

Электроны хурдасгуураар цацрагт цом гаргах боломжийн тухай

Ш.Гэрбиш¹, Н. Балжинням¹, Г. Ганболд², О. Отгонсүрэн³.

¹-ОХУ-ын Дубна хотын ЦШНИ-ийн НФЛ, ²-МУИС-ийн ЦСТ, ³-МУБИС.

Удиртгал: 21-р зууны эхэнд 2500 орчим цацраг идэвхт цом мэдэгдэж байсны 200 орчим нь шинжлэх ухаан, техникийн болон анагаах ухааны олон салбарт хэрэглэгдэж байна. Эдгээрийн ихэнх нь зохиомлоор тухайлбал эгэл боомс (цэнэгт боомс, гамма цацраг, нейтрон) бодистой харилцан үйлчлэхэд цэнэгт боомсийн хурдасгуур, нейтроны үүсгүүрт явагдах цөмийн урвалын үр дүнд үүснэ.

Орчин үеийн анагаах ухаанд хүний организмын биохимийн үзэгдэлүүдийг цацрагт цомоор судлах хамгийн дэвшилтэй аргууд нэвтэрч байна. Энэ асуудалд оноогийн тулгуур (физик, хими, биологи) шинжлэх ухаан, цөмийн техник (цацрагийн үүсгүүр, хурдасгуур)-ийн болон оношлогооны багаж төхөөрөмж (детектор, сцинтилляцийн камер, томограф, компьютер ашигласан автоматжуулалт)-үүдийн хөгжил ихээхэн нөлөөлж байна[2].

Цөмийн анагаах ухааны олон чиглэлийн (оношлогоо, эмчилгээ, цацраг идэвхт шинэ эмийн зүйлс, метаболизмын элементийн судалгаа) хөгжил, багаж төхөөрөмж (автомат удирдлага, бүртгэх төхөөрөмж, мэдээллийн боловсронгуй техник хэрэгсэл)-ийн дэвшилттэй уялдан цацрагт цөмийн хэрэглээний нэр төрөл, тоо хэмжээ жилээс жилд асар ихээр өсөж байна. Өнгөрсөн зууны 80 оны дундуур жилд 500 сая долларын цацрагт цом үйлдвэрлэл ашиглагдаж байсан бөгөөд мөн оны сүүлээр зөвхөн цацрагт (^{99m}Tc) цөмийн хэрэглээ ганцхан жилд 100 сая долларт хүрчээ.

Тусгайлан сонгосон эд эрхтэний тухайлбал тархины үйл ажиллагааны судалгаанд позитроны томограф өргөн хэрэглэгдэх болсонтой холбоотой богино настай позитроны цацрагт цөмүүдийн хэрэгцээ асар ихээр нэмэгджээ. МАГАТЭ – гийн мэргэжилтэн нарын дүгнэлт, хэвлэлийн мэдээлэлээс сүүлийн жилүүдэд дэлхий дээр нийт үйлдвэрлэгдэж байгаа цацрагт цөмийн 50% нь цөмийн анагаах ухааны хэрэгцээнд зориулагдаж байгаа тооцоо байна.

Цацрагт идэвхт цом гаргах боломж.

ОХУ-ын Дубна хотын ЦШНИ – ийн Цөмийн урвалын лабораторийн электроны цикл хурдасгуур микротрон МТ-25 ашиглан цацраг идэвхт цөмийн судалгаа сүүлийн жилүүдэд явагдаж ^{99m}Tc , ^{225}Ac , ^{237}U цөмүүдийг гаргаж байна[3-6]. Тус институтын Нейтроны физикийн лабораторт зохион бүтээж байгаа резонансны нейтроны эрчимтэй (ИРЕН) үүсгүүрийг ашиглан цацраг идэвхт зарим цом гаргах боломжийн талаар энд өгүүлнэ.

ИРЕН нь электроны шугаман хурдасгуураар удирдагдах нейтроны шинэ төрлийн үүсгүүр [1]. Хурдасгуурын техникийн үзүүлэлтийг микротрон (МТ-25)-той харьцуулан 1-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

Электроны хурдасгуурын техникийн үндсэн үзүүлэлтүүд

Хүснэгт 1.

Техникийн үзүүлэлт	Микротрон МТ – 25 (ЛЯР)	ИРЕН-ий шугаман хурдасгуур (ЛНФ)
Электроны энерги (E_{e^-}), МэВ	25	100
Электроны гүйдэл (I_{e^-}), мА	0.02	0.1
Чадал (P), кВт	0.5	10

Тэмдэглэл: $P_{\text{ЛНФ}}/P_{\text{МТ-25}} = 20$

ЦШНИ-ийн Нейтроны физикийн лаборатри (НФЛ)-д ашиглалтанд 2007 онд орох резонансны нейтроны ИРЕН үүсгүүрийн шугаман хурдасгуур нь микротрон МТ-25-аас төсөлд заасан үзүүлэлтээрээ 20 дахин их чадалтай байх ёстой байна[1]. Иймд микротрон МТ-25 ашиглан гаргаж байгаа цацрагт цөмүүдийн гаралт хурдассан электроны энерги (100 МэВ), шугаман хурдасгуурын чадлаас хамааран 60 дахин ихсэх тооцоо байна[7].

Фотоцөмийн урвалаар үүсгэх цацрагт цөмийн гаралт шарж байгаа гамма цацрагийн эрчим, тухайн цөмийн урвалын үзүүлэлтүүд болон шарагдаж байгаа бай цөмийн тооноос хамаарна. Фотоцөмийн урвалаар үүссэн тухайн цөмийн цацраг идэвхийг дараах томъёогоор олно.

$$A_y = \sigma \cdot \Phi \cdot \frac{mN_A}{M} \theta \cdot (1 - e^{-\lambda t}), \quad \left[\frac{\text{распио}}{\text{сек}} \right] \quad (1)$$

Үүний σ - урвалын огтлол, Φ - фотоны урсгал, m - бай цөмийн масс, M - масс тоо, θ - бай цөмийн эзлэх хувь, λ - задралын тогтмол, t - шарсан хугацаа.

Энэхүү томъёог ашиглан фотоцөмийн урвалын гаралт, хөндлөн огтлол, цацраг идэвхийг хэмжилтийн үр дүнг ашиглан олно.

Фотоцөмийн урвалаар электроны шугаман хурдасгуур ашиглан үүсгэх зарим цацрагт цөмийн гаралтын тооцооны утгыг 2-р хүснэгтийн эцсийн босоо шугаманд үзүүлэв.

Фотоцөмийн урвалаар электроны шугаман хурдасгуур
ашиглан гаргах зарим цөмүүдийн гаралт

Хүснэгт 2.

Цацрагт цөм	Хагас задралын үе, (цаг)	Цөмийн урвал	Изотопийн тархалт, (%)	Урвалын босго, (МэВ)	Гаралт*, (кБк/мкА ч мг)
$^{99}_{42}\text{Mo}$	66	$^{100}\text{Mo}(\gamma, n)$	9,62	-8,29	240
$^{225}_{89}\text{Ac}$	240	$^{226}\text{Ra}(\gamma, n)$	0,65мкг	-6,75	40
$^{237}_{92}\text{U}$	162	$^{238}\text{U}(\gamma, n)$	99,27	-6,15	80

Тэмдэглэл: Баримжаалсан утга.

