

AVIASIYA TƏHLÜKƏSİZLİYİ MƏSƏLƏLƏRİNDƏ TERAHERS SPEKTROSKOPİYADAN İSTİFADƏ

T.N. Vəzirova

Milli Aviasiya Akademiyası

Son illər artan təhlükələrlə əlaqədar olaraq, plastik partlayıcı maddələrin vaxtında aşkarlanması və zərərsizləşdirilməsi aviasiya təhlükəsizlik orqanları qarşısında duran ciddi problemlərdən biridir. Eyni zamanda, elektromaqnit spektrinin terahers oblastının öyrənilməsinə maraq artmaqda davam edir. Məqalədə terahers zaman həll spektroskopiyasından (THz-TDS) istifadə etməklə gizlədilmiş plastik partlayıcı maddələr və onların birləşmələrinin terahers diapazonunda spektral izinin aşkarlanması mümkünlüyü məsələlərinə baxılmışdır. Həmçinin gizlədilmiş təhlükəli maddələrin aşkarlanması üçün istifadə oluna biləcək terahers spektrometrinin prinsipial sxemi və iki müxtəlif partlayıcı maddə - Semtex-H (1), SX2 (2) üçün hesablanmış və ölçülmüş əksolunma spektri verilmişdir.

***Açar sözlər:** aviasiya təhlükəsizliyi, plastik partlayıcı maddələr, terahers spektrometr, femtosaniyə lazer, GaSe, InSe kristalları, HMX, RDX, TNT.*

Giriş

Terahers şüalanma dedikdə $0,3 - 10$ THs, yəni $0,3 \cdot 10^{12} - 10 \cdot 10^{12}$ Hz (dalğa uzunluğu 1mm) – intervalında elektromaqnit şüalanması nəzərdə tutulur. Bu tezlik intervalı elektromaqnit spektrinin infraqırmızı (İQ) və mikrodalğa diapazonları arasında yerləşir, buna görə də, bəzən uzaq İQ və ya submillimetr diapazonu adlanır. Astronomik obyektlərin, həmçinin mürəkkəb üzvi molekulların (zülal və DNT molekulları, bir sıra partlayıcı maddələr, atmosfer çirkləndiriciləri -zərərli maddələr) şüalanma spektri terahers diapazonunda yerləşir.

Müasir texnologiyalar nanotexnologiya obyektlərində geniş istifadə olunan kvant ölçülü obyektlərin yaradılmasına imkan verir. Bunlar kvant nöqtələri, kvant naqilləri və s. - dir. Kvant nöqtələrinin həyəcanlanma enerjisi terahers şüalarının fotonlarının enerjisinə uyğun olduğuna görə belə obyektləri terahers şüaları vasitəsilə koherent idarə etmək mümkündür. Terahers şüalarının insan üçün təhlükəsiz olması onun tibbi diaqnostikada, müasir təhlükəsizlik sistemlərində, ekoloji monitorinqdə, tibbi preparatların və qida məhsullarının keyfiyyətinə nəzarətdə, yüksək sürətli əlaqədə tətbiqinə imkan verir.

Son illərdə terahers texnologiyaları, terahers imidcinq (təsvir) və terahers mühafizə sistemləri üzrə işlərə maraq artmışdır. Buna səbəb olan üç əsas əlaməti qeyd edək:

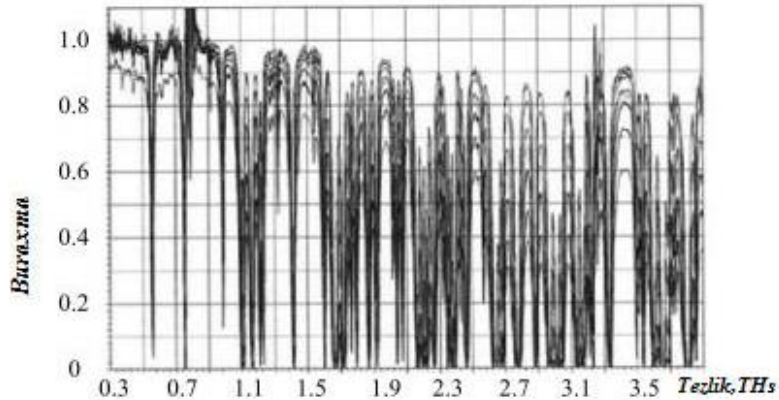
- terahers şüalanması qeyri-metaldan hazırlanmış gizli silahları aşkarlamağa imkan verir, belə ki, karton, geyim, ayaqqabı və s. kimi bütün mümkün bağlamalar terahers şüalarına şəffafdırlar;
- partlayıcı maddələr və narkotiklər spektrin terahers oblastında xarakterik xətlərə malik olduqlarına görə, onlar terahers kameraları vasitəsilə məsafədən (stand off) aşkarlana və identifikasiya oluna bilər;
- terahers şüalanması insan orqanizmi üçün təhlükəli deyildir [1].

