dalğasının yaranması və inkişafı prosesinin tədqiqi xüsusi maraq kəsb edir.

Bu işdə uzun boruda ionlaşma dalğasına silindrik boşalma borusunun oxu boyunca yönəlmiş uzununa maqnit sahəsinin təsiri, həmçinin dalğanın yayılma sürəti və boşalma borusunun vahid uzunluğuna düşən yükün miqdarının boru boyunca paylanmış tutumdan asılılıqları tədqiq olunmuşdur. Qeyd edək ki, bu məqalədə təsvir olunan araşdırmalara qədər də ionlaşma dalğalarına maqnit

sahəsinin təsiri öyrənilib [1-3]. Lakin bu tədqiqatlar müntəzəm paylanmış tutum şəraitində aparılmışdır. Bizim tədqiqatlar isə ilk dəfə olaraq bərabər qeyri-monoton paylanmış tutum halında uzun boruda boşalmanın inkişafına uzununa bircins maqnit sahəsinin təsirini öyrənməyə nə həsər olunmuşdur. İşdə dalğanın yayılma sürəti və boşalma borusunun vahid uzunluğuna düşən yükün miqdarı öyrənilir, həm də dalğa cəbhəsinin arxasındakı rəqslərin amplitud və tezliyinin uzununa maqnit sahəsindən asılılıqları tədqiq olunur.

Şəkil 1-də istifadə olunan təcrübə qurğusunun prinsipial sxemi verilmişdir. Qurğunun əsas hissəsini vakuum sistemi ilə birləşdirilmiş elektrodlararası məsafəsi $1,0\text{ m}$, daxili diametri $3,2\text{ sm}$ olan və $p = 1\text{ mm cv. st.}$ arqon qazı ilə doldurulmuş boşalma borusu təşkil edir. Səs tezlikli generatordan götürülən qidalandırıcı gərginlik transformator vasitəsilə $U_{ef} = 2\text{ kV}$ – a qədər yüksəldildikdən sonra Yer ilə alıqdırıcı elektrod arasına verilir. İkinci elektrod boş saxlanmışdır. Təcrübələrdə istifadə olunan gərginliyin tezliyi 200 Hz – dən böyük olmamışdır. Boşalma borusundakı qaz aralığının dəşilməsi tezliyi alıqdırıcı elektroda verilən gərginliyin ikiqat tezliyi ilə təkrarlanır. Transformatorun yükü bir-biri ilə ardıcıl birləşdirilmiş R_f reostatı və meqaom tərtibli R_Y yük müqavimətindən ibarət aktiv yük olmuşdur.



Şək. 1. Təcrübə qurğusunun prinsipial sxemi.

Boşalmaya təsir edən elektrik tutumu dielektrik (şüşə) divarlı boşalma borusunun üstünə keçirilmiş müxtəlif diametrlilə hazırlanmış həlqələrin vasitəsilə yaradılmışdır. Həlqələrin hər birinin eni $3,2\text{ sm}$, aralarındakı məsafə isə $1,0\text{ sm}$ olmuşdur. Borunun hər iki tərəfindən ilk iki həlqə bilavasitə borunun üzərinə keçirilib, qalan digər həlqələr ilə borunun divarları arasına qalınlığı $0,2\text{ sm}$ – dən $1,8\text{ sm}$ – ə bərabər olan dielektrik həlqələr yerləşdirilib. Beləliklə, qeyri-monoton dəyişən paylanmış tutumu yaradan kondensator rolunu borunun üzərində yerləşdirilmiş metal həlqələr və boruda yaranan plazma olmuşdur. Elektrik tutumu əvvəlcə borunun uzunluğu boyunca onun yarısına qədər $45,6\text{ pF/sm}$ qiymətindən başlayaraq müntəzəm azalır, borunun ortasında özünün minimal $2,79\text{ pF/sm}$ qiymətini alır, sonra isə borunun əks tərəfindəki elektroda qədər artaraq, əvvəlki başlanğıc qiymətinə çatır. Tutumun

artması və azalması sabit $2 pF/sm$ addımı ilə gedir. Alışdırıcı elektrodan birinci həlqəyə qədər məsafə $13 sm$ olmuşdur. Kondensatorun köynəkləri $R_n = 5 kOm$ – luq müqavimətlər vasitəsilə Yerlə birləşdirilmiş ümumi şinə elə bağlanıblar ki, köynəklərdən hansı birini osilloqrafın girişinə birləşdirdikdə qalan digər köynəklər qısa qapanmış olur.

