

N.Z.İSMAYILOV

ATMOSFERDƏNKƏNAR ASTRONOMİYA

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi tərəfindən universitet tələbələri üçün dərs vəsaiti kimi istifadə olunması tövsiyə olunmuşdur (Əmr №53, 27.01.2009).

Bakı Dövlət Universiteti Elmi Şurası tərəfindən çapa təqdim olunmuşdur(05.11.2008).

Elmi redaktor: f.-r.e.d., prof.J.M.Quluzadə

Rəyçilər:

f.-r.e.d., prof. S.Q.Zeynalov
f.-r.e.n., dos. Z.A. Səmədov

Bakı-2009

ATMOSFERDƏNKƏNAR ASTRONOMİYA

N.Z.İsmayılov

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, BDU Astrofizika kafedrasının professoru N.Z.İsmayılovun yazdığı bu dərs vəsaitində atmosferdənkənar astronomiyanın əsas xüsusiyyətləri, tədqiqat metodları, bu sahədə aparılan elmi tədqiqatların xarakteri və alınmış müasir elmi nəticələr geniş şərh olunmuşdur. Kitabda qamma, rentgen, ultrabənövşəyi, optik, infraqırmızı və submillimetrlik elektromaqnit şüalanma növlərinin, habelə müxtəlif növ kosmik şüalanma növlərinin Yer atmosferindən kənardə müşahidəsində istifadə olunan üsullar izah olunur. Bir çox hallarda bu şüalanma növlərinin mənşəyi və yaranma mexanizmi haqqında məlumatlar verilmişdir. Ayrıja Kainatın fon şüalanmasının tərkibi və xüsusiyyətləri nəzərdən keçirilir. Monoqrafiyanın sonunda müasir astrofizikanın bir sıra aktual problemləri də verilmişdir.

Kitab tələbələr və astrofizika sahəsində çalışan elmi əməkdaşlar üçün ilk dəfə azərbaycan dilində yazılmış dəyərli vəsaitdir.

Kitab müəllifin şəxsi vəsaiti hesabına nəşr olunmuşdur və onun hər hansı bir yeni nəşri müəlliflə razılaşdırılmalıdır.

Bakı-2009

MÜNDƏRİCAT

Giriş	6
FƏSİL 1.RADİOASTRONOMİYA	12
Radioastronomiya nəyi müşahidə edir.....	12
Kosmosda antennalar.....	16
Uzundalğalı radiodiapazonda müşahidələr.....	19
Müasir kosmik radioteleskoplar.....	22
FƏSİL2. ULTRABƏNÖVŞƏYİ VƏ OPTİK DİAPAZON	28
Optik diapazonda tətbiq olunan cihazlar.....	28
Ultrabənövşəyi oblastda müşahidələr.....	30
Uzaq UB oblastda müşahidə optikası.....	34
UB şüalanma qəbulediciləri.....	38
UB oblastda Günəşin müşahidəsində.....	40
istifadə olunan cihazlar.	
UB oblastda ulduzların müşahidəsi.....	43
FƏSİL 3. İNFRAQIRMIZI ASTRONOMİYA	47
İnfraqırmızı və submillimetrlik astronomiya.....	47
İQ kosmik şüalanma mənbələri.....	48
İnfraqırmızı şüalanma qəbulediciləri.....	49
İQ astronomik müşahidələrin nəticələri.....	54
FƏSİL 4. RENTGEN ASTRONOMİYASI	60
4.1. Rentgen astronomiyasına giriş.....	60
4.2. Rentgen şüalanması detektorları.....	62
4.3. Kollimatorlar.....	64
4.4. Rentgen teleskop və spektroqrafları.....	66
4.5. Rentgen şüalanma yaranmasının mexanizmləri.....	68
4.6. Şüalanan plazma.....	73
4.7. Rentgen mənbələrinin xassələri.....	79
4.8. Kompton səpilməsində rentgen spektrin yaranması.....	87
4.9. Ulduzlararası udulmanın rentgen şüalanma	

spektrinə təsiri.....93

FƏSİL 5. QAMMA-ASTRONOMİYA.....96

5.1. Qamma astronomiyanın əsas xüsusiyyətləri.....96

5.2. Qamma-şüalanmanın yaranma mexanizmləri.....97

5.3. Kosmik QŞ qeyd olunması metodları.....99

5.4. Qamma-diapazonda astronomik müşahidələr.....102

FƏSİL 6. KOSMİK ŞÜALANMA.....107

6.1. Kosmik şüalar haqqında ümumi məlumat.....107

6.2. Kosmik şüaların tədqiqi metodları.....108

6.3. Yer səthində kosmik şüalanma.....112

6.4. Kosmik şüaların mənşəyi.....119

6.5. Kosmik hissəciklərin sürətlənmə mexanizmi.....124

FƏSİL 7. FON ŞÜALANMASI.....129

7.1. Kainatın fon şüalanması.....129

7.2. Müxtəlif diapazonlarda KFŞ.....133

ƏLAVƏLƏR.....142

1. MÜXTƏLİF ATMOSFERDƏNKƏNAR

RƏSƏDXANALAR142

1.1. Atmosferdənkənar astronomiya üçün bəzi

konstruksiyalar.....142

2. ASTRONOMİYADA YENİ TƏDQIQAT

İSTİQAMƏTLƏRİ VƏ PROBLEMLƏR.....154

2.1. Müasir astronomiya.....154

2.2. Metaqalaktikanın tərkibi.....156

2.3. Materiyanın görünməyən (gizli) kütləsinin təbiəti....163

2.4. EROS proqramı.....170

Ədəbiyyat.....175

Kitabda istifadə olunan bəzi qısaldılmış sözlər.....177

GİRİŞ

Hələ XVIII əsrdən başlayaraq astronomlar öz teleskoplarını Yer kürəsini əhatə edən hava okeanından – atmosferdən kənara çıxarmağı arzu etmişlər. Amerika astronomu Saymon Nyukom (1835-1909) Ayda atmosfer olmadığına işarə edərək zarafatyana demişdi ki, yaxşı astronomlar o dünyada Aya düşürlər, çünki bu cür şəraitdə işləmək astronomların arzusudur. Yer atmosferi havasının hər kiloqramı teleskop vasitəsilə aparılan yerüstü müşahidələr üçün böyük məhdudiyyətlər yaradır. Bunun başlıca səbəbi iki hadisə ilə bağlıdır: *birincisi*, bizim atmosfer bir sıra müxtəlif dalğa uzunluğu oblastları üçün tamamilə qeyri şəffafdır, *ikincisi*, hətta atmosferin, keçən şüa üçün şəffaf olduğu zolağında belə, turbulent hərəkətlər alınan xəyalın keyfiyyətini xeyli azaldır.

