

UOT 621.384.838

**ELEKTRİK BOŞALMASI TƏSİRİNƏ MƏRUZ QALMIŞ DIELEKTRİKLƏRİN
TƏDQIQI ÜÇÜN UÇUŞMÜDDƏTLİ KÜTLƏ SPEKTROMETRİ****NURUBƏYLİ Z.K., NURİYEV K.Z., NURUBƏYLİ T.K.***AMEA – nın Fizika İnstitutu*

İşdə yüksək gərginliyin təsirinə məruz qalmış polimer dielektriklərin fiziki – kimyəvi xassələrini tədqiq etmək üçün uçuşmüddətli kütlə spektrometrlərinin göstəricilərini məhdudlaşdıran səbəblərin aradan qaldırması yolları nəzəri araşdırılmışdır. Açılma bucağına və enerjiyə görə müəyyən dağınıqlığa malik olan ion dəstəsinin detektor müstəvisində toplanması üçün uçuş müddətinə görə üçqat fokuslanma şərti əsasında konkret konstruksiya təklif olunmuşdur.

Məlum olduğu kimi uçuşmüddətli kütlə spektrometrlərinin bu təyinatlı başqa cihazlardan əsas üstünlüyü geniş kütlə diapazonuna malik olması ilə yanaşı, həm də yüksək həssaslığa və ayırdetmə qabiliyyətindədir. Lakin nəzəri olaraq istənilən ayırdetmə qabiliyyətinə malik cihazın hazırlanmasının mümkünlüyü praktikada ciddi məhdudiyətlərə məruz qalır. Buna əsas səbəb ion mənbəyindən çıxan və eyni M/q malik ionların enerjiyə görə dağınıqlığıdır. Bu çatışmazlığı aradan qaldırmaq üçün kütlə spektrometrində bir sıra konstruktiv dəyişikliklər edilməsi müxtəlif vaxtlarda təklif olunmuşdu.

Belə ki, uzun müddət qəbul olunmuş düzxətli dreyf fəzasına əks etdirici sahə əlavə etməklə, kütlələrə görə ayrılmaqda olan ionları 180° döndərməklə «kütlə reflektoru» adlanan cihaz [1, 2], sonralar isə ionları 2 dəfə fokuslanmağa məcbur edən aksial – simmetrik elektrostatik sahənin köməyi ilə energetik fokuslanma əldə edildi [3, 4].

Aksial – simmetrik sahəli dreyf fəzasındakı energetik fokuslanmanın mahiyyəti ondan ibarətdir ki, dreyf fəzası sahəsiz və radial sahədən ibarət olduğundan eyni kütləli, lakin enerjisi çox olan ionların uçuş yolu süni olaraq uzaldılaraq onların detektora kiçik enerjili ionlarla eyni zamanda çatması təmin olunur. Bu zaman sahəsiz və sahəli hissələrin konfigurasiyası elə seçilir ki, eyni M/q və müxtəlif başlanğıc sürətə malik ionlar detektora eyni vaxtda çatsın, başqa sözlə uçuş müddəti başlanğıc sürətdən asılı olmasın.

Kütlə spektrometrlərinin həssaslığını və ayırdetmə qabiliyyətini məhdudlaşdıran digər səbəb ion mənbəyinin çıxışında yaranan ion dəstəsinin bucağa görə dağınıqlığıdır. Həm üfüqi, həm də şaquli müstəvilərdə uyğun olaraq α və β açılma bucağına malik ion dəstəsini dreyf fəzasının sonunda bir nöqtədə (və ya kiçik oblastda) fokuslanmaması cihazın buraxma qabiliyyətini (deməli, həssaslığını) məhdudlaşdırır.

Hesablamalar göstərir və təcrübə təsdiq edir ki, bu məhdudlaşdırıcı amillərin təsirini minimuma endirmək üçün uçuşmüddətli analizatorlarda fokuslayıcı element kimi radial sahədən istifadə etmək daha məqsədəuyğundur. Bu məqsədlə «üçqat» fokuslanma əldə etmək üçün müxtəlif dönmə bucağına malik ($20^\circ - 245^\circ$) aksial – simmetrik elektrostatik sahədən istifadə edilir.