Kondenastorları yükləyən cərəyan impulslarını alışdırıcı elektrodun gərginliklə sinxronlaşdırmaq üçün kondensatorun köynəklərinin dövrəsinə R_f yük müqaviməti ilə ardıcıl kiçik R_f müqaviməti birləşdirilib. Qidalandırıcı gərginliyin bu müqavimətdə düşən hissəsi ($1 \div 2 V$) sinxronizasiya üçün istifadə olunur. Ardıcıl olaraq osilloqrafa birləşdirilən köynəklərin dövrəsindəki cərəyan impulslarına əsasən borunun divarının vahid uzunluğuna düşən q_0 yükü təyin edilir. İonlaşma dalğasının boru boyunca hərəkət sürətini ölçmək üçün osilloqrafın açıcı generatoru köynəkləri yükləyən cərəyan impulsları ilə işə salınır.

Maqnit ölçmələrində boşalma borusu uzununa maqnit sahəsində yerləşdirilmişdir. Bircins maqnit sahəsi bir-biri ilə ardıcıl birləşdirilmiş üç seksiyadan ibarət ümumi uzunluğu $60 sm$, daxili kanalının diametri $80 mm$ olan solenoidlə yaradılır. Məlumdur ki, solenoidlər üçün $B = w \cdot I$ münasibəti doğrudur. Burada B – maqnit sahəsinin induksiyası, I – solenoidin dövrəsində axan cərəyanın şiddəti, w – solenoidin vahid uzunluğundakı sarğuların sayından asılı sabitdir. Baxılan halda $w = 60 Qs/A$ olmuşdur. Beləliklə, məlum w sabitinə görə solenoidin dövrəsində axan cərəyanın I şiddətinə əsasən maqnit sahəsinin qiyməti təyin edilmişdir. Təcrübələr maqnit sahəsinin $0 \div 1500 Qs$ intervalında aparılmışdır. Əsas ölçmələrdə solenoidin yaxın kənarı alışdırıcı elektrodun $15 sm$ məsafədə yerləşdirilmiş və siqnal götürülən həlqə bircins maqnit sahəsində olmuşdur.

Boşalma borusunun üstünə geydirilmiş müxtəlif diametrlə həlqələrin yaratdığı C_n elektrik tutumunu qiymətləndirmək üçün kontrol ölçmələr aparılmışdır. Bunun üçün tədqiqat aparılan boşalma borusuna identik olan bir ucu bağlanmış şüşə boru götürülmüşdür. Bu borunun içərisi elektrolitlə doldurulub və elektrolitlə borunun üstünə geydirilmiş həlqələr arasındakı elektrik tutumu ölçülmüşdür. Ölçmələrin nəticələrinin ədəbiyyatdan məlum olan

$$C_n = \frac{111 \cdot \varepsilon}{2 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad pF/m$$

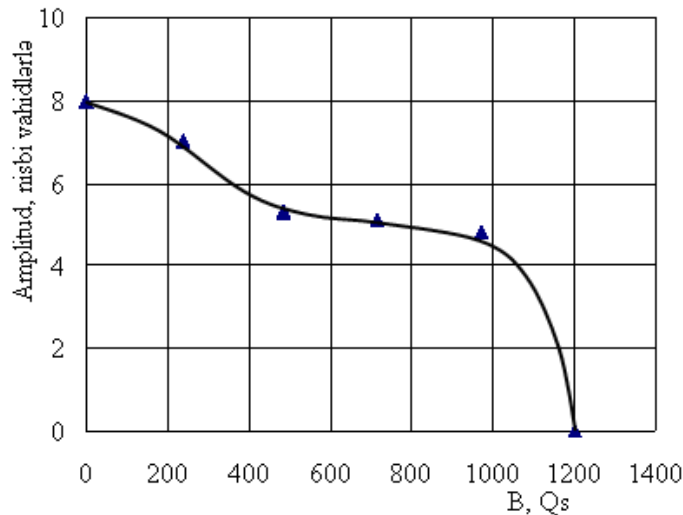
düsturu ilə tam uyğunluq təşkil etdiyi müəyyən edilmişdir. Burada r_2 və r_1 – borunun xarici və daxili radiusları, ε – şüşənin dielektrik nüfuzluğudur. Alışdırıcı elektroda Yerə nəzərən gərginlik verildikdə bu elektrodla borunun daxili divarının yaxın hissəsi arasında elektrik deşilməsi yaranır. Bu zaman osilloqrafın ekranında alışdırıcı elektrodun müxtəlif məsafələrdə biri digərinə nisbətən müəyyən zaman intervalı qədər gecikən cərəyan impulsları yaranır. Sonra