Yer atmosferi 300 nm-dən kiçik qısdalğalı diapazonu tamamilə udur. Nəzərə alsaq ki, bu kiçik diapazonda ultrabənövşəyi (UB), rentgen və qamma şüalanma yerləşir, itkiləri təsəvvür etmək çətin deyil. Bundan başqa, Yerin səthinə həm də Günəşdən və qalaktik mühitdən gələn yüklü zərrəciklər seli – proton və elektronlar gəlib çata bilmir.

Dalğa uzunluğu 200-300 nm olan UB şüalanma 25-30 km hündürlükdə ozon (O₃) təbəqəsi tərəfindən udulur. Yumşaq rentgen oblastı da daxil olmaqla daha qısdalğalı ($\lambda < 100$ nm) zolaq O, N₂ molekulları və çox böyük yüksəkliklərdə (100-200 km) O, N atomları tərəfindən udulur. Dalğa uzunluğu 3-30 nm olan yumşaq rentgen zolağı 100-150 km yüksəklikdə tamamilə udulduğu halda, sərt rentgen və qamma şüalar Yer səthindən 40 km hündürlüyə qədər gəlib çata bilər. Ona görə bu şüalanmanı 35-40 km hündürlüyə qalxa bilən balonlarda müşahidə etmək mümkündür. Günəşin UB

şüalanması yer atmosferinin 100-150 km-dən yuxarı yüksəkliyini 1000°K qədər qızdırır və udulan enerjini molekulların dissosiasiyasına, atom və molekulların ionlaşmasına səbəb olur.

İnfraqırmızı (İQ) və submillimetrlik diapazonda (2 mkm - 1mm) atmosfer nisbətən kiçik, ayrı-ayrı zolaqlarda, hətta Yer səthinə qədər şəffafdır. Atmosferin əsas şəffaf «pəncərələri» 2.2, 3.8, 5.0, 8.6, 11 və 20 mkm zolaqlarıdır. Udulma bu intervalda əsasən su buxarı (H₂O), karbon qazı (CO₂) və ozon (O₃) tərəfindən yaranır. Doymuş buxarın təzyiqi temperatur düşdükcə sürətlə azalır (temperatur təxminən 8°/km qradianti ilə düşür), ona görə atmosferin yuxarı qatlarında su donur və 8-12 km yüksəkliklərdə buxarın miqdarı çox azdır. Bu da həmin hündürlükdə astronomik obyektləri təyyarədən effektiv müşahidə etməyə imkan yaradır. Bu məqsədlə ABŞ və Fransa birlikdə diametri 3 m-ə qədər çatan teleskopları özündə daşıya bilən təyyarə-rəsədxanalar düzəldirlər. Teleskoplar çox yüksək dəqiqliklə yönəldilə bilən (saniyənin hissələri dəqiqliyilə) sistemlə təmin olunmuşdur. Bu rəsədxanalar əsasən İQ və submillimetrlik zolaqlarda müşahidə aparırlar, lakin bununla yanaşı görünən oblastda da effektiv istifadə oluna bilərlər.

Buna baxmayaraq, həmin hündürlükdə yenə də karbon qazı və ozon molekulları qalır. Onlar udulma yaradır və atmosferin yuxarı qatlarında ayrı-ayrı təbəqələr arasında olan məxsusi istilik mübadiləsinə maneçilik törədir. Məhz bu fon zəif parlaqlıqlı iri ölçülü obyektləri – planetar dumanlıqları, qaz-toz dumanlıqlarını, qalaktikaları, qalıq kosmoloji şüalanmanı və s. müşahidə etməyə mane olur.

Teleskopların atmosferdən kənara çıxarılması həm də Yer səthinin qızması nəticəsində atmosferdə yaranan turbulentiyyədən azad olmağa imkan verir. Atmosferin müxtəlif temperaturlu ayrı-ayrı hissələri

hərəkət edir, bu da hətta teleskopsuz belə aydın seçilə bilən hadisəyə – ulduzların sayrışmasına səbəb olur. Hətta havası xeyli dərəcədə seyrək olan yüksək dağlıq yerlərdə yayda çox isti olmasa belə, ulduzların xəyalının ölçüsü çox az hallarda 1" –dən kiçik olur. Halbuki böyük teleskopların ayırdetmə qabiliyyəti yüzlərlə dəfə bundan böyükdür. Çox yüksək dəqiqliklə hazırlanmış obyektivdə alınan ulduz xəyalının ölçüsü yalnız

$$\Delta\theta = 1.22 (\lambda/D) \text{ radian} = \\ 1.22 \cdot 206265'' (\lambda/D) = 13.83'' (\lambda/550 \text{ nm}) (D/1 \text{ mm})^{-1}$$

ifadəsi ilə təyin olunan difraksiya dairəsi ölçüsündə olmalıdır. Burada D - obyektivin diametri, λ -şüalanmanın dalğa uzunluğu, $\Delta\theta$ - parlaqlıqları təxminən eyni olan iki nöqtəvi mənbə xəyalının aydın ayrılma bucağıdır. Vizual diapazonda ($\lambda = 5500 \text{ \AA}$) diametri 1 m olan teleskop üçün $\Delta\theta = 0.1''$, diametri 10 m olan nəhəng teleskop üçün isə $0.01''$ olar. Ona görə də iri teleskopun atmosferdən kənara çıxarılması onun xəyalının aydınlığını onlarla dəfə və nüfuzetmə qabiliyyətini yüzlərlə dəfə artırır.

Yerdə astroiqlimi çox əlverişli olan bir neçə məkan vardır ki, burada hazırda diametri 4-10 m çatan bütün müasir optik və infraqırmızı teleskoplar qurulmaqdadır. Bura Çilidə Sakit okean sahili zolağı və Havay adalarındakı dağların başı yaxşı nümunə ola bilər. Buralarda nöqtəvi mənbə xəyalının turbulensiya diskinin ölçüsü $0.5''$ olur. Keçmiş Sovet İttifaqı ərazisində ən əlverişli astroiqlim Orta Asiyada - Özbəkistanda Maydanak dağında və Tacikistanda Sanqlok dağındadır. Orada 5-7 ildə bir dəfə yağış yağır və il ərzində 350 aydın gecə olur. Bununla belə, bu gecələrin yalnız yarısında xəyalın ölçüsü $0.7''$ ola bilər. Şimali Azərbaycanda Şamaxı

Astrofizika Rəsədxanasının yerləşdiyi Pirqulu dağında il ərzində aydın gecələrin sayı təxminən 100, xəyalın orta ölçüsü $2''$ olur. Burada yalnız bir neçə gecə xəyalın ölçüsünün hətta $0.5\text{-}0.7''$ olması müşahidə olunur. Əlbəttə atmosferdən kənarda kosmosda olan astroiqlim bu göstərilənlərlə müqayisədə ideal sayıla bilər.