İşin məqsədi. Son zamanlar plastik bombalar, kimyəvi maddələrdən hazırlanmış bombalar, bioloji silahlar daha çox terroristlərin əlində silaha çevrilir, bundan başqa daima genişlənən qeyri-qanuni narkotik dövriyyəsi təhlükəyə çevrilməkdədir. Bu təhlükələrin cəld aşkarlanması və aradan qaldırılması üçün effektiv vasitələr tələb olunur.

Gizli təhlükələrin aşkarlanması, identifikasiyası və aradan qaldırılması üçün effektiv metodlardan biri elektromaqnit dalğalarının terahers diapazonunun istifadəsidir, belə ki, göstərilən materiallar bu spektral tezliklər oblastında (0.5-10 THz) xarakterik udma və əksolunma xətlərinə malikdirlər. Praktik olaraq, bütün partlayıcı maddələr (C-4, HMX, RDX, TNT və s.) və narkotik maddələr geyim, insan dərisi və s. kimi digər materiallardan fərqlənən udma və əksolunma spektrinə malikdirlər. Bu materiallar hətta gizlədilmiş olsalar belə, terahers spektrlərinə görə, müəyyən oluna bilərlər, belə ki, terahers şüalanması qeyri-metal materiallardan keçə bilər.

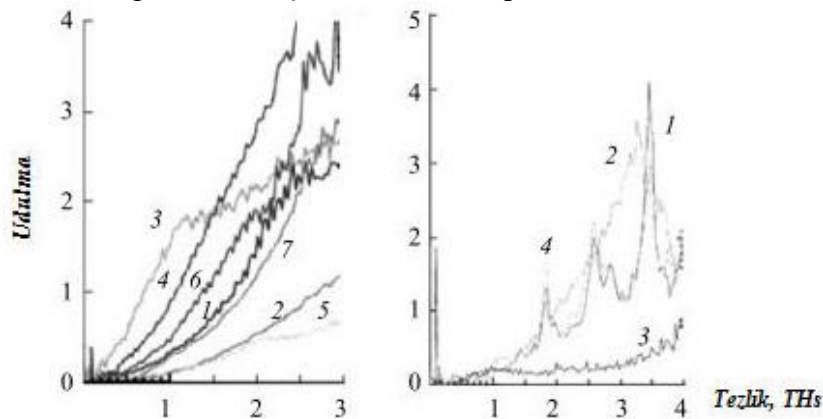
Məsafədən ölçmələr zamanı atmosferin təsiri prinsipial əhəmiyyət daşımağa başlayır. Şəkil 1-də 300QHs-4THs tezlik diapazonunda atmosferin buraxma qabiliyyətinin ölçülməsi istiqamətində aparılan təcrübələrin nəticələri verilmişdir.

Şəkil 1-dən görüldüyü kimi terahers diapazonunda çoxlu sayda udulma xətləri müşahidə olunur ki, buna da səbəb olaraq, atmosferdə olan su buxarını göstərmək olar. Lakin buna baxmayaraq standoff-aşkarlama üçün kifayət edəcək nisbətən kiçik məsafədə (50-100 m) və orta nəmişlikdə (<58%) terahers diapazonunu gizli obyektlərin aşkarlanması üçün kifayət qədər şəffaf hesab etmək olar. Müəlliflər belə bir nəticəyə gəliblər ki, 1,4-4 THs tezlik diapazonunda atmosferdə ən azı beş şəffaf pəncərəsi mövcuddur.