Өнгөрсөн зууны эцэст хүний дотоод эрхтэн, ялангуяа тархи, хавдар судлал, зүрх судасны үйл ажиллагааг хянахад позитроны томограф нэвтэрсэн нь анагаах ухаанд гарсан нэгэн хувьсгал болсон бөгөөд үүнтэй уялдан богино настай позитроны цацрагт олон тооны цөм өргөн ашиглагдах болсон.

ИРЕН төхөөрөмжийн электроны хурдасгуур дээр анагаах ухааны салбарт өргөн хэрэглэгдэж байгаа зарим цацрагт цөмүүдийг $E_\gamma \leq 25$ МэВ энергитэй фотоны үйлчлэлээр явагдах (γ, n) , $(\gamma, 2n)$, (γ, p) , (γ, pn) , (γ, α) фотоцөмийн урвалаар үүсгэхийг дараах хүснэгтүүдэд үзүүлэв [8,9]. Их $E_\gamma \geq 25$ МэВ энергитэй гамма квантаар явагдах $(\gamma, 3n)$, $(\gamma, 4n)$, $(\gamma, 5n)$, $(\gamma, 2p)$, $(\gamma, 2pn)$, $(\gamma, \alpha n)$, $(\gamma, \alpha p)$, болон (γ, f) урвалуудын талаарх нарийн мэдээлэл хомс, үүсэх цацрагт цөмүүдийн гаралт тодорхойлох нэмэлт туршилт судалгаа шаардагдах учир энд оруулаагүй.

ИРЕН төхөөрөмжийн электроны хурдасгуур ашиглан $^{99}_{42}\text{Mo}$ үүсгэх боломжийг 3-р хүснэгт, 1-р зурагт тус тус үзүүлэв. Эндээс гамма квант, нейтроноор нэгэн зэрэг $^{99}_{42}\text{Mo}$ үүсгэх боломжтой байна.

ИРЕН төхөөрөмжөөр цацрагт ^{99}Mo цөм үүсгэх боломж.

Таблица 3.

Цөмийн урвал	хагас задралын үе	Изотопын тархалт, (%)	Урвалын босго, (МэВ)	Урвалын огтлол, (mb)
$^{100}_{42}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}_{42}\text{Mo}$	66.02 ч	9,6	-8,29	128
$^{100}_{42}\text{Mo}(\gamma, p)^{99}_{41}\text{Nb}$	15 с	9,6	-11,3	67
$^{99m}_{41}\text{Nb}$	2,6 м	9,6	-11,5	16
$^{98}_{42}\text{Mo}(n, \gamma)^{99}_{42}\text{Mo}$	66,02 ч	24,1		130

Позитроны үүсгүүр цөмүүд. Фотоцөмийн урвалаар үүсэж болох эмнэлэгт оргон хэрэглэгддэг позитрон үүсгэх богино настай цацрагт цөмүүдийг 4-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

Позитрон үүсгэх богино настай цацрагт цөмүүд

Хүснэгт 4.

Цацрагт цөм, задралын хэлбэр	Хагас задралын үе, (мин)	Цөмийн урвал	Изотопын тархалт, (%)	Урвалын босго, (МэВ)	Цацрагийн энерги, (кэВ) и эрчим, (%)
$^{11}_6\text{C}$ $e^+ (99.8); \text{ЭЗ} (0.2)$	20,4	$^{12}_6\text{C}(\gamma, n)$ $^{13}_6\text{C}(\gamma, 2n)$	98,89 1,10	-18,72 -23,67	$E_{e^+} = 960$
$^{13}_7\text{N}$ $e^+ (99.8); \text{ЭЗ} (0.2)$	9,97	$^{14}_7\text{N}(\gamma, n)$ $^{15}_7\text{N}(\gamma, 2n)$	99,635 0,365	-10,55 -21,39	$E_{e^+} = 1190$
$^{15}_8\text{O}$ $e^+ (99.9); \text{ЭЗ} (0.1)$	2,05	$^{16}_8\text{O}(\gamma, n)$ $^{17}_8\text{O}(\gamma, 2n)$	99,759 0,037	-15,67 -19,81	$E_{e^+} = 1723$
$^{18}_9\text{F}$ $e^+ (96.9); \text{ЭЗ} (3,1)$	109,8	$^{19}_9\text{F}(\gamma, n)$	100,0	-10,43	$E_{e^+} = 635$
$^{45}_{22}\text{Ti}$ $e^+ (85); \text{ЭЗ} (15)$	185,4	$^{46}_{22}\text{Ti}(\gamma, n)$ $^{47}_{22}\text{Ti}(\gamma, 2n)$	7,99 7,32	-13,19 -22,07	719 (0.15)
$^{61}_{29}\text{Cu}$ $\text{ЭЗ} (100)$	204,6	$^{63}\text{Cu}(\gamma, 2n)$	69,1	-19,75	282,9 (13.0) 656,0 (9.59)
$^{64}_{29}\text{Cu}; \text{ЭЗ} (42)$ $e^+ (19); e^- (39);$	762	$^{65}\text{Cu}(\gamma, n)$	30,9	-9,92	1345,76(0.48)
$^{94m}_{43}\text{Tc}$ $e^+; \text{ЭЗ} (99.9)$	52	$^{96}\text{Ru}(\gamma, pn)$	5,46	-17,39	870,0(91.0)
$^{110}_{49}\text{In}$ $\text{ЭЗ} (100)$	69,1	$^{112}\text{Sn}(\gamma, pn)$	4,23	-17,59	657,7(97.89)

Цацрагт цөмийн генераторууд. Анагаах ухаан, биологи, биохимийн салбарт оргон ашиглагддаг цацрагт цөмийн генераторууд нь “Удаан настай цацрагт эх цөм (М) – ээс богино настай цацрагт охин цөм (D) үүсгэх” зарчимд үндэслэгдэнэ. A_M идэвхжилтэй эх цөм задрахад үүсэх охин цөмийн A_D идэвхжилийг $A_D = A_M(1 - e^{-\lambda_D t})$ илэрхийлэлээр тодорхойлно.

Охин цөмийн хагас задралын үе нь генераторын насыг тодорхойлох эх цөмийн хагас задралын үеэс ихээхэн ялгаатай, бага байх ёстой. Богино настай цацрагт цөм үүсгэх генераторын аргаар эх цөмөөс олон дахин, богино настай изотопыг үе үе, дэс дараалалтай ялгаж авах боломжтой бөгөөд охин цөмийн цацраг (A_D) идэвхи t хугацааны дараа:

$$A_D = A_M(\lambda_D / (\lambda_D - \lambda_M))(1 - e^{-(\lambda_D - \lambda_M)t}) \quad (2)$$

бөгөөд $\lambda_D > \lambda_M$, $t \ll 1 / (\lambda_D - \lambda_M)$ нөхцөлд цацраг идэвхийн харьцаа

$$A_D / A_M = \lambda_D / (\lambda_D - \lambda_M)$$

болно.

$^{99}_{42}\text{Mo}$ $e^+(100)$	66 цаг	$^{100}\text{Mo}(\gamma, n)$	9.62	-8.29	$E_{\gamma} = 1200$ кэВ 140.5 (91) 181.1 (6.0) 739.4 (13.0)
$^{128}_{56}\text{Ba}$ $\gamma(100)$	2.43 өдөр	$^{130}\text{Ba}(\gamma, 2n)$	0.101	-18.47	273.4 (14.5)
$^{178}_{74}\text{W}$ $\gamma(100)$	22 өдөр	$^{180}\text{W}(\gamma, 2n)$	0.135	-16.2	

Генераторуудын үүсгэх охин нөмүүд, түүний хэрэглээ.
Генераторуудын үүсгэх охин нөмүүд, түүний хэрэглээ

Хүснэгт 6.