[5] – də verilən məlumata görə açılma bucaqları $\alpha=1,5^\circ$ və $\beta=2,0^\circ$ olan və enerjiyə görə dağınıqlığı 2,5 % olan ion dəstəsini kiçik oblastda toplamaq üçün aksial – simmetrik sahədə ionların dönmə bucağı 164° olmalıdır. Bu zaman ayırdetmə qabiliyyətini $R=500$ qədər çatdırmaq olar. Bu istiqamətdə aparılan işlərdə [4] ionların uçuş müddətinə görə «üç qat» ($\alpha, \beta, \Delta W$) fokuslanmasının dönmə bucağının maksimum qiymətinin 254° bərabər olduğu da göstərilmişdir.

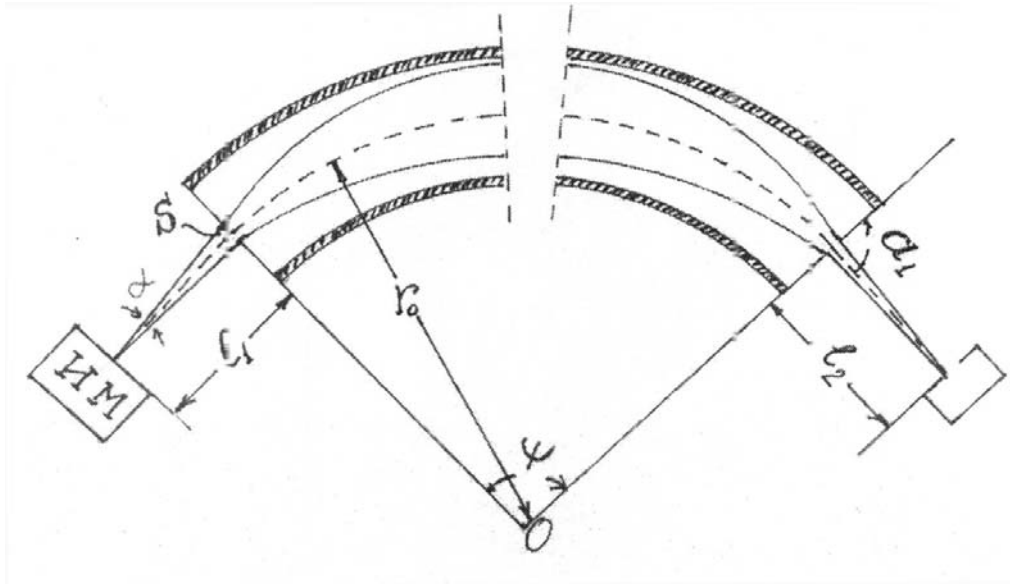
Lakin, bəzi praktik məsələlərin həllində uçuş müddətli ion analizatorunun həndəsi ölçülərini mümkün qədər kiçiltmək zərurəti meydana çıxır. Bu vaxt uzunluğu 150 sm olan dreyf fəzasının sahəli hissəsi hesabına kifayət qədər yığıcam düzəltmək olar.

İşdə ionların aksial – simmetrik sahədə dönmə bucağının mümkün qiymətlərində «üç qat» fokuslanmanın əldə olunması şərtləri nəzərə olaraq araşdırılmış və bu şərtlər daxilində ion analizatorunun həndəsi ölçüləri hesablanmışdır.