Şək. 1. Nisbi nəmişlikdən asılı olaraq (5% (yuxarı əyri) – 58% (aşağı əyri)) 0,3 – 4 THs tezlik oblastında atmosferin buraxma qabiliyyəti (0,3 THs tezliyində buraxma vahid kimi qəbul edilmişdir) [2]

Şəkil 2-də təcrübələr zamanı əldə edilmiş bir sıra plastik partlayıcı maddələrin və onların tərkib hissələrinin udulma spektrləri verilmişdir [3]. Görüldüyü kimi, partlayıcı maddələr hər biri spesifik xüsusiyyətlərə malikdirlər. Məsələn, RDX əsaslı partlayıcı maddələr 820 QHs oblastda pikə (rezonansa) malikdir və bu maddələri identifikasiya etmək olar, lakin udulma spektrində izin olması vacib detal olsa da naməlum maddənin identifikasiyası üçün kifayət deyildir. Yəni, partlayıcı maddələrin identifikasiyası zamanı əsas məsələ təhlükəli olmayan amma oxşar xüsusiyyətlərə malik digər materialların spektrlərini partlayıcı maddələrin spektrlərindən fərqləndirilməsidir. Şəkil 3-dən də, görüldüyü kimi THs diapazonda bu şərtlər tam olaraq təmin olunur.



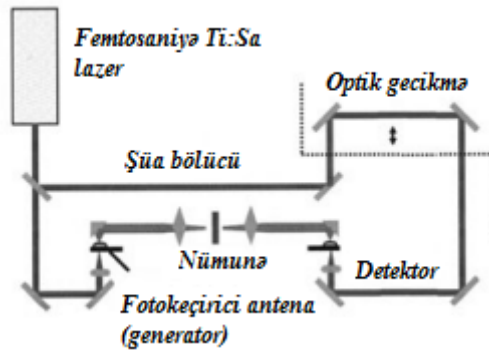
Şək. 2. Materialların udulma spektri: a – bağlama və geyim üçün istifadə olunan (1 – pambıq; 2 – ipək; 3 – yun; 4 – dəri; 5 – neylon; 6 – poliester; 7 – poliester/pambıq); b – partlayıcı maddələrin identifikasiyasını çətinləşdirən materiallar (1 – südlü şokolad; 2 – vitamin; 3 – dənəvərlənmiş şəkər; 4 – şəkər pudrası) [3]

6 THz-ə hətta 10 THs-ə qədər oblast partlayıcı maddələr üçün çoxlu sayda spektral xassələrin olması ilə xarakterizə olunur, lakin rütubətli hava 2-3 THs tezlik oblastında şüalanma üçün şəffaf hesab olunmur [4]. Buna görə də, standoff - tətbiq üçün THs diapazonunun kifayət qədər kiçik hissəsi (0.3 - 3 THs) istifadəyə yararlıdır.

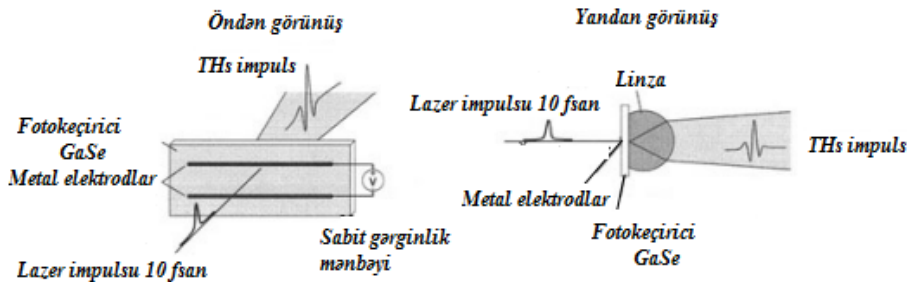
Eksperimental nəticələr

Bu metod femtosaniyə impulsların (10 – 100fsan) köməyi ilə koherent terahers impulsların generasiyası və detektəsinə əsaslanır. Bu zaman lazer şüası iki hissəyə ayrılır, onlardan biri fotokeçirici antenada ifratqısa THs impuls generasiya edir, digəri isə fotodetektorda zaman gecikməsini qeyd edir. Fotokeçirici antena yarımkeçirici materialdan ibarət lövhə olub, üzərində 50-200 mkm məsafədə iki paralel metal- elektrod yerləşdirilmişdir. Metal elektrodlara sabit gərginlik verildikdə antena generator kimi istifadə olunur. Lövhəyə femtosaniyə lazer impulsları düşdükdə yarımkeçiricidə yükdaşıyıcıların generasiyası baş verir və səthi cərəyan yaranır.