Генератор	Охин нөмүүд	Харас зааралын үс, (мин)	Энерги E_{γ} н E_{β} (кэВ); Эрчим, (%) зааралын хэрэг	Хэрэглээ
$^{44}\text{Fe}/^{44}\text{Sc}$	$^{44}_{21}\text{Sc}$	235.2	$E_{\gamma} = 1500$ 1157.0 (99.8) $e^+(95); \gamma(5)$	Ясны системийн болон метаболизмын судалгаа
$^{52}\text{Fe}/^{52}\text{Mn}$	$^{52}_{25}\text{Mn}$	21.3	$E_{\gamma} = 2631$ 1434.3 (100.0) $e^+(98); \gamma(2)$	Чөмөгний болон цусны судалгаа
$^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$	$^{68}_{31}\text{Ga}$	68.3	$E_{\gamma} = 1900$ 1077.4 (3.2) $e^+(90); \gamma(10)$	Позитроны томограф
$^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$	$^{82}_{37}\text{Rb}$	1.3	$E_{\gamma} = 3350$ 776.8 (13.79) $e^+(95); \gamma(5)$	Зүрх судасны өвчний оношлогоо
$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	361.2	140.5 (85.0) ИП (100)	Эл. эрхтэний оношлогоо
$^{128}\text{Ba}/^{128}\text{Cs}$	$^{128}_{55}\text{Cs}$	3.8	$E_{\gamma} = 2285$ 443.2 (35.0) $e^+(95); \gamma(39)$	Оношлогоо
$^{178}\text{W}/^{178}\text{Tl}$	$^{178}_{73}\text{Tl}$	9.3	93.2 (4.0) ЭЗ(98.9)	Хүүхдийн зүрхний өвчний оношлогоо

Гамма цацаргалын үүсгүүрүүд. Фотономийн урвалаар электронь шугаман хурдасгуур ашиглан гаргаж болох эмчилгээ, оношлогоонд өргөн хэрэглэгддэг зарим гамма цацаргалын үүсгүүр болох цацрагт нөмүүдийн 7-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

Гамма цацаргалын үүсгүүр болох цацрагт нөмийн үзүүлэлтүүд

Хүснэгт 7.

Цацрагт цөм, заарал хэрэгсэл	Харас зааралын үс, (цаг)	Ломийн урвал	Изотопын тархалт, (%)	Урвалын босго, (МэВ)	Цацаргалын энерги, (кэВ); эрчим, (%)
$^{123}_{53}\text{I}$ $\gamma(100)$	13.3	$^{124}\text{Xe}(\gamma, p)$	0.096	-6.79	159.1 (83.0)

Анагаах ухаан, биохимийн судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг фотоцеомийн урвалаар үүсгэж болох зарим генераторуудын тухай авч үзье. Үүнд:

1. $^{44}\text{Tl}/^{44}\text{Sc}$. Позитроны томографийн судалгаанд ^{44}Sc цацрагт цом өргөн хэрэглэгддэг бөгөөд эх ^{44}Tl - цөмийг фотоцеомийн урвалаар үүсгэх боломжтой. Ихэнх тохиолдолд ^{44}Tl - ийг, ^{51}V цөмийг протоноор шарж гаргадаг.
2. $^{52}\text{Fe}/^{52\text{m}}\text{Mn}$. Төмрийн бусад цацрагт цөмүүдээс ^{52}Fe нь чөмөгний болон цусны байлцыг хянахад ихээхэн тохиромжтой. Мөн хүчтэй протоны хурдасгуур дээр Ni байг шарж гаргадаг.
3. $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$. Шинэ төрлийн цацрагт идэвхит эмийн зүйлсийн нэр төрөл олшрох тусам гаргадаг.
4. $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$. Зүрх судасны үйл ажиллагааг хянах судалгаанд позитроны томограф өргөн ашиглагдах болсонтой уялдан энэ генераторын хэрэглээ өссөн. Эринхтэй урсгалтай, өндөр энергитэй протоноор металл ^{85}Rb -г шарж Кюри идэвхтэй ^{82}Sr - ийг гаргалаг тусгай төхөөрөмжийг ОХУ – ын Тройцк хотын ЦФХ, Канадын Ванкувер хотын TRIUMF хамтран бүтээжээ.
5. $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Цөмийн анагаах ухаанд нилээд өргөн хэрэглэгддэг энэхүү генераторыг реактор ашиглан гарган авдаг байна. Олон улсын атомын энергийн агентлагын мэргэжилтэн нарийн тооцоогоор жилд $3 \cdot 10^6 \text{ Ки}$, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ зарцуулалтаг байна. Цацрагт цөмийн $^{235}\text{U}(n,f)$, $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)$ урвалаар гаргаж авахаас гадна бас протоны хурдасгуураар $^{100}\text{Mo}(p,2p)$, ^{99}Nb , $^{100}\text{Mo}(p,pn)$ урвал ашиглан гарган авдаг байна.
6. $^{128}\text{Ba}/^{128}\text{Cs}$. Зүрх судасны үйл ажиллагааны хяналтын судалгаанд позитроны томограф ашиглахад цацрагт цом (^{128}Cs) позитроны үүсгүүр хэрэглэгддэг. Протоны хурдасгуурууд ашиглан $E_p > 60 \text{ МэВ}$ энергитэй протоноор цацрагт (^{128}Ba) цөмийг гаргана.
7. $^{178}\text{W}/^{178}\text{Ta}$. Зүрх судасны өвчний оношлогоонд цацрагт (^{178}Ta) цөмийг ашиглах асуудлыг цөмийн анагаах ухаанд нарийн судалжээ. Өргөн ашиглагдах ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) цөмийг бодвол цацрагийн үйлчлэлээр арай бага урваас хүүхдийн зүрх судасны өвчний оношлогоонд их тохиромжтой байна. Рентген туяа гаргалаг урваас (^{178}Ta)-г олон утастай пропорциональ камераар бүртгэхэд тохиромжтой. Ихэвчлэн цацрагт (^{178}W) цөмийг металл Ta - ийг $E_p \approx 70 \text{ МэВ}$ энергитэй протоноор шарахад явагдах $^{181}\text{Ta}(p,4n)$ урвалаар гаргадаг байна. Элгээр генераторуудын эх цөмүүдийг фотоцеомийн урвалаар үүсгэх боломжийг 5-р хүснэгтэд үзүүлэв.

Цацрагт цөмийн генераторын эх цөмүүдийн үзүүлэлтүүд

Хүснэгт 5.