gərginlik o qədər artırılır ki, işıqlanma borunun bütün uzunluğunu əhatə etsin. Işıqlanmanın alışdırıcı elektrodan başlayaraq irəliləmə müddəti bu həlqələrdəki cərəyan impulslarının zamana görə sürüşməsinə əsasən təyin edilir. Osilloqrafın girişinə alışdırıcı elektrodan başlayaraq borunun sonuna qədər həlqələri növbə ilə birləşdirərək, bu impulsları müşahidə etmək və onların zamana görə t_n sürüşmələrini ölçmək olur. İonlaşma dalğasının yayılma sürəti həlqələrdəki cərəyan impulslarının t_n gecikmə müddətinin həlqənin alışdırıcı elektrodan olan L_n məsafəsindən xətti asılılığı qrafikinın meyl bucağına görə təyin edilmişdir. Boşalma borusunun vahid uzunluğuna düşən elektrik yükü impulsdakı cərəyanın inteqralı kimi təyin edilmişdir ($q = \int Idt$). Osilloqrafın ekranında alınan cərəyan impulsları üçbucaqşəkilli formada olmuşdur. Aydınır ki, yükün miqdarı ədədi qiymətə bu impulsların sahəsinə bərabər olar. Hesablamalarda üçbucağın hündürlüyü olaraq cərəyan impulsunun birinci amplitudu, oturacağı olaraq isə impulsun davam etmə müddəti götürülmüşdür.

İonlaşma cəbhəsinin arxasında müşahidə olunan rəqslərin cərəyan impulsunun ikinci maksimumunun amplitudları osilloqramlara əsasən nisbi vahidlərlə təyin edilmişdir.

Dalğa cəbhəsinin arxasındakı rəqslərin ν tezliyi cərəyan impulsundakı rəqslərin n sayının bu rəqslərə sərf olunan və osilloqrafın ekranından təyin olunan t_n zamanına nisbəti kimi götürülmüşdür:

$$\nu = \frac{n}{t_n}.$$



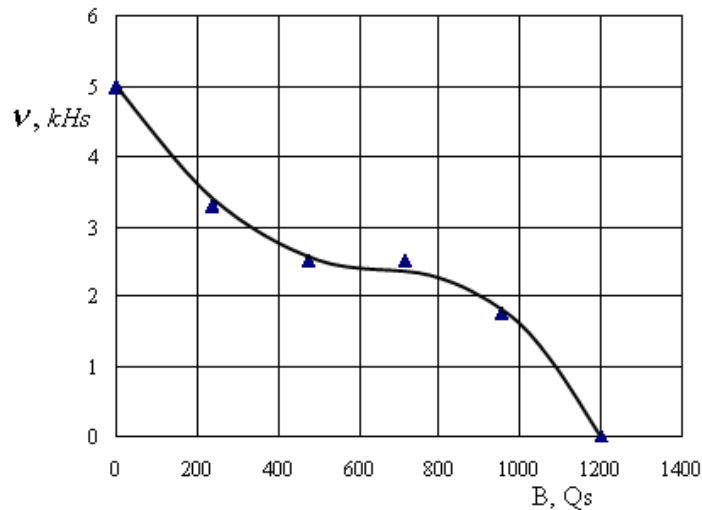
Şəx. 2. İkinci maksimumun A_{II} amplitudunun maqnit sahəsindən asılılığı. $U = 1000 V$, $L = 53 sm$, $f = 150 Hz$.

Ölçmələr göstərdi ki, dəyişən və müntəzəm paylanmış tutumla aparılmış təcrübələrdə olduğu kimi müntəzəm qeyri-monoton paylanmış tutum halında

da ionlaşma dalğası cəbhəsinin sürəti borunun uzunluğu boyunca sabit qalır. Bu onu göstərir ki, dalğanın sürəti yalnız boşalmanın başlanğıc rejimindən və alışdırıcı elektrodun yaxınlığındakı şəraitdən asılıdır. Dalğanın sürətindən fərqli olaraq borunun vahid uzunluğuna düşən yükün miqdarı isə paylanmış tutumdan asılıdır. Belə ki, bu yükün qiyməti tutumun boru boyunca dəyişməsinə uyğun olaraq dəyişir, yəni alışdırıcı elektrodan başlayaraq borunun uzunluğunun yarısına qədər azalır, sonra isə artmağa başlayər.