Elektrodlar arasında gərginlik olmadıqda antena THs şüalanması detektoru kimi istifadə olunur. Bu zaman nümunəvi lazer impulsunun təsiri altında yarımkeçiricidə yaranan yüklər lazer şüasına nisbətən antenaya gecikmə ilə düşən THs-impulsunun təsiri ilə hərəkət edir. Bu halda elektrodlar arasında axan cərəyanın qiyməti THs impulsunun elektrik sahəsinin gərginliyinə proporsionaldır. Belə detektə THs spektroskopiyaya adlanır. Eyni zamanda belə detektə nöinki, nümunədən keçən və əks olunan şüalanmanın amplitudunu, həmçinin onun fazasını detektə edə bilir.



Şəkil 3. Terahers zaman-həll spektrometrinin prinsiplial sxemi



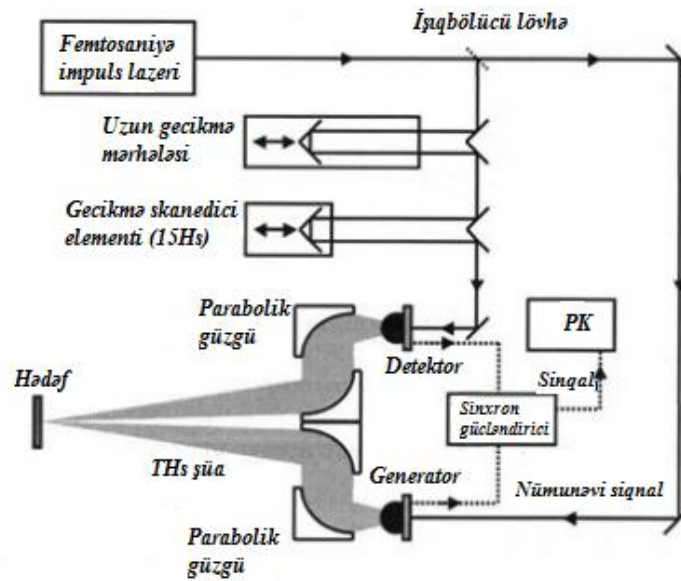
Şəkil 4. Fotokeçirici antena

Təcrübələrdə “Toptica” FFPRONIR (FemtoFiberproNIR (1560 nm və 780 nm) firmasının Ti:sapfir femtosaniyə lazerindən istifadə olunmuşdur. Lazerin orta şüalanma gücü 360mW, şüalanmanın dalğa uzunluğu 780 nm, spektral eni 108 nm, impulsun davam etmə müddəti 10 fsandır. Terahers şüalanma qalınlığı müvafiq olaraq, 45 mkm və 35 mkm olan GaSe kristalları ilə generasiya edilmiş və detektə olunmuşdur. İnSe kristalları üçün bu kəmiyyətlər müvafiq olaraq, 40 mkm və 32 mkm-ə bərabərdirlər. Aparılan təcrübələr nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, GaSe və İnSe kristalları 0,1-6 THs tezlik diapazonunda generator və detektor kimi istifadə oluna bilərlər [5].

THs şüaları vasitəsilə məsafədən aşkarlama sisteminin sxemi şəkil 5-də verilmişdir. Ti:sapfir femtosaniyə lazerinin şüası işıqbölücü lövhə vasitəsilə iki yerə bölünür, onlardan biri fotokeçirici antenaya təsir edən sovurucu şüa (20%), digəri isə obyektədən əks olunan THs şüasının detektə olunmasına xidmət edən nümunəvi şüa (80%) hesab olunur.