Bunun üçün düzxətli l_1 və l_2 aksial – simmetrik elektrik və (və ya) maqnit sahələrindən ibarət dreyf fəzasından orta r_0 trayektoriya (şək. 1) ilə hərəkət edən ionların hərəkət tənliyindən [4]

$$-1 = k - \frac{r_0 e H_0}{\sqrt{2 M_0 c^2 V_0 \left(1 - \frac{U_0}{V_0}\right)}} \quad (1)$$

istifadə edək. Burada $k = \frac{r_0 E_0}{2 V_0} \left(1 - \frac{U_0}{V_0}\right)^{-1}$, $e V_0$ və M_0 orta trayektoriya ilə hərəkət edən ionların enerjisi və kütləsidir; c - işıq sürəti; e - elektronun yükü; U_0 - radial sahənin ortasındakı ($R = r_0$) potensialı; E_0 - elektrik; H_0 - maqnit sahələrinin intensivliyidir.



Şəkil 1.

Baxdığımız yalnız elektrik sahəsi halı üçün ($H_0 = 0$) orta trayektoriyanın radiusu üçün (1)-dən

$$r_0 = -2 \frac{V_0}{E_0} \left(1 - \frac{U_0}{V_0}\right) \quad (2)$$

alırıq. Onda xətti yaxınlaşmada aksial - simmetrik elektrik sahəsində kütlələri M_0 olan ionların zamana görə fokuslanma şərti

$$t = \frac{r_0}{v_0} \left(T_0 + \sum_{i=1}^7 T_i \alpha_i \right) \quad (3)$$

olar. Burada $T_0 = \lambda_1 + \lambda_2 + \psi$ ($\lambda_1 = \frac{l_1}{r_0}; \lambda_2 = \frac{l_2}{r_0}; \psi$ - radianlarla dönmə bucağı).

$$T_1 = \frac{1-k}{\omega_2} [1 + \alpha_1 \lambda_1 (1-k)] + \frac{\lambda_1}{\omega} (1-k) \sin \omega \psi - \frac{1-k}{\omega^2} [1 + \alpha_1 \lambda_1 (1-k)] \cos \omega \psi$$

$$T_2 = 0$$

$$T_3 = \frac{\alpha_1}{\omega^2} (1-k)^2 + \frac{1-k}{\omega} \sin \omega \psi - \frac{\alpha_1}{\omega^2} (1-k)^2 \cos \omega \psi$$

$$T_4 = 0$$

$$T_5 = \left[\frac{(1-k)^2}{2\omega^2} + \frac{1}{2} \right] \psi - \frac{(1-k)^2}{2\omega^3} \sin \omega \psi - \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad (4)$$

$$T_6 = \left[\frac{1-k^2}{2\omega_2} + \frac{1}{2} \right] \psi - \frac{1-k^2}{2\omega^3} \sin \omega \psi + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$

$$T_7 = \frac{1}{2} \left[\frac{\alpha_1 (1-k)}{\omega_2} + \psi \right] - \frac{\alpha_1 (1-k)}{2\omega^3} \cos \omega \psi,$$

elektrik və maqnit sahələrini, $\alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha; \alpha_2 = \operatorname{tg} \beta; \alpha_3 = \frac{S}{r_0};$

$$\alpha_4 = \frac{h}{r_0} \text{ sistemin hündəsi ölçülərini, } \alpha_5 = \frac{\Delta V}{V_0}; \alpha_6 = \frac{\Delta M}{M};$$

$\alpha_7 = \frac{U_0}{V_0}$ ion dəstəsinin enerjiyə və kütləyə görə dağılıqlığını, $\omega (2 \div 5)$ aksial – simmetrik

sahənin paylanması, α_i isə sahəli hissənin sərhəddinin formasını xarakterizə edən əmsaldır.

(3) – ə daxil olan T_1 əmsalı ion dəstəsinin üfüqi (radial) istiqamətdə genişlənməsi (α_1); T_3 - ion dəstəsinin şaquli istiqamətdə genişlənməsini; (α_2), T_5 və T_6 - müxtəlif kütlə və enerjiyə malik ionların uçuş müddətinə görə dispersiyanı xarakterizə edir.