Цацрагт цөм, задралын хэлбэр	Харас задралын үе	Цөмийн урвал	Изотопын тархалт, (%)	Урвалын босго, (МэВ)	Цацрагийн энерги, (кэВ); эрчим (%)
^{44}Tl ^{22}Sc (100)	47.3 жил	$^{46}\text{Ti}(\gamma,2n)$	7.99	-22.0	67.8 (88.0) 78.4 (94.5)
^{52}Fe e^+ (56) ; 53 (44)	8.3 цаг	$^{54}\text{Fe}(\gamma,2n)$	5.84	-24.06	168.80 (100)
^{68}Ge ^{32}Ga (100)	271 жил	$^{70}\text{Ge}(\gamma,2n)$	20.5	-22.37	
^{82}Sr ^{38}Y (100)	25 өдөр	$^{84}\text{Sr}(\gamma,2n)$	0.56	-20.78	

$^{201}_{81}Tl$ ЭЗ (100)	73.5	$^{203}Tl(\gamma, 2n)$	29,5	-14,59	
$^{67}_{31}Ga$ ЭЗ (100)	78,3	$^{69}Ga(\gamma, 2n)$	60,20	-18,60	93.31 (37,8) 184.60 (20,4) 300.20 (15,0)
$^{111}_{49}In$ ЭЗ (100)	67,92	$^{113}In(\gamma, 2n)$ $^{112}Sn(\gamma, p)$	4,23 0,95	-17,28 -7,73	23.15 (68.0) 26.20 (14.0) 171.29 (91.0) 245.35 (94.0)
$^{77}_{35}Br$ $e^+ (0.74)$; ЭЗ (99.3)	57	$^{79}Br(\gamma, 2n)$	50,52	-18,98	249.70 (3.2) 297.20 (4.2) 521.00 (23.6) 579.40 (2.8) 818.50 (2.0)
$^{35}_{44}Ru$ ЭЗ (100)	69.12	$^{98}Ru(\gamma, n)$ $^{99}Ru(\gamma, 2n)$	1,87 12,63	-10,29 -17,76	18.25 (26.0) 18.37 (52.0) 20.60 (10.6) 215.20 (91.0) 324.40 (11.0)
$^{127}_{54}Xe$ ЭЗ (100)	873.74	$^{128}Xe(\gamma, n)$ $^{129}Xe(\gamma, 2n)$	1,92 26,44	-9,38 -16,19	145.22 (3.7) 172.10 (20.0) 202.84 (58.2) 374.96 (17.5)

Эмчилгээний цацрагт цөмүүд. Фотоцөмийн урвалаар электроны шугаман хурдасгуур ашиглан гаргаж болох цацрагийн эмчилгээнд өргөн хэрэглэгддэг зарим гамма цацрагийн үүсгүүр болох цацрагт цөмүүд, түүний хэрэглээг 8-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

Цацрагийн эмчилгээнд өргөн хэрэглэдэг зарим цацрагт цөмүүд,
тэдгээрийн хэрэглээ

Хүснэгт 8.

Цацрагт цөм, хагас задралын үе.задралын хэлбэр	Цөмийн урвал	Изотопын тархалт, (%)	Урвалын босго, (МэВ)	Цацрагийн энерги (кэВ), эрчим (%)	Хэрэглээ
$^{47}_{21}Sc$ 3,42 ө $e^- (100)$	$^{48}Ti(\gamma, p)$ $^{49}Ti(\gamma, pn)$ $^{51}V(\gamma, \alpha)$ $^{52}Cr(\gamma, \alpha p)$	73,99 5,46 99,75 83,76	-11,44 -19,59 -10,29 -20,79	159,4 (70.0)	Дотор эрхтэний (элэг, дэлүү) хавдрын эмчилгээ
$^{77}_{35}Br$ 57 ц ЭЗ (100)	$^{79}Br(\gamma, 2n)$	50,52	-18,98	249,7(3,2) 521,0(23,6)	Антителийн биохимийн үйлчлэл, радиоимун- ны эмчилгээ
$^{88}_{39}Y$ 106.6 ө ЭЗ (100)	$^{89}Y(\gamma, n)$	100,0	-11,45	898,04 (93,0) 1836,13 (99,36)	Радиоимун-ны эмчилгээ
$^{90}_{39}Y$ 64,1 ц	$^{91}Zr(\gamma, p)$ $^{92}Zr(\gamma, pn)$	11,23 17,11	-9,37 -18,01	$E_c = 934 -$ 2281	Хавдрын эмчилгээ

$^{97}_{44}\text{Ru}$ 2.88 о ЭЗ (100)	$^{98}\text{Ru}(\gamma, n)$ $^{99}\text{Ru}(\gamma, 2n)$	1.868 12.63	-10.29 -17.76	125.2 (91.0) 324.4 (11.00)	Дан клоналын антителтэй хавсарсан радиоимун- ны эмчилгээ
$^{103}_{46}\text{Pd}$ 17ө ЭЗ (100)	$^{104}\text{Pd}(\gamma, n)$ $^{105}\text{Pd}(\gamma, 2n)$	10.97 22.20	-10.02 -17.11	Рентген туяа	Түрүү булчирхайн хавдрын эмчилгээ
$^{111}_{47}\text{Ag}$ 7.45 о e^{-} (100)	$^{112}\text{Cd}(\gamma, p)$ $^{113}\text{Cd}(\gamma, pn)$	24.07 12.26	-9.66 -16.20	$E_{\gamma} = 360 - 1050$	Тунгалагийн эргэлтийн эмчилгээ
$^{111}_{49}\text{In}$ 2.83 о ЭЗ (100)	$^{113}\text{In}(\gamma, 2n)$	4.23	-17.28	Рентген туяа 171.3 (91.0) 245.3 (94.0)	Дан клоналын антителтэй хавсарсан радиоимун-ны эмчилгээ
$^{115}_{48}\text{Cd}$ 53.5 и e^{-} (100)	$^{116}\text{Cd}(\gamma, n)$	7.58	-8.69	527,86 (27.50)	Үе мөчний эмчилгээ
$^{125}_{53}\text{I}$ 60.14 ө ЭЗ (100)	$^{127}\text{I}(\gamma, 2n)$	100.0	-16.25	Рентген туяа	Дан клоналын антителтэй хавсарсан радиоимун- ны эмчилгээ
$^{131}_{53}\text{I}$ 8.06 о e^{-} (100)	$^{127}\text{Xe}(\gamma, p)$	26,89	-9,12	364,5 (82,4)	Бамбай булчирхай элэгний хавдрын эмчилгээ
$^{153}_{62}\text{Sm}$ 46.8 и e^{-} (100)	$^{154}\text{Sm}(\gamma, p)$	22,53	-7,90	Рентген туяа 103,2 (28,2)	Ясны хавдар түүний үсэр- хийлэлийн эмчилгээ
$^{159}_{64}\text{Gd}$ 18.6 и	$^{160}\text{Gd}(\gamma, n)$	21.90	-7,41	363,6 (11,2)	Хавдрын эмчилгээ
$^{166}_{67}\text{Ho}$ 26.9 и e^{-} (100)	$^{167}\text{Er}(\gamma, p)$ $^{168}\text{Er}(\gamma, pn)$	22,94 27,07	-7,51 -15,27	Рентген туяа	Үе мөчний хэрлэг өвчний эмчилгээ
$^{169}_{68}\text{Er}$ 9,6 ө e^{-} (100)	$^{170}\text{Er}(\gamma, n)$	14,88	-7,16	Рентген туяа	
$^{170}_{69}\text{Tm}$ 127 ө e^{-} (99.85)	$^{171}\text{Yb}(\gamma, p)$ $^{172}\text{Yb}(\gamma, pn)$	14,31 21,82	-6,89 -15,06	Рентген туяа 84,26 (10,0)	Цусны цагаан цогцосын хавдрын эмчилгээ
$^{175}_{70}\text{Yb}$ 4.21 о e^{-} (100)	$^{171}\text{Yb}(\gamma, n)$	12,73	-6,67	282.6 (3.7) 396,1 (6,0)	Хавдрын эмчилгээ