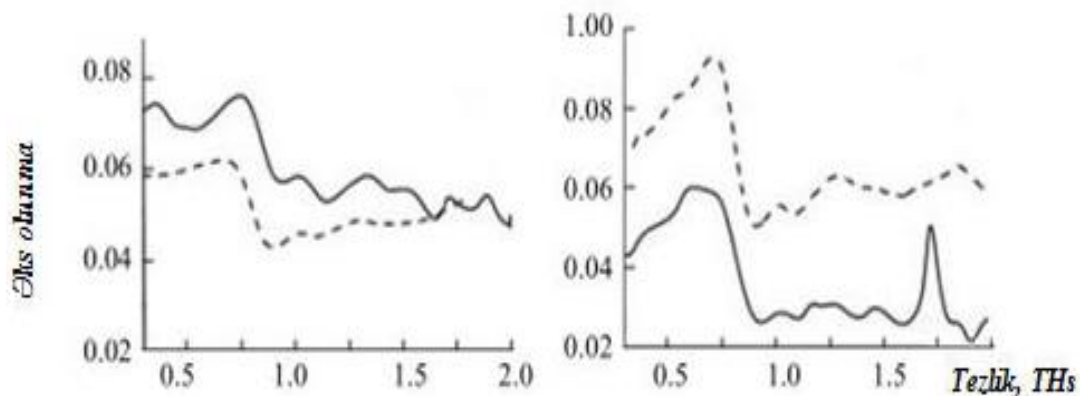
Nümunəvi şüa kanalında sabit gecikmə xətləri 1000mm və 15Hs tezliklə dəyişən gecikmə yerləşdirilmişdir və onlar zaman strobunu formalaşdırır (hər iki xəttin tərkibinə güzgü bucaq əksətdiriciləri daxildir). THs şüalanmanın yığılma effektivliyini artırmaq üçün fotokeçiricilərin səthində yüksək müqavimətli silisiumdan hazırlanmış hiperyarımsferik linzalar yerləşdirilir. THs

şüalarının kollimasiyası və fokuslanması üçün ölçmə sxemində diafraqma ədədi $f/1$ olan iki parabolik linza tətbiq olunur.



Şək.5. Partlayıcı maddələri məsafədən aşkar etmək üçün THs sistem

İki müxtəlif partlayıcı maddə nümunələrində aparılmış ölçmələrin nəticələri şəkil 6-da verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, hesabi nəticələr ilə uyğunluq əldə edilmişdir: hər iki halda 0,8, 1,05 və 1,4 THs tezliklərində əksölünmə xüsusiyyətləri meydana çıxmışdır (hər iki nümunədə əsas komponent kimi RDX istifadə olunduğuna görə tezliklər eynidir).



Şək.6. İki müxtəlif partlayıcı maddənin: Semtex-H (1) və SX2 (2) 1m məsafədən ölçülmüş (bütöv əyri) və hesablanmış (ştrixli əyri) əksölünmə spektrləri

Nəticə və təkliflər

Tədqiqatlara əsasən təsdiq olunmuşdur ki, THs tezlik oblastında GaSe və İnSe kristallarının terahers generatoru kimi istifadəsi mümkündür. Həmçinin, iki müxtəlif partlayıcı maddə nümunələrində aparılmış ölçmələrin nəticələrinə əsasən demək olar ki, terahers zaman həll spektroskopiyası (THz-TDS) metodu gizlədilmiş partlayıcı maddələrin aşkarlanması üçün perspektiv metod hesab oluna bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Бадалов А.З., Сардарлы Р.М., Муса-заде (Везирова) Т.Н. Современные методы терагерцовой спектроскопии, Elmi Məcmuələr, Cild 14, №3, 2012, səh. 13-24.

2. Kurt J. Linden, Andrew J. Gatesman, Andriy Danylov, William R. Neal, Jerry Waldman. "Terahertz Laser Based Standoff Imaging System", 34th Applied Imagery and Pattern Recognition Workshop (AIPR'05), 2005, Washington, DC, 7-14.
3. Michael C. Kemp, Millimetre wave and terahertz technology for the detection of concealed threats: a review, Proceedings Volume 6402, Optics and Photonics for Counterterrorism and Crime Fighting II; 64020D (2006) <https://doi.org/10.1117/12.692612>.
4. Tao Yuan; Haibo Liu; Jingzhou Xu; Fatemeh Al-Douseri; Ying Hu; Xi-Cheng Zhang Proc. SPIE 5070, Terahertz time-domain spectroscopy of atmosphere with different humidity, 0000 (29 July 2003); doi: 10.1117/12.504295.
5. Bədəlov A.Z., İsmayilov N.M., Vəzirova T.N. GaSe VƏ InSe kristalları ilə terahers dalğalarının şüalanması və qəbulu, Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, Bakı-2018, №2, səh. 84-91.
6. Сардарлы Р.М., Бадалов А.З., Везирова Т.Н., Абдуллаев А.П., Гает F., J.-L. Coutaz, Оруцова А.А. Особенности терагерцевых спектров слоистых кристаллов TlInS₂, Физика твердого тела, 2016, том 58, вып. 1, стр. 27-31.