Maqnit sahəsində aparılan tədqiqatlar göstərdi ki, qeyri-monoton paylanmış tutum halında dalğa cəbhəsinin yayılma sürəti sahənin B induksiyasından da asılı deyil. Maqnit sahəsində analogi nəticələr sabit, monoton artan, monoton azalan və sıçrayışla dəyişən paylanmış tutum şəraitində də alınmışdır [1, 2]. Deməli, boşalma şəraitindən və yayılma rejimindən asılı olmayaraq dalğanın sürətinə maqnit sahəsi təsir etmir. İonlaşma dalğasının sürətinin istər paylanmış tutum, istərsə də maqnit sahəsindən asılı olmaması bu dalğaya elektrik sahəsinin və həcmi yüklərin alışdırıcı elektrodun yaxınlığındakı başlanğıc şəraitdən asılı olaraq formalaşan solitonu kimi baxmağa imkan verir [4]

Şəkil 2-də ionlaşma dalğasının arxa cəbhəsindəki rəqslərin ikinci maksimumunun A_{II} amplitudunun maqnit sahəsindən asılılığı göstərilib. Qrafikdəki nəticələr alışdırıcı elektroda verilən gərginliyin $U = 1000 V$, tezliyinin $f = 150 Hz$ və siqnalın alışdırıcı elektrodan $L = 53 sm$ məsafədəki köynəkdən götürüldüyü hala aiddir. Qrafikdən görünür ki, maqnit sahəsi artdıqca rəqslərin amplitudu azalır və sahənin müəyyən qiymətində rəqslər yox olurlar. Qeyd edək ki, osilloqramdakı birinci maksimum ionlaşma cəbhəsinin yaranmasına, ikinci və sonrakı maksimumlar isə cəbhənin arxasında yaranan rəqslərə aiddir.



Şək. 3. Dalğa cəbhəsinin arxasındakı rəqslərin tezliyinin maqnit sahəsindən asılılığı. $U = 1000 V$, $L = 53 sm$, $f = 150 Hz$.

Şəkil 3-də alışıdırıcı elektrodakı gərginliyin amplitudunun və tezliyinin sabit qiymətlərində ionlaşma dalğa cəbhəsinin arxasındakı rəqslərin tezliyinin maqnit sahəsinin induksiyasından asılılığı göstərilib. Bu asılılığı şəkil 3 ilə müqayisə etdikdə onların maqnit sahəsindən asılılıqlarının oxşar olduğunu görürük. Belə ki, maqnit sahəsinin təsiri ilə borunun oxunda yüklü zərrəciklərin konsentrasiyasının artması nəticəsində rəqslərin tezliyi azalır və konsentrasianın müəyyən böyük qiymətində rəqslər hamarlanır və yox olur.

Son illərdə aparılmış nəzəri tədqiqatlarda uzun boşalma aralığının dəşilməsi prosesində elektrik sahəsinin radial toplanmasının və dalğa cəbhəsinin yayıldığı istiqamətə perpendikulyar axan elektron cərəyanının mühüm rolu olduğu müəyyən edilmişdir. Belə ki, ionlaşma dalğasının arxa cəbhəsində yaranan rəqslərin parametrlərinin və bu rəqslərin mövcudluq oblastının elektronların konsentrasiyasından asılı olduğu aşkar edilmişdir.

Məlumdur ki, $\omega_e \tau_e \gg 1$ şərtini ödəyən kifayət qədər güclü maqnit sahəsi elektronların radial axınını azaltmaqla boşalma borusunun oxunda onların konsentrasiyasını artırır [5]. Burada $\omega_e = \frac{eB}{mc}$ - elektronların tsiklotron tezliyi,

e, m – elektronun yükü və kütləsi, τ_e – onun sərbəst qaçış müddəti, c – işığın sürəti, B – maqnit sahəsinin induksiyasıdır. Ona görə də kifayət qədər güclü maqnit sahəsi dalğa cəbhəsinin və rəqslərin parametrlərinə təsir edəcəyini gözləmək olar.