$^{177m}_{71}\text{Lu}$ 155 ө e^- (78.3) ИШ (21,7)	$^{178}\text{Hf}(\gamma, p)$ $^{179}\text{Hf}(\gamma, pn)$	27,1 13,75	-8,29 -14,36	208,3 (62,0) 228,4 (37,0) 378,5 (29,0) 418,5 (21,0)	Дан клоалны ангителтэй хосолсон хавдрын эмчилгээ
$^{186}_{75}\text{Re}$ 90 ц e^- (93.1); ЭЗ(6,9)	$^{187}\text{Re}(\gamma, n)$ $^{187}\text{Os}(\gamma, p)$ $^{188}\text{Os}(\gamma, pn)$	62,93 1,64 13,30	-7,31 -6,53 -14,37	122,61 (0,7) 137,2 (12,0)	Ясны хавдрын эмчилгээ
$^{188}_{75}\text{Re}$ 16,8 ц e^- (100)	$^{189}\text{Os}(\gamma, p)$ $^{190}\text{Os}(\gamma, pn)$	16,1 26,4	-7,30 -15,07	155,0 (21,0)	Тархины хавдар, ясны үсэр- хийлэлтийн эмчилгээ
$^{192}_{77}\text{Ir}$ 74,2 ө e^- (95); ЭЗ(5)	$^{43}\text{Ir}(\gamma, n)$ $^{194}\text{Pt}(\gamma, pn)$	61,50 32,90	-7,82 -15,38	295,8 (29,2) 308,4 (30,6) 316,5 (85,8) 468,0 (50,5)	Хавдрын эмчилгээ
$^{198}_{79}\text{Au}$ 2,7 ө e^- (100)	$^{199}\text{Hg}(\gamma, p)$ $^{200}\text{Hg}(\gamma, pn)$	16,84 23,13	-7,25 -15,27	411,8 (95,5)	Үе мөчний хэрлэг өвчний эмчилгээ
$^{199}_{79}\text{Au}$ 3,1 ө e^- (100)	$^{200}\text{Hg}(\gamma, p)$ $^{201}\text{Hg}(\gamma, pn)$	23,13 13,22	-7,7 -13,93	158,4 (76,2) 208,2 (16,6)	

Биофизик, радиоэкологийн судалгааны цацрагт цөмүүд. Цөмийн зэвсэг, цөмийн эрчим хүчний төхөөрөмжүүд, үүссэн цагаас хүрээлэн байгаа орчинд уранаас хойшхи цацрагт цөмүүд үүсэх болжээ. Эдгээр цацрагт цөмүүдийн хүрээлэн байгаа орчинд тархах зам, хуримтлагдах байдлыг судлах асуудал сүүлийн жилүүдэд хурцаар тавигдсан. Эрчим хүчний нөөцийг ихэсгэх, цөмийн төвүүд олшрох тусам хүний эрүүл мэндэд нөлөөлөх аюул өссөөр байна. Ураны дараахи цацрагт цөмүүд 2000 онд $10^5 - 10^{18}$ Бк хуримтлагдсан гэсэн тооцоо байна. Тухайлбал манай хойт хөрш зэргэлдээ ОХУ-д 2000 онд Pu- 90 т, ^{235}U -140 т байснаа 2010 онд Pu -140 т, ^{235}U -215 т болох тооцоо байна. Актинууд гэж нэрлэгдэх эдгээр цацрагт цөмүүдийг 9 – р хүснэгтээр үзүүлэв [2].

Актинууд тэдгээрийн цацрагт цөмүүд

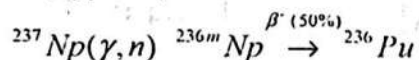
Хүснэгт 9.

Элемент	Цацрагт цөмүүд, хагас задралын үе
Th	$^{228}\text{Th}(1.913\text{жс})$; $^{230}\text{Th}(7.7 \cdot 10^4 \text{жс})$; $^{232}\text{Th}(1.405 \cdot 10^{10} \text{жс})$
Pa	$^{231}\text{Pa}(3.25 \cdot 10^4 \text{жс})$.
U	$^{234}\text{U}(2.48 \cdot 10^5 \text{жс})$; $^{235}\text{U}(7.1 \cdot 10^8 \text{жс})$; $^{238}\text{U}(4.4 \cdot 10^9 \text{жс})$
Np	$^{237}\text{Np}(2.1 \cdot 10^6 \text{жс})$.
Pu	$^{238}\text{Pu}(87.75\text{жс})$; $^{239}\text{Pu}(2.44 \cdot 10^4 \text{жс})$; $^{240}\text{Pu}(6.54 \cdot 10^3 \text{жс})$.
Am	$^{241}\text{Am}(433\text{жс})$; $^{242}\text{Am}(152\text{жс})$.
Cm	$^{242}\text{Cm}(162.8\theta)$; $^{243}\text{Cm}(28.5\text{жс})$; $^{244}\text{Cm}(18.1\text{жс})$.

Радиоэкологийн тулгуур чиглэл болох хүрээлэн байгаа орчин (ус, агаар, хөрс, хүнс тэжээл) болон хүнс тэжээл, хүний эд эрхтэний доторх плутоны (^{236}Pu) судалгаанд мэдрэх чадвар сайтай шинжилгээний аргууд нэвтрүүлж, цөмийн дэлбэрэлт, атомын цахилгаан станцын ослоос үүсэлтэйг

илтгэх плутоны цацрагт ^{238}Pu , ^{239}Pu ; ба ^{240}Pu цөмүүдийн изотопын харьцааг тодорхойлох нь маш чухал байна[2].

Радиозкологийн судлах зүйл болсон уранаас хойшхи цацрагт (9-р хүснэгт) цөмүүдийг хүрээлэн байгаа орчин (ус, хөрс, агаарын тоос, биосистем)-д гамма, масс спектрометрүүдээр тодорхойлохдоо маш цэвэр радиотрессор болгон цацрагт цом Тухайлбал: Pu - нд ^{236}Pu ; Np - нд ^{235}Np ба ^{236}Np тус тус ашигладаг байна. Эдгээр цөмүүдийг фотоцөмийн урвалаар ^{237}Np цөмөөс гаргахыг дараахи байдлаар үзүүлэв. (Зураг 2.)



25 МэВ энергитэй гамма квантаар 1 мг ^{237}Np шарахад цацрагт ^{236}Pu цом $5\text{Бк/мкА}\cdot\text{ч}$ гаралттай үүсэж, $^{237}\text{Np}(\gamma, n) \rightarrow ^{237}\text{Np}$ урвалын огтлол $\sim 180\text{ мб}$ орчим байгаа нь ^{236}Pu хувьд изотопын $10^{-6} + 10^{-7}$ цэвэршилттэй хамгийн тохиромжтой арга болох нь тогтоогджээ [6].

Усан удаашруулагч, хөргөлттэй эрчим хүчний реактор (ВВЭР) – ийн ажилласан түлшний хуваагдалд байх актинуудын цацрагт цөмүүдийн тоог 10-р хүснэгтээр үзүүлэв [2].

Нэг тонн хуваагдлын доторх уранаас хойшхи цацрагт цөмүүд

Хүснэгт 10.

Цацрагт цом	Масс. (кг)	Эзлэх хувь. (%)
^{237}Np	19	8.60
^{238}Pu	3.2	1.46
^{240}Pu	71.3	32.29
^{242}Pu	13.9	6.29
^{241}Am	1.2	0.55
^{243}Am	89.0	40.30
^{242}Cm	0.5	0.21
^{243}Cm	< 0.1	< 0.05
^{244}Cm	2.2	1.01
^{245}Cm	0.2	0.08
^{246}Cm	0.2	0.10
Нийт	221.0	100

Биофизик, радиозкологийн судалгаанд радиотрессор болгон хэрэглэдэг зарим цацрагт цөмүүдийг фотоцөмийн урвалаар үүсгэх боломжийг 11-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

Биофизик, радиозкологийн судалгааны радиотрессор болох цацрагт цөмүүд

Хүснэгт 11.