REFERENCES

1. Badalov A.Z., Sardarly R.M., Musa-zade (Vezirova) T.N., "SovremenniYE metodi teraqercovoy spektroskopii", Elmi Mecmueler, Cild 14 №3, 2012, str. 13-24.
2. Kurt J. Linden, Andrew J. Gatesman, Andriy Danylov, William R. Neal, Jerry Waldman. "Terahertz Laser Based Standoff Imaging System", 34th Applied Imagery and Pattern Recognition Workshop (AIPR'05), 2005, Washington, DC, 7-14.
3. Michael C. Kemp, Millimetre wave and terahertz technology for the detection of concealed threats: a review, Proceedings Volume 6402, Optics and Photonics for Counterterrorism and Crime Fighting II; 64020D (2006) <https://doi.org/10.1117/12.692612>.
4. Tao Yuan; Haibo Liu; Jingzhou Xu; Fatemeh Al-Douseri; Ying Hu; Xi-Cheng Zhang Proc. SPIE 5070, Terahertz time-domain spectroscopy of atmosphere with different humidity, 0000 (29 July 2003); doi: 10.1117/12.504295.
5. Badalov A.Z., İsmayilov N.M, Vezirova T.N., GaSe ve InSe kristallari ile terahers kristallarinin shualanmasi ve qebulu, Milli Aviasiya Akademiyasinin Elmi Eserleri, Bakı-2018, №2, seh. 84-91.
6. Sardarly R.M., Badalov A.Z., Vezirova T.N., AbdullaYEv A.P., Garet, J.-L. Coutaz, Orucova A.A. Osobenneosti teraqercevix spektrov sloistix kristallov TlInS₂, Fizika tverdoqo tela, 2016, tom 58, vip., str 27-31.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Т.Н. Везирова

В последние годы в связи с растущими угрозами взрывов обнаружение и обезвреживание пластиковых взрывчатых веществ является одной из основных проблем, стоящих перед органами авиационной безопасности. В том числе возрастает интерес к изучению терагерцовой области электромагнитного спектра В статье рассмотрены возможности использования терагерцовой временной спектроскопии (THz-TDS) для обнаружения скрытых пластиковых взрывчатых веществ (HMX, RDX, TNT, Semtex), задана принципиальная схема терагерцового спектрометра, а также рассчитанный и измеренный отражательный спектр для двух разных взрывчатых веществ Semtex-H и SX2. Таким образом, определена перспективность использования терагерцовой временной спектроскопии для обнаружения пластиковых взрывчатых веществ.

Ключевые слова: авиационная безопасность, пластиковые взрывчатые вещества, терагерцовый спектрометр, фемтосекундный лазер, кристаллы GaSe, InSe, HMX, RDX, TNT, Semtex.

THE USING OF TERAHERTZ SPECTROSCOPY IN AVIATION SECURITY**T.N. Vəzirova**

In recent years, in connection with growing threats, the detection and disposal of plastic explosives has been one of the main problems aviation security agencies come across. Along with side, interest in the study of the terahertz region of the electromagnetic spectrum is increasing. The article deals with the possibilities of using terahertz time spectroscopy (THz-TDS) for detecting hidden plastic explosives (such as HMX, RDX, TNT), Semtex , gives a schematic diagram of a terahertz spectrometer, as well as a calculated and measured reflection spectrum for two different explosives Semtex-H and SX2. As a result, the prospectivity of using terahertz time spectroscopy to detect plastic explosives has been determined.

Key words — aviation security, plastic explosives, terahertz spectrometer, femtosecond laser, GaSe, InSe crystals, HMX, RDX, TNT, Semtex.

Müəllif haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	Vəzirova Turanə Natiq qızı
İş yeri	Milli Aviasiya Akademiyası, “Aerokosmik cihazlar kafedrası”
Vəzifəsi	Aerokosmik cihazlar kafedrası, müəllim
Maraq sahəsi	Bərk cism elektronikasısı, radioelektron komponentlər, mikro və nanoelektronika
E-mail	turana.musa-zade@yandex.com
Əlaqə telefonu	(+994) 55 366 98 11

Rəyçi: t.f.d., prof. N.M. İsmayilov