Hündəsi ölçüləri S (şəkilə bax), açılma bucağı α olan eyni kütləli ($T_5 = 0$) ionlardan ibarət paketin uçuş müddətinə görə fokuslanması üçün (3) – ə daxil olan $T_1 = T_3 = T_5 = 0$ olması zəruridir. Onda (4) –də $T_3 = 0$ qəbul edib alınan ifadəni $T_1 = 0$ yerinə yazsaq

$$\frac{1-k}{\omega^2} (1 - \cos \omega \psi) = 0 \quad (5)$$

alarıq.

$T_5 = 0$ şərtindən isə müxtəlif enerjiyə malik ionların zamana görə fokuslanma şərtini alarıq:

$$\lambda_1 + \lambda_2 = \left[\frac{(1-k)^2}{\omega^2} - 1 \right] \psi - \frac{1-k^2}{\omega^3} \sin \omega \psi \quad (6)$$

Baxdığımız elektrik sahəsi halında ($k = -1$) (5) ifadəsinin ödənilməsi üçün

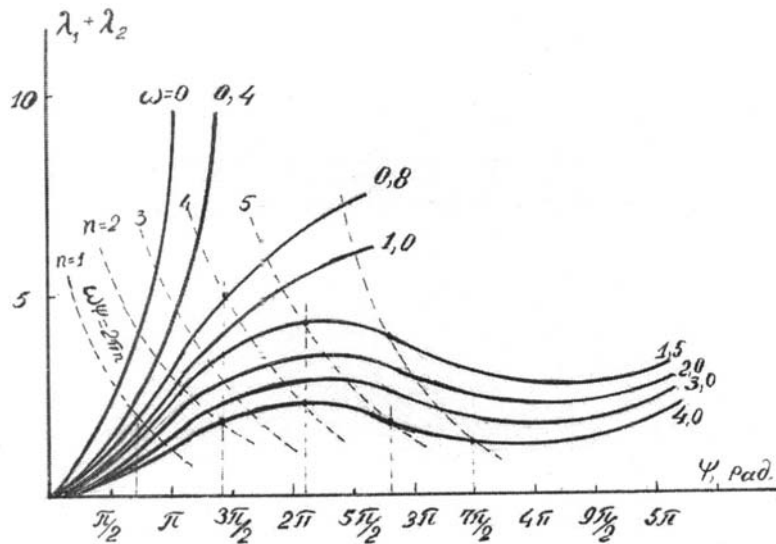
$$\omega \psi = 2 \pi n \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (7)$$

olmalıdır. Onda (7) – ni (6) da nəzərə alsaq ion analizatoruna daxil olan paketin hər üç parametərə ($\alpha, \beta, \Delta W$) görə fokuslanma şərti

$$\lambda_1 + \lambda_2 = \psi \left\{ \left[\frac{\psi(1-k)}{2\pi} \right]^2 - 1 \right\} \quad (8)$$

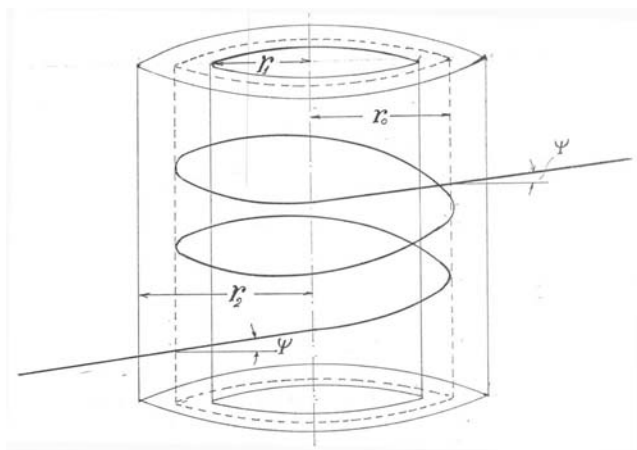
olar. (7) – ni (6) da nəzərə alsaq ion analizatorunun dreyf fəzasının sahəsiz hissələri ($\lambda_1 + \lambda_2$) ilə aksial – simmetrik sahədə $\omega\psi = 2\pi n$ şərti daxilində dönmə bucağından asılılığı (6) şəkl. 2 – də verilmişdir. Həmin şəkildə n -in müxtəlif qiymətləri üçün $\omega = F(\psi)$ asılılığı da verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi elektrik sahəsinin ($k = -1$) paylanması asılı olmayaraq ($\omega = 0 \div 4$) fokuslanma n -in praktiki olaraq bütün qiymətlərində mümkündür.