Teleskopun atmosferdən kənara çıxarılması ulduzların bucaq koordinatlarını bucaq saniyəsinin mində biri dəqiqliklə təyin etməyə imkan verir. Bu cür ölçmələr astrometriya və geodeziya üçün çox vacibdir. Burada bir şeyi də nəzərə almaq lazımdır ki, kosmik teleskoplar analoşi yerüstü teleskoplardan təxminən 100 dəfə baha başa gəlir. Məsələn, diametri 3 m olan kosmik teleskop təxminən bir neçə milyard ABŞ dollarına başa gəlir. Bu qiymət, əlbəttə, heç də hər bir ölkənin «yorğanına görə» deyil. Rentgen və qamma şüalanmanı yalnız kosmosdan müşahidə etmək olar. Bunun üçün nisbətən sadə və ucuz cihazlardan istifadə oluna bilər.

Atmosferdən kənar rəsədxanaların yaranması ona gətirib çıxardı ki, astronomiya çoxdalğalı bir elm sahəsinə çevrildi. Onun UB, İQ, submillimetrik, rentgen və qamma astronomiya kimi bölmələri yarandı. Hətta radioastronomiyada kosmos müşahidələrindən bir çox üstünlüklər əldə edə bilər. Belə müşahidələrdə ən əsas üstünlük antennalar arasındakı məsafəni qeyri məhdud məsafəyə qədər böyütməklə bucaq ayırdetməsini artırmaqdır. Belə kosmik radioteleskopla yerüstü teleskop arasındakı məsafə 100000 km olarsa, 1 sm dalğa uzunluqlu zolaqda radiointerferometrə $0.00002''$ ayırdetmə almaq olur!

Deyilənlərdən başqa, atmosferdən kənar astronomiya yalnız «uzaq kosmosu» deyil, həm də Günəşi planetləri və planetlərarası mühiti öyrənmək üçün geniş istifadə olunmaqdadır. İndi Günəş sistemi cisimlərinin öyrənilməsi planetlərin və onların peyklərinin, asteroid

və kometlərin səthinə qona bilən kosmik zondlarsız təsəvvür etmək çətindir.

Atmosferdənənar astronomiya sahəsində ilk nəticələr hələ XX əsrin 40-cı illərində UB oblastda 3000 Å dalğa uzunluğundan kiçik dalğa uzunluqda Günəşin spektrini almaqla mümkün olmuşdur. Bu eksperimentlərdə 100 km – ə qədər yüksəyə qalxa bilən raketlər istifadə olunurdu. 40-50 km yüksəkliyə qalxa bilən yüksəklik aerostatları vasitəsilə, raketlərlə, daha sonra kosmik era başlayandan sonra isə Yerin Süni Peykləri (YSP) və Planelərarası Avtomatik Stansiyalar (PAS) vasitəsilə kosmik obyektlər bütün dalğa diapazonlarında öyrənilməyə başladı.

Atmosferdənənar astronomiya atmosferdə olan qeyri-bircinslik nəticəsində yerüstü teleskoplarda alınan təsvirlərin titrəməsini aradan qaldırır, habelə teleskopun nəzəri difraksiya dairəsi ilə müəyyən olunan ayırdetməsini almağa imkan verir. Məsələn, 80-cı illərdə ABŞ-da güzgüsünün diametri 2.4 m olan ST teleskopunda 0.01" ayırdetmə alınmışdır.

Nəzəri olaraq atmosferdənənar astronomiya 0.0001" ayırdetməyə malik optik interferometr və bazisi 1 a.v. olan və 10^{-6} - 10^{-8} " ayırdetmə verən radiointerferometr almağa imkan verir. Peyklərdə qurulmuş müşahidə cihazları birbaşa müşahidə nöqtələrinə çatdırıla bilər. Məsələn, «Voyacer-1-2»(1980-1981, ABŞ) kosmik peyki Yupiterə yaxınlaşaraq onun peyklərinin səthində incə detalları, Saturn həlqələrinin quruluşunu öyrənmişdir. Sovet planetlərarası «Venera-11, -12» (1978) və «Venera-13, -14» (1981-1982) stansiyaları, Veneranın səthi həmişə qalın buludlarla örtülü olduğuna baxmayaraq, onun panoramını almağa müvəffəq olmuşdur.

FƏSİL 1. RADİOASTRONOMİYA

1.1 Radioastronomiya nəyi müşahidə edir

Yer atmosferinin ionosfer qatı 10 Mhs-dən kiçik tezlikləri buraxmadığı üçün bu tezlikli radiosiqnalları qəbul etməkdən ötrü qəbuledici antennaları ionosferdən kənara çıxarmaq lazımdır. Artıq keçən əsrin 60-cı illərindən belə təcrübələr YSP və Avtomatik Planetlərarası Stansiyalarda (APS) həyata keçirilməyə başladı. Belə peyklərdə antenmanın uzunluğu bir neçə metr olduğuna görə qeyd olunan dalğanın dalğa uzunluğundan çox kiçik idi. Ona görə də belə antennaların istiqamət diaqramları dipol formasına yaxın idi, bu da bucaq ayırdetməsinin kiçik (bir steradian tərtibində) alınmasına səbəb olurdu. Qeyd etmək lazımdır ki, böyük dalğa uzunluqlu radiodiapazonda bucaq ayırdetməsi hazırda təxminən 15'-yə çatdırılmışdır.

Hazırkı dövrdə uzundalğalı radiodiapazonda qalaktikanın diffuz şüalanması, Günəş alışımları, habelə Yer və planetlərin radioşüalanması öyrənilir.

Qalaktikanın radiofonu 10 Mhs-dən yüksək tezliklərdə qüvvət funksiyası formasındadır. Bu da şüalanmanın sinxrotron (qeyri-istilik) təbiətli olduğunu göstərir. Belə şüalanma ulduzlararası mühitdə maqnit sahəsində elektronların şüalanması nəticəsində yaranır. Enerşisi E_e olan sinxrotron şüalanma verən elektronun şüalanma spektri $0.3v_s$ tezliyində enli bir maksimum verir. Burada $v_s = 1.6 \cdot 10^{-5} H_{\perp} E_e$ Hs, H_{\perp} -maqnit sahəsinin intensivliyinin elektronun sürətinə perpendikulyar olan komponentidir. Əgər elektronların paylanması

$$N_e(E_e) \sim E^{-\alpha} \text{ elektron}/(sm^2 \cdot s \cdot sr \cdot QeV) \quad (1.1.1)$$

olarsa, onda sinxrotron şüalanma spektri də üstlü funksiya şəklində olar:

$$c(E) \sim E^{-(\alpha-1)/2} Vt / (m^2 \cdot sr \cdot Hs) \quad (1.1.2)$$

Bundan istifadə edərək şüalanma spektrinin parametrlərinə görə elektronların spektrini və sıxlığını, habelə belə fotonların yarandığı yerdə maqnit sahəsinin qiymətini təyin etmək olar.