[6] işində aparılmış nəzəri hesablamalarla göstərildiyi kimi, elektronların n_0 başlanğıc konsentrasiyasının artması elektrik sahəsinin çoxsaylı güclü osillyasiyalarını yaradır. n_0 kəmiyyətinin sonrakı artımı ilə belə osillyasiyaların sayı yenidən azalır. Bu onu göstərir ki, rəqs rejimi konsentrasiyaya görə müəyyən optimuma malikdir. Bu rəqslərin tezliyi tərtibcə ionlaşma dalğasının arxa cəbhəsindəki elektron plazma rəqslərinin tezliyinə yaxındır. Rəqslərin amplitudu elektronların konsentrasiyasının artması ilə əvvəlcə artır, müəyyən maksimuma çatır. Konsentrasianın sonrakı artımı isə ona gətirir ki, maksimumların amplitudu azalmağa başlayır. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, uzununa maqnit sahəsinin təsiri ilə yüklü zərrəciklərin borunun divarlarına diffuziyası azalır və plazma borunun oxuna sıxılır. Nəticədə borunun oxunda zərrəciklərin konsentrasiyası artır və konsentrasianın qiyməti rəqslərin amplitudunun ikinci maksimumunun kiçildiyi oblasta düşür. Maqnit sahəsinin sonrakı artımında yüklü zərrəciklərin konsentrasiyası elə böyük qiymətə çatır ki, ikinci maksimumun amplitudu çox kiçilir və sahənin müəyyən qiymətində rəqslər tamamilə sönərək ikinci maksimumun amplitudu sifıra bərabər olur. Buradan belə bir mühüm nəticə çıxarmaq olar ki, maqnit sahəsinin köməyilə ionlaşma dalğası cəbhəsinin arxasındakı dayanıqsızlığı stabilləşdirmək olar.

ƏDƏBİYYAT

1. Недоспасов А. В., Садыхзаде Г. М., Эфендиев К. И. Влияние магнитного поля на пробой в длинной разрядной трубке. ТВТ, 1983, т.21, №6, с.1062-1065
2. Садыхзаде Г. М., Агаев М. Н., Эфендиев К. И. Развитие разряда в длинной трубке с переменной распределённой ёмкостью. ТВТ, 1992, т. 30, №4, с. 818-822
3. Садыхзаде Г. М., Агаев М. Н. О колебаниях на заднем фронте волны ионизации. Вестник Бакинского Университета, серия физ.-мат. наук, 2011, №2, с.151-157
4. Лагарьков А. Н., Руткевич И. М. О распространении «медленных» фронтов ионизации в разрядных трубках. ТВТ, 1983, т.21, №6, с.1053-1061
5. Грановский В. Л. Электрический ток в газе. М.: Наука, 1971. с. 460.
6. Лагарьков А.Н., Распономарев С.Е., Руткевич И.М. Развитие колебаний за фронтом волны ионизации в длинной разрядной трубке // ЖТФ, 1985, т.55, №2, с.287-297.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КОЛЕБАНИЯ ЗА ФРОНТОМ ВОЛНЫ ИОНИЗАЦИИ

Г.М.САДЫХЗАДЕ, Г.И.ГАРИБОВ, Б. Б.ДАВУДОВ, М.Н.АГАЕВ

РЕЗЮМЕ

В работе исследовалось влияние продольного магнитного поля на волну ионизации в длинной разрядной трубке, а также зависимость скорости распространения волны и заряда, приходящего на единицу длины, от распределенной емкости вдоль трубки. Изучена зависимость амплитуды и частоты колебаний за фронтом ионизации от магнитной индукции и установлено, что с помощью магнитного поля можно стабилизировать эти неустойчивости. Показано, что ионизационную волну можно рассматривать как солитон электрического поля и объемного заряда, формирующийся у поджигающего электрода.

Ключевые слова: волна ионизации, магнитное поле, длинные трубки, солитон.

INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD ON THE OSCILLATIONS BEHIND THE WAVE FRONT OF IONIZATION

G.M.SADIG-ZADEH, G.I.GARIBOV, B.B.DAVUDOV, M.N.AGAYEV

SUMMARY

In this paper, the influence of the magnetic field on the ionization wave in a long discharge tube, and the dependence of wave velocity and the charge per unit length of the distributed capacitance along the tube have been investigated. The dependence of the amplitude and frequency of vibrations of the ionization front on the magnetic induction has been studied, and it is established that the magnetic field can stabilize the instability. It is shown that the ionization wave may be considered as a soliton electric field and space charge, formed in the ignitor

Key words: ionization wave, magnetic field, long tubes, soliton

Redaksiyaya daxil oldu: 06.07.2015-ci il

Çapa imzalandı: 17.11.2015-ci il