[4] – də alınan nəticədən fərqli olaraq (7) – yə daxil olan n ω -nın qiymətindən asılı olmayaraq istənilən real qiymətləri ala bilər. Bu o deməkdir ki, ionlar paylanması asılı olmayaraq aksial – simmetrik sahədə praktik olaraq istənilən sayda dövrə vura bilərlər. Bunun üçün yeganə şərt M_0 kütləli ionların orta trayektoriyası silindrlərin oxuna perpendikulyar müstəvi üzərində yox, radiusu $R = r_0$ silindrik səth üzrə vintvari trayektoriya ilə hərəkət etməlidir (şəkl. 3). Bu trayektoriyanın toxunanının fırlanma oxu ilə əmələ gətirdiyi bucağın seçilməsi ($\gamma = 90^\circ \div 0^\circ$) sahənin qiymətindən $E_0 = \frac{U}{r_{0\gamma}}$ və onun paylanması asılıdır.



Şəkil 2.

Beləliklə, uçuşmüddətli kütlə spektrometrində ionların «üç qat» fokuslanmasını əldə etmək üçün ion analizatorunda aksial – simmetrik sahədən istifadə etmək məqsədəuyğundur. Bu zaman radial sahədə uçuş yolunu uzatmaq üçün onları oxa nəzərən $\gamma < 90^\circ$ bucaq altında göndərmək kifayətdir.



Şekil 3.

1. Каратаев В.И., Мамырин Б.А., Шмикк Д.В. // ЖТФ, 1971, т. 41, в. 7, с. 1498.
2. Мамырин Б.А., Шмикк Д.В. // ЖТФ, 1979, т. 76, в. 5, с. 1500.
3. Сысоев А.А. Физика и техника масс – спектро-метрических приборов и электромагнитных установок. 1983, М, Атомиздат, 255 с.
4. Олейников В.А., Сысоев А.А. Методика расчета и исследование фокусирующих по времени пролета свойств секторных аксиально – симметрических полей ВИНИТИЮ, препринт № 2780, 32 с.
5. Oetjen G.H. Poschenrider W.P. // Inter Journ. Of Mass – Spectr. And Ion Physics 1975, v. 16. No. 4, p. 353.

ВРЕМЯПРОЛЕТНЫЙ МАСС – СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

НУРУБЕЙЛИ З.К., НУРИЕВ К.З., НУРУБЕЙЛИ Т.К.

В работе рассмотрены пути устранения причин, ограничивающих основные показатели времяпролетных масс – спектрометров, предназначенных для исследования диэлектриков, подвергшихся воздействию электрических разрядов. На основе тройной фокусировки по времени пролета ионного пакета, обладающего определенным разбросом по энергии и углу, предложена конструкция аксиально – симметричного анализатора, где ионы движутся по винтообразной траектории в радиальном электрическом поле.

TIME OF FLIGHT MASS–SPECTROMETER FOR RESEARCH OF DIELECTRICS SUBJECTED TO EFFECT OF ELECTRICAL DISCHARGES

NURUBEYLI Z.K., NURUYEV K.Z., NURUBEYLI T.K.

The reasons, limiting the technical parameters of time – span mass – spectrometers for research of dielectrics subjected to effect of electrical discharges are theoretically considered in this paper. The design of axial – symmetrical analyzer, where ions are moving on helical trajectory in the radial electrical field is proposed on the basis of condition of triple focusing of ions on span time, having dispersion on initial energy and angle.