Daha aşağı 5-10 MHz tezliklərdə müşahidə olunan diffuz şüalanma yerüstü radiomüşahidələrlə yaxşı uyğunluq təşkil edir və dərəcəsi $(\alpha-1)/2=0.5$ olan üstlü funksiya formasındadır. Qalaktika diskinin yerləşdiyi ulduzlararası mühitdə maqnit sahəsi 5 mke tərtibindədir. Ona görə də belə radiodalğalar enerşisi 0.5 QeV olan elektronlardan şüalana bilər. Hesablamalara görə şüalanan optik qalınlığın 1 qiyməti şüalanan oblastların 4 kpk ölçüsü olduğunu göstərir. Onda elektron selində şüalanan elektronların tam enerşisi $3 \cdot 10^{-2}$ elektron/ $(sm^2 \cdot s \cdot sr \cdot QeV)$ olar. Lakin kosmik şüalarda olan elektronların enerşisinin birbaşa kosmik peyklərdən ölçülməsi ölçülən selin bundan bir neçə tərtib az olduğunu göstərir. Buna səbəb kosmik şüaların günəş küləyində dəyişməsidir. Enerşisi 5 MeV-dən kiçik olan elektronlar günəş şüalanmasının təsiri ilə Günəş ətrafından «süpürülür» və uzaqlaşdırılır. Ona görə aşağı tezlikli radioşüalanmanın müşahidəsi kosmik şüalanmanın Günəş aktivliyindən fərqli konsentrasiyasını təyin etməyə imkan verir.

Tezliyin 3 MHz-dən yuxarı qiymətlərində Günəşdən daha uzaq oblastların müşahidə olunması mümkündür. Bu zaman alınan paylanma Qalaktika diskinin şüalanmasını əks etdirir. Ona görə daha uzundalğalı oblastların daşdığı məlumat daha çox ulduzlararası mühitin, qalaktikada iri miqyasda maddə paylanması, relyativistik elektronların paylanması və kosmik şüaların Günəş şüalanması tərəfindən modulyasiyası haqqında məlumat daşıyır.

Günəş tacının temperaturu 10^6 K çatır, odur ki, aşağı tezliklərdə istilik şüalanmasının intensivliyi çox kiçikdir – $10^{-26} Vt/(m^2 \cdot Hs)$. Eyni zamanda uzundalğalı oblastda Günəşdən çox güclü qeyri-istilik

təbiətli alışıma radioşüalanması müşahidə olunur ki, bunun intensivliyi $10^{-16} \text{ Vt}/(m^2 \cdot \text{Hs})$ təşkil edir. Belə alışımlar əksər hallarda III tipə aiddir, yəni tezlik zolağı bir neçə meqaherts təşkil edir və 5-10 dəqiqə ərzində alışıma sönür. Qeyd edək ki, son dövrlərdə Əünəş şüalanmasında aşağı tezliklərdə digər tip radioşüalanmalar da müşahidə olunmuşdur.

Alışıma planetlərarası plazma və Günəş şüalanması qarışığından ibarətdir. Maqnit sahəsində plazmada həyəcanlanma yaranarsa, birtəzlikli mühitə nisbətən qarışıq tezlikli mühitdə dalğa enerjisinin daha effektiv şəkildə şüalanma enerjisinə çevrilməsi baş verir (məsələn, tormozlanma və elektronların sinxrotron şüalanması). Misal kimi plazmanın məxsusi tezliyində Lenqmor dalğasının yaranmasını göstərmək olar:

$$\omega_e = \left(\frac{4\pi n_e e^2}{m_e} \right)^{1/2} \text{ rad/san} \quad (1.1.3)$$

Və ya Şirotezlikdə rəqslərin yaranma tezliyi və ya

$$\omega_H = \frac{eH}{m_e c} \text{ rad/san} \quad (1.1.4)$$

maqnitokustik dalğaların yaranması və s. Belə rəqslər həm də Günəşin aktiv oblastlarından atılmış və subrelyativistik sürətə $(3-10) \cdot 10^4 \text{ km/san}$ qədər sürətləndirilmiş elektron dəstələrinin yaranmasına səbəb olurlar. Günəşdən uzaqlaşdıqca belə selin qiyməti də azalır. Yürüstü radiomüşahidələr 10-600 MHz diapazonda günəş alışımlarını Günəş mərkəzindən 5 günəş radiusundan böyük məsafələrdə ölçə bilmədiyi halda daha uzundalğalı oblastda tezlik azaldıqca Günəşdə yaranmış aktiv mənbələrin yer orbitinə gəlib çatana qədər izlənməsi mümkündür. Belə müşahidələr «Proqnoz», «Kosmos-Koopernik» raketlərində, «Havkeye», «Helios» və s. peyklərində aparılmışdır.

Planetlərin radioşüalanması aktiv şəkildə həm yürüstü, həm də APS heyətində qurulmuş antennalarla müşahidə olunmuşdur. Məsələn, Yupiterin uzundalğalı radioşüalanması ilk dəfə 200 kHs tezlikdə «Zond-3» və «Venera-2» peyklərində ölçülmüşdür. Ümumiyyətlə Yupiterin orta şüalanma seli $10^{-20} \text{ Vt}/(m^2 \cdot \text{Hs})$ –dir, güclü qeyri-istilik alışımasında $10^{-15} \text{ Vt}/(m^2 \cdot \text{Hs})$ -ə çatır. Yupiterin uzundalğalı radioşüalanması geniş şəkildə «Voyacer» kosmik aparatı tərəfindən öyrənilmişdir. Həmin peyk Saturnun yaxınlığından keçərkən onun qeyri istilik şüalanmasını 200 kHs tezliyində ölçmüş, 20 kHs-dən bir neçə MHz –ə qədər diapazonda 0.1 san müddətli impulsları ölçmüşdür. Sonradan bu impulsların Saturn həlqələrində baş verən elektrostatik boşalmalar nəticəsində əmələ gəlmiş aydınlaşdırıldı.