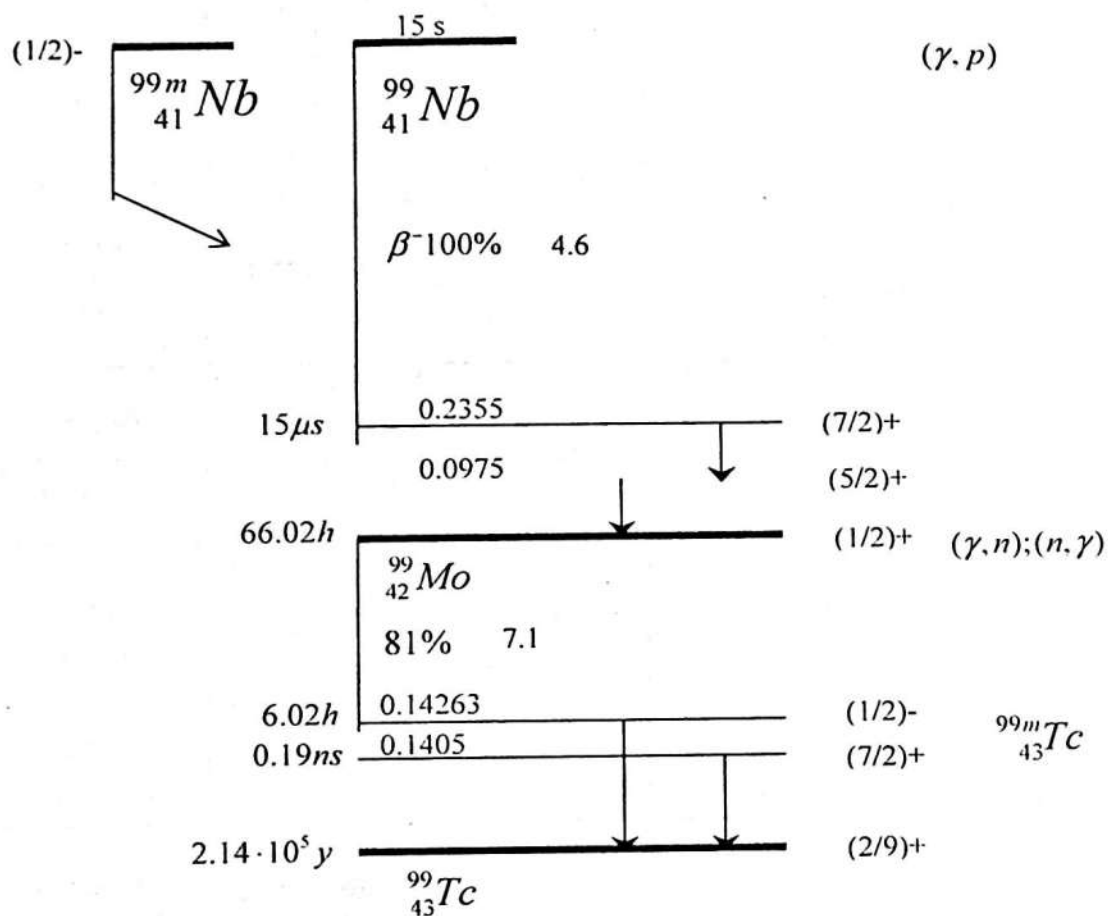
Цацрагт цом, хагас задралын үе, задралын хэлбэр	Цөмийн урвал	Изотопын тархалт, (%)	Урвалын босго, (МэВ)	Цацрагийн энерги (кэВ), эрчим (%)	Хэрэглээ
$^{26}_{13}\text{Al}$ 7,2 10^5 ж e^+ (82,1); β^+ (17,9)	$^{27}\text{Al}(\gamma, n)$	100	-13,29	1808,6 (99,7) $E_{e^+} = 1160$	Метаболизмийн АМС судалгаа
$^{97}_{43}\text{Tc}$ 4 10^6 ж β^- (100)	$^{98}\text{Ru}(\gamma, p)$ $^{99}\text{Ru}(\gamma, pn)$	1,86 12,7	-8,27 -17,73	Рентген туяа	Метаболизмийн АМС судалгаа

$^{237}_{94}\text{Pu}$ 45,3 ө $\alpha(0,033); \Xi\Xi(99)$	$^{237}_{93}\text{Np}$			97,1 (12,5) 101,1 (20,1) 113,9 (7,6) $E_{\alpha} = 5370$ $E_{\alpha} = 5660$	Метабо- лизмийн АМС судалгаа
$^{236}_{94}\text{Pu}$ 2,85 ж $\alpha(100);$	$^{236}_{93}\text{Np}$ ($e^{-}(9)$;			47,6 (0,07) 109,0 (0,01) $E_{\alpha} = 5770 (72,4);$ 5720(27,6)	Радио- экологийн судалгаа
$^{235}_{93}\text{Np}$ 396,1 ө $\alpha(0,0026);$ $\Xi\Xi(99,99)$	$^{237}\text{Np}(\gamma, 2n)$		-18,04	Рентген туяа $E_{\alpha} = 4920;$ $E_{\alpha} = 5000;$ $E_{\alpha} = 5020$	Радио- экологийн судалгаа
$^{236}_{93}\text{Np}$ 1.5 10^5 ж $\alpha(0,1); e^{-}$ (8,9); $\Xi\Xi(91)$	$^{237}\text{Np}(\gamma, n)$		-8,03	160,03 (27,5)	$^{236}_{94}\text{Pu}$ гаргахад
$^{236}_{93}\text{Np}$ 22,5 ц $e^{-}(48); e^{+}, \Xi\Xi(52)$	$^{237}\text{Np}(\gamma, n)$				$^{236}_{94}\text{Pu}$ гаргахад
$^{225}_{91}\text{Ac}$ 10 ө $\alpha(100);$	$^{226}\text{Ra}(\gamma, n)$			$E_{\alpha} = 5581; 5609;$ 5638; 5683; 5724; 5732; 5792; 5794; 5830.	Эмчилгээ, оношлогоо
$^{237}_{92}\text{U}$ 6,75 ө $e^{-}(100)$	$^{238}\text{U}(\gamma, n)$	99.27	-6.15	97.07 (17.5) 101.07 (27.3) 207.95 (23.4)	Ураны экологийн судалгаа

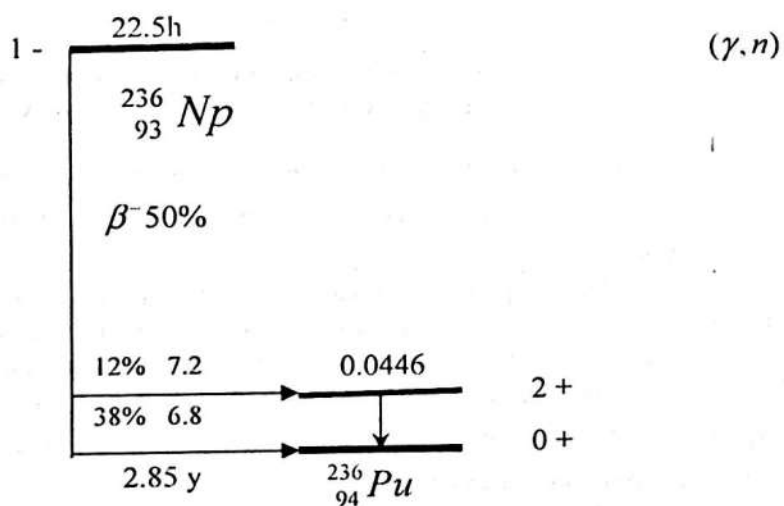
Дүгнэлт. 1. Анагаах ухаан, цацрагийн экологийн салбарт өргөн ашигладаг фотоцөмийн урвалаар гаргаж болох зарим цацрагт цөмүүдийн тухай мэдээлэл цуглуулан хүснэгтээр ангилан бичив.

2. Шинэ төрлийн нейтроны ИРЕН үүсгүүрийн олон тооны цацрагт цөм үүсгэх боломжийг үзүүлэн, ^{99m}Tc , ^{225}Ac , ^{237}U цацрагт цөмүүдийн гаралтыг шугаман хурдасгуурын техникийн үзүүлэлтийг ашиглан тооцов.

3. Электроны $E_{\gamma} \leq 25$ МэВ энергитэй хурдасгуур ашиглан өргөн хэрэгцээтэй, зарим цацрагт цөм гарган авахад шаардлагатай мэдээлэлийг цуглуулан эмхэтгэн үзүүлэв. Хавдрын эмчилгээ, цацрагийн оношлогооны манайд шаардагдах зарим цацрагт цөм гарган, хэрэглэх боломж ЦСТ-ийн микротрон МТ-22 –д байгааг энэ хүснэгтүүд, ЦШНИ – ийн Цөмийн урвалын лабораторийн электроны цикл хурдасгуур микротрон МТ-25 ашиглан цацрагт ^{99m}Tc , ^{225}Ac , ^{237}U , ^{236}Pu цөмүүдийг гаргаж байгаа туршлага харуулж байна.



Зураг 1. $^{99m}_{43}\text{Tc}$ үүсэх задралын бүдүүвч зураг.



Зураг 2. ${}^{236}_{93}\text{Np}$ задралын зураг

Ашигласан ном зүй

- [1]. Proposal for the construction of the New intense resonance neutron source (IREN). V.L. Aksenov, et.al. Сообщение ОИЯИ, ЕЗ-92-110, Дубна, 1992.
- [2]. Радионуклиды для ядерной медицины и экологии. Дмитриев С.Н., Зайцева Н.Г., Очкин А. В. Дубна, ОИЯИ, 2004, 105 с.
- [3]. Получение ^{99}Mo и $^{99\text{m}}\text{Tc}$ в фотоядерной реакции $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)$ на ускорителе электронов – микротроне МТ-25. Сабельников А. В., Маслов О.Д., Молоканова Л.Г., Густова М.В., Дмитриев С.Н. Препринт ОИЯИ, Р12-2004-210, Дубна, 2004.
- [4]. Получение ^{225}Ac в фотоядерной реакции $^{226}\text{Ra}(\gamma, n)$ на ускорителе электронов – микротроне МТ-25. О.Д. Маслов, А.В. Сабельников, С.Н. Дмитриев, Р12-2004-209, ОИЯИ, Дубна, 2004.
- [5]. Получение ^{237}U в фотоядерной реакции $^{238}\text{U}(\gamma, n)$ на ускорителе электронов – микротроне МТ-25. А.В. Сабельников, О.Д. Маслов, М.В. Густова, А.Г. Белов, С.Н. Дмитриев. Р12-2004-193, ОИЯИ, Дубна, 2004.
- [6]. Получение ^{236}Pu в реакциях $^{237}\text{Np}(\gamma, n)$. С.Н. Дмитриев, О.Д. Маслов, А. В. Сабельников, А.Г. Белов. Р12-97-359, ОИЯИ, Дубна, 1997.
- [7]. The Microtron. Development and Applications. Yuri M. Tsipenyuk, Edit by Sergey P. Kapitza. The Physics and Technology of Particles and Photon Beams. London and New York. 2002, Taylor & Francis.
- [8]. Tables of nuclear constants for gamma activation analysis. Zdenek Randa and F.Kreisinger. Inst. of Mineral Raw Materials Kutna Hora, 1980. 136 p.
- [9]. Схемы распада радионуклидов. Энергия и интенсивность излучения: Публикация 38 МКРЗ: В 1 ч., 3 кн. / Под ред. А.А. Моисеева. –Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат. –1987. –С. 283, 305.

Создание и исследование стримерной камеры-мишени с лазерным освещением для изучения взаимодействий элементарных частиц

С.Энхбат

Использование трекового детектора с лазерной стримерной камерой повышенного давления в магнитном поле позволит детально исследовать угловые распределения и угловые корреляции заряженных и нейтральных частиц, а также их импульсные спектры. В качестве мишени используется газ, наполняющий камеру, что даст возможность наблюдать взаимодействие с вылетом даже малоэнергичных частиц и регистрировать акты взаимодействия пионов с ядрами водорода, дейтерия, гелия – 3, гелия – 4 и углерода.

Физическая программа предполагает в качестве одного из первых этапов проведение исследования процесса двойной перезарядки пионов π^+ в реакции: $\pi^+ + \text{He}^4 \rightarrow \pi^- + 4p$. Эта реакция представляет собой элементарный акт процесса двойной перезарядки на минимальном числе нуклонов и поэтому в первую очередь должна быть тщательно изучена. Все частицы в конечном состоянии здесь являются заряженными, поэтому легко наблюдаемы в стримерной камере. Это обстоятельство позволяет провести полный кинематический анализ. Кроме того, предусматривается возможность поиска дибарионных состояний.

В последнее время особенно актуально стоит задача создания новых трековых детекторов высокого разрешения, которые необходимы для построения вершинных детекторов в физике высоких энергий, в первую

очередь для регистрации короткоживущих частиц, связанных с c – и b – кварками, имеющими очень малое время жизни порядка 10^{-12} – 10^{-13} с и соответственно очень малые пробеги, что требует разрешения порядка десятков микрон. Аналогичные приборы необходимы также для постановки задач на новом уровне и в ядерной физике, т.к. они обеспечивают большую точность измерений импульсов и возможность регистрации сложных событий с вылетом большого числа заряженных частиц.

В основе получения одного из таких вершинных детекторов лежит применение лазерной техники, которая дает возможность обойти ограничения, накладываемые на минимальную величину объекта и глубину резкости критерием Рэлея. Лазеры в настоящее время хорошо разработаны и имеется возможность подобрать необходимое устройство, которое дает световую вспышку высокой интенсивности, малой длительности и хорошей монохроматичности. В связи с этим создание установки со стримерной камерой с лазерным освещением, обладающей наряду с простотой в обращении высоким пространственным разрешением и разработка методики получения хорошо локализованных следов частиц являются важной задачей и представляют самостоятельный научный интерес.

Значимость этих работ определяется тем, что стримерная камера, сочетая в себе все положительные стороны известных в настоящее время изотропных трековых детекторов, в том числе диффузионной и пузырьковой камер, обладает высоким быстродействием, простотой и управляемостью, позволяет работать с большими потоками частиц и, следовательно, проводить исследование процессов с малыми сечениями, а использование лазера и оригинальной методики, основанной на методе Тепплера поднимает пространственное разрешение камеры почти на порядок по сравнению с обычной стримерной камерой, позволяет получить трехмерную информацию о координате следа частицы на одном кадре.

Американскими физиками (Йельский университет, Фермилаб) была разработана обычная стримерная камера высокого давления малых размеров с очень высоким пространственным разрешением (50 мкм). Однако то, что камера питалась высоковольтным импульсом длительностью всего в 1 нс при длине камеры 5 см и глубине резкости всего в 5 мм, указывает на необходимость применения иного принципа для создания трекового детектора высокого разрешения.