10-80 kHs tezlik diapazonunda «Venera 11» və «Venera 12» tərəfindən Venera atmosferində baş verən 40 s^{-1} tezlikli şimşək çaxması qeyd olunmuşdur. Belə ildırımlar vaxtı ayrılan enerji təxminən yerdəki ildırımlarda olduğu qədərdir.

Yer özü də maksimumu 100-300 kHs tezliyində olan aşağı tezlikli radioşüalanma mənbəyidir. Bu şüalanmanın iki komponenti vardır: 1) təqribən $10^{-19} \text{ Vt}/(m^2 \cdot \text{Hs})$ olan və yerin maqnitosferində yaranan qeyri istilik təbiətli zəif şüalanma, 2) intensivliyi $10^{-12} \text{ Vt}/(m^2 \cdot \text{Hs})$ çatan, tam gücü 10^9 Vt olan iki yer radiusu məsafədə avroral istiqamətdə yaranan sporadik alışıma şüalanması. RAE-2 peykinin ətrafı orbitdə uçuşu zamanı yerətrafı km-lik radioşüalanma diapazonunun xəritəsi çıxarılmışdır.

Təxminən 1 sm-dən kiçik dalğa uzunluqlu diapazonda kosmik radioşüalanma Yer atmosferindən keçərkən kəskin azalır, atmosferin istilik şüalanması günəş işıqlanmasının istiqamətindən asılı olaraq yüzlərlə kelvinə çatır. Bununla yanaşı, temperaturu 3 K olan metaqalaktik relikt (qalıq) fon şüalanmasının maksimumu bir neçə millimetrlik diapazona düşür. Ona görə bu cür şüalanmanı qeyd etmək üçün antenna balon məsafəsinə qədər atmosferin yuxarı qatlarına qaldırılmalıdır. Belə yüksəklikdə 20-50 QHs tezliklərdə qalıq atmosferin effektiv şüalanma temperaturu 0.01 K olur. Bu da cihazın həssaslığının böyüməsi nəticəsində fon şüalanmasının dipol

komponentinin anizotropiyaya malik olmasını aşkar etməyə imkan vermişdir. Bu hadisə, ola bilsin ki, Günəş sisteminin fona nisbətən 300 km/san sürətlə hərəkət etməsinin nəticəsidir.

1.2 Kosmosda antennalar

Əvvəlki paragrafda deyildiyi kimi, uzundalğalı oblastda radiomüşahidələr yalnız ionosferdən yuxarıda mümkündür. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, Yer planeti plazma örtüyü ilə əhatə olunmuşdur və o da öz növbəsində planetlərarası plazmaya keçir. Ona görə radiosiqnallara bu mühitin təsiri də nəzərə alınmalıdır.

Atmosferdə elektronların sıxlığı şüalanan tezliyin qiymətinə təsir göstərir və ekvatorial müstəvidə məsafədən asılı olaraq

$$n_e = 1.35 \cdot 10^5 \left(\frac{Ry}{R}\right)^4 \text{ sm}^{-3} \quad (1.2.1)$$

kimi dəyişir. Burada Ry – yerin radiusu, R – məsafədir. Deməli, şüalanma tezliyi $\nu \sim n_e^{1/2} \sim R^{-2}$ kimi asılıdır. Bundan başqa, n_e sıxlığı verilən hündürlükdə geomaqnit enlikdən də asılıdır, ona görə də kosmik aparatın orbit parametrlərindən də asılıdır.

Yerin maqnit sahəsi olduğundan Şirotezlik adlanan bir xarakteristikanı da nəzərə almalı oluruq. $\nu_H = \omega_H / 2\pi$ (bax 1.1.4 düsturuna). Bundan əlavə, maqnitlənmiş plazma özünü optik maqnit sahəsi istiqamətdə yönələn iki cür sındıran mühit kimi aparır. Ona görə düşən şüa adi və qeyri-adi şüaya çevrilir.

Beləliklə, maqnitosfer plazmanın olması, 1) udulma əmsalının düşmə istiqamətindən asılılığına, 2) plazma dalğalarının effektiv udulduğu dalğa uzunluğunda intensiv küyün yaranmasına, 3) şüalanmanın refraksiyasına səbəb olur. Bundan başqa, yerin məhəllindən asılı olaraq təbii və süni radioküylər günün vaxtından, coğrafi koordinatlardan, geomaqnit aktivliyindən asılı olaraq dəyişir.

Kosmosa çıxarılan antenna özü də aktiv və tutum müqavimətinə malikdir. Kosmik şüaların tərkibində olan elektronların miqdarından asılı olaraq bu kəmiyyət dəyişə bilər. Ona görə də bunu dəqiq qiymətləndirmək üçün antennada xüsusi qurğu yerləşdirilir.

Bütün bu deyilən faktorlar ona gətirib çıxarır ki, antenna Yer ətrafında böyük apogeyli orbitlərə çıxarılmalıdır. Uzun dalğalı diapazonda radioşüalanmanı qeyd etmək üçün antenna kimi bir çubuq, elektrik dipol antenası, yaxud çərçivə formalı maqnit dipolu istifadə olunur. Çubuqşəkilli antenna üçün dalğa müqaviməti

$$R = 40\pi^2 \frac{l^2}{\lambda^2} \text{ Om} \quad (1.2.2)$$

kimi təyin olunur. Burada l - çubuğun uzunluğudur. Antennanın tarazlıq temperaturunda onun effektiv parlaqlıq temperaturu $T_0 = c\lambda^2/2k$ kimi təyin olunur. Onda antannanın uclarında küy gərginliyi

$$U^2 = 4rT_a R \Delta \nu B^2 \quad (1.2.3)$$

ilə təyin olunur. Burada $\Delta \nu$ - qəbul zolağının enidir. Onda qeyd olunan intensivliklə antennadakı gərginlik arasında əlaqə

$$j = \frac{U^2}{2\lambda^2 R \Delta \nu} \text{ Vt}/(m^2 \cdot \text{Hs} \cdot \text{sr}) \quad (1.2.4)$$

kimi verilir. Tək çubuqşəkilli antenna halında bu münasibət

$$j = \frac{U^2}{80\pi^2 l^2 \Delta \nu} \quad (1.2.5)$$

kimidir. Elektrik dipolu halında müqavimət 2 dəfə böyükdür və buna uyğun olaraq

$$j = \frac{U^2}{160\pi^2 l^2 \Delta \nu} \quad (1.2.6)$$

olar. cihazın fluktuasiya həssaslığı qəbuledicinin küy səviyyəsini göstərən S_k kəmiyyətindən asılıdır. Bu kəmiyyət küy temperaturu T_k ilə belə asılıdır:

$$S_k = kT_k \Delta \nu \quad Vt \quad (1.2.7)$$

cihazın həssaslığı antenna temperaturu ilə belə ifadə olunur:

$$T_a = A \frac{T_k}{(\Delta \nu \Delta t)^{1/2}} \quad ^\circ K \quad (1.2.8)$$

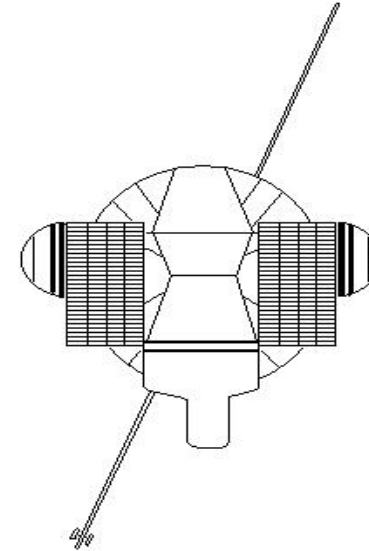
Burada $A \geq 1$ əmsalı qəbuledicinin tipindən və modulyasiya növündən asılıdır, Δt –siqnalın antenna çıxışında toplanma müddətidir. Diskret mənbədən gələn sel antenna temperaturu ilə belə bağlıdır:

$$F = \frac{kT_a}{2S_{eff}} \quad Vt/(m^2 \cdot Hs) \quad (1.2.9)$$

Burada S_{eff} – effektiv sahədir. İzotrop antennada həmin sahə $\lambda^2 / 4\pi$ təşkil edir.

1.3. Uzun dalğalı radiodiapazonda müşahidələr

Yüksək apogeyli orbit cihazları. «Elektron», «Zond», «Luna», «Venera» seriyalı peyklərində 20 kHs dən 20 MHs-ə qədər diapazonda çiyinlərindən biri uzunluğu 2.5-4 m olan çubuq, digəri isə kosmik aparatın gövdəsi idi. 1.3.1-ci şəkildə belə konstruksiyanın sxemi verilmişdir. Bu cür konstruksiya dalğa müqavimətinin qiymətinə görə uzunluğu 3 m olan dipolun müqavimətinə ekvivalentdir.



Şəkil 1.3.1. Çubuqşəkilli radioantennası olan qəbuledicinin sxemi.

«Zond-3» kosmik aparatında müşahidələr zamanı Günəşdən uzaqlaşdıqca radioselin Yupiterə qədər olan məsafənin kvadratının tərs qiyməti ilə mütənasib olaraq tədricən dəyişməsi aşkar olunmuşdur. Eyni bir hadisə «Venera-2» APS ilə müşahidə vaxtı alınmışdır. Bundan əlavə, stansiya Yupiterin Ay tərəfindən tutulması trayektoriyası tlə hərəkət etmişdir. Bu zaman 210 kHs tezlikdə sel kəskin azalmışdır. Siqnalın düşmə sürəti və düşmənin başlama vaxtı Yupiter yaxınlığında ölçüləri 5-10' -dən çox olmayan kompakt obyektin mövcud olması sübut olunmuşdur.

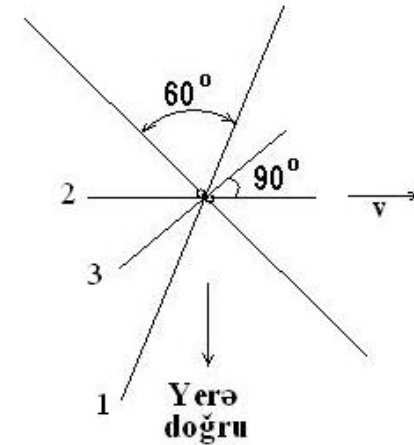
«Luna 11, 12, 22» stansiyasında 22 kanallı çubuqlu antennaya malik radiometr qurulmuşdu. Bu antenna $3 \cdot 10^7$ K küy temperaturuna malik idi. Radiometr 10^8 -dən 10^{14} K parlaqlıq temperaturuna malik alışımları ölçməyi nəzərdə tutduğu üçün onun gücə görə dinamik diapazonu 60 dB təşkil edirdi.

Uzunluğu 100 m olan dipol antennaları «Ariel-2» və «Xaukay» peyklərində qurulmuşdu. Belə uzun antennalar yalnız yığılmış şəkildə kosmosa çıxarıla bilərdi. Odur ki, məsələn, «Ariel-2» stansiyasında antenna uzun lent formasında olub, orbitə çıxarkən raketin gövdəsinə dolanmışdı. Orbitdə isə xüsusi qaydada açılaraq işçi vəziyyətə gətirilmişdi.

Kosmik aparat dipolun oxuna perpendikulyar ox ətrafında fırlanmaqla alçaq tezlik diapazonunda bir neçə dərəcə ayırd etməyə nail olmaq olar. ABŞ-ın Ayova ştatındakı universitetdə və Qoddardov kosmik uçuşlar mərkəzində belə təcrübələr aparılmışdır. Bununla əlaqədar olaraq OGO, İMP-6, 7 və 8, «Xaukay-1 və 2», «Qelios-1 və 2» peyklərindən Yerə kilometrlik şüalanmasının paylanması, Günəş alışımlarını və qalaktik fonu öyrənmək üçün istifadə olunmuşdur. İMP-8 peykində antenanın uzunluğu 122 m-ə çatırdı. Dipolun oxu ekliptika müstəvisində yerləşmişdir. Kosmik aparat ekliptikaya perpendikulyar ox ətrafında bir neçə saniyə periodla fırlanırdı. Bu metodla mənbənin lokallaşdırılması İSEE peykində də həyata keçirilmişdir.

1968-ci ildə yerətrafi orbitə göy sferini kartoqrafiya etmək və günəş alışımlarını öyrənmək üçün ABŞ peyki RAE-1 çıxarıldı (Şəkil 1.3.2). Peykdə qolları arasındakı bucağı 60° olan iki V-şəkilli antenna

vardı. Belə konstruksiyada 4 MHs tezlikdə istiqamət diaqramı dipola nisbətən $\lambda < 230$ m diapazonda çox ensiz idi və təxminən 23° - 52° təşkil edirdi. Diaqramın arxa yarpağının küyü əsas yarpağa görə 18 dB azdır ki, bu da Yerdən gələn küyün zəiflədilməsi üçün çox önəmlidir. Bunlarla yanaşı peykin istənilən hündürlükdə qravitasiya stabilliyini həyata keçirmək mümkündür.