Новый принцип, лежащий в основе предложенных и сделанных в ОИЯИ и ЛИЯФ детекторов, качественно отличается от всех предшествующих. Если использовать пузырьковую камеру с лазерным освещением, позволяющую более – менее тривиальным образом достигнуть высокого разрешения (вплоть до 10 мкм), то пузырьки регистрируются в когерентном пучке света в

условиях, где нет ограничений по глубине резкости, на ранней стадии своего развития, когда их размеры очень малы. Принцип же, применяемый в стримерной камере для создания вершинного детектора, более сложный. Необходимо подчеркнуть, что использование стримерной камеры в ряде случаев является более выгодным по сравнению с пузырьковой камерой, т. К. основные тенденции в ядерной физике – это стремление измерять как можно меньшие по величинам поперечные сечения процессов. Через стримерную камеру высокого давления (50-100 атм) можно пропускать потоки до 10^7 заряженных частиц, а через пузырьковую камеру это количество определяется тысячами. Таким образом, произведение потока на плотность в стримерной камере оказывается больше, чем в пузырьковой, на два-три порядка.

Принцип, положенный в основу стримерной камеры с лазерным освещением, заключается в следующем: если через стримерную камеру проходит заряженная частица, то она оставляет цепочку электронов, на которых, при подаче высоковольтного импульса, образуются стримеры. Нагретые до высоких температур (10^4 К) электроны в стримерах при термализации передают свою энергию молекулам газа, нагревая их и тем самым локально повышая давление в очень небольшой области газа. Возникает как бы нагретый газовый пузырек, причем процесс происходит очень быстро, как микровзрыв, и это хорошо видно по тому, как от пузырька отделяется ударная волна, хорошо заметная на фотографиях, снятых с различными задержками. Локальный нагрев газа приводит к

тому, что заметно меняется коэффициент преломления среды, и при прохождении через нее лазерного излучения имеется возможность зафиксировать появление объект. Объект оказывается почти на порядок меньше и более контрастным, чем в обычной стримерной камере (в лучших случаях уже достигается поперечный размер 25 мкм). Таким образом, в камере этого типа регистрируется не собственный свет, идущий от стримера, а излучение лазера, рассеянное на тепловом центре. По этой причине можно назвать эту камеру камерой с управляемыми тепловыми центрами, это означает, что можно вызывать появление этого центра тогда, когда внешняя триггерная электроника сообщает о появлении нужного события.

Появляющийся, таким образом, тепловой центр рождается в газе, в отличие от пузырьковой камеры, где треки появляются также на тепловых центрах, образующихся на дельта-электронах, но в отличие от стримерной камеры эти центры неуправляемы, т.к. они существуют всего 10^{-15} с. Первые разработки детекторов на новых принципах были выполнены в ОИЯИ и ЛИЯФ. Первая камера-мишень с He^3 при повышенном давлении была создана в ОИЯИ.

В ОИЯИ был выполнен большой цикл работ по освоению на макетах новой техники вершинных детекторов, так, в ЦЕРН создана камера диаметров 5 см с давлением до 20 атм и с разрешением 25 мкм, в Йельском университете и Фермилаб создается камера с давлением до 50 атм.

Следует отметить, что использование лазерной техники позволяет применить не

только новые методы фотографирования через голографию, но также создать детектор с предельно высоким разрешением при регистрации импульсов из-за подавления диффузии первичных электронов.

Основная цель работы заключалась в некоторых исследованиях стримерной камеры, работающей с лазерным освещением, разработке и создании полномасштабной установки с камерой с управляемыми тепловыми центрами в магнитном поле. Для достижения поставленной цели нами решались следующие задачи:

- Проектирование электрической системы установки (питание камеры),
- Конструирование камеры (оболочка и внутренняя часть),
- Создание и наладка системы лазерного освещения и фотографирования,
- Разработка методики получения стереоскопического изображения треков частиц,
- Реализация системы эвакуации и наполнения газов в камере,
- Размещение и наладка всей установки на пучке (включая магниты мезонного пучка).

Использование трекового детектора с лазерной стримерной камерой повышенного давления в магнитном поле позволит детально исследовать угловые распределения и угловые корреляции заряженных и нейтральных частиц, а также их импульсные спектры. В качестве мишени используется газ, наполняющий камеру, что даст возможность наблюдать взаимодействие с вылетом даже малоэнергичных частиц и регистрировать акты взаимодействия пионов с

ядрами водорода, дейтерия, гелия – 3, гелия – 4 и углерода.

Физическая программа предполагает в качестве одного из первых этапов проведение исследования процесса двойной перезарядки пионов π^+ в реакции: $\pi^+ + \text{He}^4 \rightarrow \pi^- + 4p$. Эта реакция представляет собой элементарный акт процесса двойной перезарядки на минимальном числе нуклонов и поэтому в первую очередь должна быть тщательно изучена. Все частицы в конечном состоянии здесь являются заряженными, поэтому легко наблюдаемы в стримерной камере. Это обстоятельство позволяет провести полный кинематический анализ. Кроме того, предусматривается возможность поиска дибарионных состояний.

Приведено физическое обоснование метода регистрации следов частиц в стримерной камере с лазерным освещением.

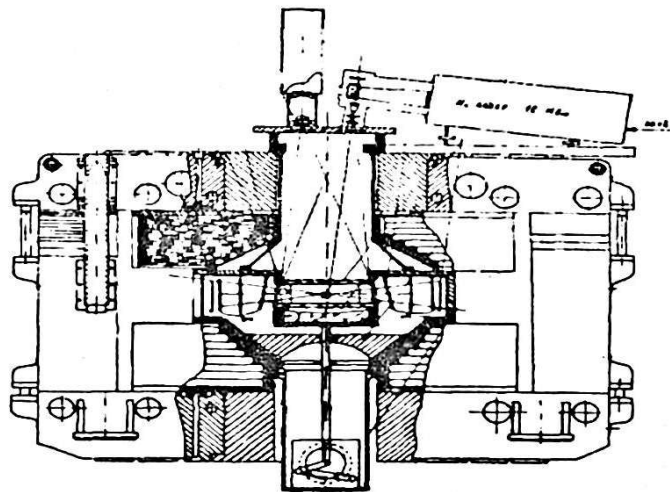


Рис.1. Схема установки

1. Предложена оригинальная конструкция стримерной камеры с лазерным освещением, позволяющая получать стереоскопическое изображение следов частиц, проходящих через камеру.
2. Разработана конструкция стримерной камеры-мишени, позволяющей работать с H_2 ,

D_2 , He^3 , He^4 и смесями их с метаном при давлении.

3. Осуществлен комплекс работ по созданию контрольной системы, включающей в пзу микро ЭВМ КМ – 001, для установки.
4. Предложена и реализована реконструкция магнита МС – 4А, позволившая получить магнитное поле большего объема и достаточной интенсивности.
5. Разработана система триггера на сцинтилляционных счетчиках, работающая совместно со стримерной камерой внутри объема под давлением и проведена наладка установки.
6. Проведены исследования механизма работы стримерной камеры-мишени высокого давления.
7. Разработана и создана лазерная система для освещения и фотографирования объема стримерной камеры.

Проведены разработка и исследование рабочих характеристик вершинного детектора нового типа. Создана установка на основе стримерной камеры с лазерным освещением, которая будет использована в экспериментах на фазотроне ЛЯП ОИЯИ