Şəkil 1.3.2. RAE-1 peykinin hərəkət sxemi. 1-V-şəkilli antenna, 2 - dipol antenası, 3 -192 m-lik çubuq təsvir olunur. Oxlarla Yerə doğru istiqamətlə peykin sürət istiqaməti göstərilmişdir.

Müşahidələr göy sferini skanlama üsulu ilə aparılmışdır. Peykin presessiyası 0.5 %/gün təşkil edirdi, ona görə $\delta \leq 59^\circ$ intervalında göy sferini skanlamaq üçün 1 il vaxt lazım olmuşdur.

Peykin bütün antennaları və çubuq kosmosa dolaq şəklində çıxarılmış və sonra açılaraq xüsusi sıxıcılarla bərkidilmişdir. V-şəkilli antenanın qolları bir-birindən $\pm 3^\circ$ qədər normadan kənara çıxma reşimində işləmişdir, ki bu da norma daxilində hesab olunurdu.

V-şəkilli antennaya iki yüksək stabilliyə malik radiometr birləşirdi. Bu cihaz 0.45-9.2 MHzs intervalını 9 kanalda 200 kHs enində zolaqla ölçmə aparılmışdır. Hər 10 dəqiqədən bir antennalar dərəcələyici mənbəyə qoşulurdu.

1973-cü ildə ayətrafi orbitə RAE-1-in analoqu olan yeni kosmik aparat RAE-2 çıxarılmışdır. Yerdən olan məsafənin böyüklüyü radiomüşahidəni 20kHs tezliyə qədər müşahidə etməyə imkan vermişdir. Ayda radioküylər yoxdur, bundan başqa, orbitdə Yerə görünməyən hissələrində fon şüalanması da müşahidə olunmurdu. Ayətrafi orbitdən aparılmış müşahidələr radioşüalanmanın ikiölçülü xəritəsini ay tutulması üsulu ilə tərtib etməyə imkan vermişdir. Ayın kənarı kifayət qədər iti olduğundan bucaq ayırılması peykin orbitdə vəziyyətindən asılı olmuşdur və əsasən 15' təşkil etmişdir.

RAE-2 peykinin presessiyası cəmi 0.14 °/gün təşkil edirdi, ona görə bir il ərzində düz doğuş istiqamətində 50° bir zolaq müşahidə oluna bilirdi. Bu peyklə çoxsaylı Ay tərəfindən Yer tutulması, Yupiter və Günəş tutulmaları müşahidə olunmuşdur.

1.4 Müasir kosmik radioteleskoplar

Astronomik məqsədlər üçün ilk dəfə yüksək tezlikli diapazonda iti istiqamətli parabolik APS antennaları istifadə olunmuşdur. Belə antennalarla bir çox maraqlı müşahidələr aparılmışdır. Bunlardan Günəş tacının xassələrinin tədqiqi, planet atmosferlərinin radioşüalanma ilə qarşılıqlı təsiri, ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin effektlərinin yoxlanması misal ola bilər. Məsələn, «Venera-9 və 10» APS ilə Veneranın orbitindən parabolik antenna vasitəsi ilə 8 və 32 sm koherent monoxromatik siqnal bu planetin atmosferinə yönəldilmişdir. Doğubatma anlarında göndərilən siqnalların yerdə müşahidəsi gecikməyə görə planet atmosferinin fiziki parametrlərini təyin etməyə və orada dalğanan yayılma şəraitini müəyyən etməyə imkan vermişdir. Bu cür 20 radioseans nəticəsində atmosferin sıxlıq

və temperaturu, ionosferin elektron konsentrasiyası təyin olunmuşdur.

Analoq müşahidələr «Mariner» kosmik aparatı vasitəsi ilə də aparılmışdır. Bundan başqa «Voyager-1 və 2» stansiyası Yupiter və Saturnun yaxınlığından keçəndə iti istiqamətli antennalar vasitəsi ilə 3.5 və 13 sm analoq təcrübələr aparılmışdır. Həmin aparatlarla Günəş Yerlə kosmik aparat arasında olarkən Günəş tacına göndərilmiş radiosiqnallar vasitəsi ilə siqnalın Günəş yanından keçərkən gecikməsi əsasında relyativistik effektlər və qravitasiya sahəsinin təsiri öyrənilmişdir.

Kainatın ilkin genişlənməsi mərhələsində materiyanın xassələri haqqında bir sıra hipotez və nəzəriyyələri yoxlamaq üçün, habelə bizim və digər qalaktikalarda yerləşən mənbələrin mm diapazonda radioşüalanmasını öyrənmək üçün qəbul edicinin həssaslığı 0.1 mK olmalıdır. Balonlarda qoyulmuş radiometrlərdə detektorların həmin diapazonda həssaslığı bundan bir tərtib az idi. Tələb olunan həssaslıq diapazonuna çıxmaq üçün 1983-cü ildə kosmosa «Proqnoz-9» YSP buraxıldı. Peykdə 8 mm diapazonda iki yüksək həssaslıqlı radiometr qoyulmuşdu. Onlardan biri göy sferində Günəş istiqamətinin əksinə yönəldilmişdi. Digər parabolik antenna stansiyanın yan tərəfinə bərkidilmişdi. Peyk 2 dəqiqə periodla fırlandıqca Günəş istiqamətinə perpendikulyar böyük bir dairə müşahidə oluna bilirdi. Bucaq ayırılması radioxəritə tərtibində 5° təşkil edirdi. Yerdən gələn istilik şüalanmasının təsirində azad olmaq üçün peyk apogey məsafəsi 700000 km olan bir məsafəyə çıxarılmışdı.

Daha yüksək həssaslıqlı teleskoplar əldə etmək üçün kosmosa daha böyük ölçülü teleskopların çıxarılması lazımdır. Bu cür teleskopları orbitə çıxarmaq çətin olduğundan açılı bilən antenna sistemləri quraşdırılmağa başlandı. Bu məqsədlə ilk dəfə 10 m diametrlə KRT - 10 teleskopu düzəldildi və «Salyut-6» peykində «Proqress-7» daşıyıcısı vasitəsi ilə kosmosa çıxarıldı.

Müasir açılan antennalar açıq vəziyyətdə hər 1 m² sahəyə 1 kq kütlə yerləşdirir və yığılma əmsalı 10:1 təkil edir. KPR-10 üçün bu əmsal 20:1 təşkil etmişdi ki, bu da maksimal sayılır. Yığılmış

vəziyyətdə antenna ölçüləri 0.5 m olan altıbucaqlı prizma şəklində olurdu.

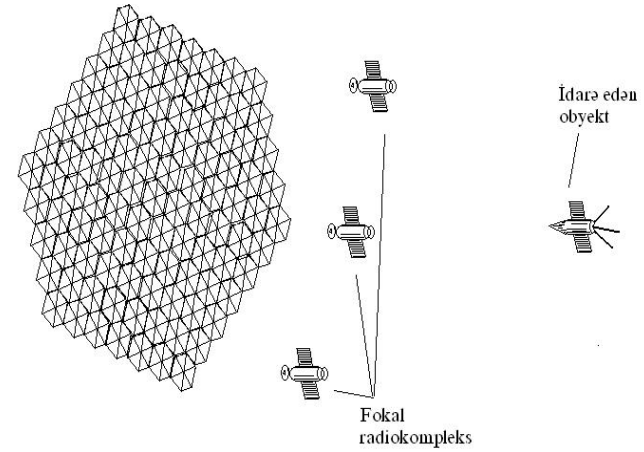
Açılan antenalar üçün əsas texniki problem səthin açıldıqdan sonra lazımı dəqiqliyə malik olmasıdır. Diametri D olan antenanın gücləndirmə əmsalı səthin ideal səthdən fərqləməsi ilə əlaqədardır:

$$G = \eta \left(\frac{\pi D^2}{\lambda} \right)^2 \exp \left[- \left(\frac{4\pi\sigma}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (1.4.1)$$

Burada η - antenanın sahəsinin istifadə əmsalı, σ - səthin ideal səthdən orta kvadratik kənaraxımasıdır. Verilmiş σ üçün G kəmiyyəti $\lambda = 4\pi\sigma$ qiymətində maksimuma çatır. Əgər η -əmsalı 0.5 isə $G_{\max} = 0.01 (D/\sigma)^2$. KRT-10 üçün işçi dalğa uzunluğu 12 və 72 sm təşkil edirdi, ona görə kənaraxıma 1 sm-dən çox deyildi. Ona görə açılma bucağı 12 sm-də 1° , 72 sm-də isə 5° təşkil etmişdi. KRT-10 -da həssaslıq 0.2-0.3 K olmuşdur.

KRT-10 və Kırımdakı 70 m-lik yerüstü radioteleskopun birgə işləməsi nəticəsində ilk dəfə Yer diametrindən böyük bazaya malik yer-kosmik interferometr yaradılmışdı.

Hazırkı dövrdə kosmosda diametri onlarla metr olan açılan radioteleskop işləyə bilər. Gələcəkdə belə antenaları modul şəklində orbitə çıxarıb kombinasiya etməklə diametri 1-10 km-ə çatan teleskoplar qurmaq mümkün olacaqdır. Belə modulların hər birinin diametri 200 m-ə çatır və onlar arasında məsafə 1-10 a.v. təşkil edir. Güzgülərin səthinin nəzarəti və orientasiyası xüsusi peyklərlə idarə olunacaqdır (Şəkil 1.4.1). Belə teleskopun həssaslığı 10^{-35} - 10^{-37} Vt / (m²·Hz) olacaqdır. Lakin belə yüksək həssaslıqda aşkar olunmuş mənbələrin təsviri üst-üstə düşür, ona görə də müşahidələri interferometrik reşimdə iki-üç belə antenna ilə aparmaq zəruridir. 10 a.v. bazası olan belə sistemlərdə



Şəkil 1.4.1. Çox böyük diametrlı kosmik radioteleskopun sxemi.

ayır etmə 10^{-7} - 10^{-10} bucaq saniyəsi təşkil edir. Bir-birindən 1-10 a.v. məsafədə işləyən belə antenalarda müşahidə olunan oblaştın holoqrafik təsvirini almaq mümkün olacaqdır. Bu zaman maksimal ölçülən məsafə Frenel zonasının radiusu ilə müəyyən olunacaqdır:

$$R_f = \frac{2\pi D^2}{\lambda} \quad (1.4.2)$$

Burada D güzgülər arasındakı məsafədir. $\lambda = 10$ sm və $D=10$ a.v. olarsa, bütün görünən kainatın holoqrafiyasını almaq olar ($R_f \sim 10^{28}$ sm).

Böyük radioantennaların kosmosa çıxarılması radioastronomiyanın ən perspektivli məsələlərindən biridir. Belə bir eksperimentdə əsas məqsəd antenalar arasında Yer kürəsinin diametrindən böyük bazis əldə etməkdir. Bu da qısdaldığı radiooblastda çox böyük - 10^{-6} bucaq saniyəsi qədər ayır etmə

almağa imkan verir. Kosmik radioteleskopun yaradılması çox çətin bir texniki məsələdir. Diametri 10-20 m olan çətir kimi yığıla bilən antenaları raketdə elə yerləşdirmək lazımdır ki, o lazımı vəziyyətdə açıqlara istənilən forma alsın. Onu daşıyan peyk 100 Mhz və ya daha böyük zolaqda yüksək sürətli rabitə sistemi ilə təmin olunmalıdır. Adətən, belə peykdə (rubidium, sezium və ya hidrogendən ibarət) tezliyi $\Delta f/f \cdot 10^{-12}$ - dən az olmayan atom standartı yerləşdirilir. Belə saat-generatorun 100 il ərzində kənar çıxması 0.003 saniyə olar.

Qeyd olunan 10^{-6} bucaq saniyəsi ayırdetməsini almaq üçün Yerdən 100 000 km məsafədə peykin orbitdə koordinatlarını yüz metr dəqiqliklə bilmək lazımdır. Bundan başqa, peykin gövdəsində ifratyüksək həssaslıqlı radioqəbuledicilər, sm və dm diapazonlarda işləyən gücləndiricilərin birinci bölməsinin kriogen temperaturuna qədər soyudulmasını nəzərdə tutan cihazlar yerləşir.

Bunlara baxmayaraq ilk kosmik radiointerferometr «XALKO» Yaponiyada 1998-ci ildə həyata keçirilmişdir. Onun nazik məftillərdən ibarət torşəkilli 8 metrlik çətir-antennası normal açılmışdır və peyk artıq bir neçə ildir ki, yerdəki antenalarla interferometrik reşimdə işləyir. Rusiyada beynəlxalq «RADİOASTRON» layihəsi üçün 10 m - lik antennaya malik və 1.35 - 91 sm diapazonunda işləyən interferometr hazırlanır. Bu layihədə ABŞ, Kanada, Hollandiya, İsveçrə, Finlandiya, Avstraliya və digər ölkələr iştirak edir. Bu nəhəng layihədə AFR, Rusiya, Ukrayna, ABŞ və Avstraliyanın yerüstü teleskopları iştirak edir.

FƏSİL 2 ULTRABƏNÖVŞƏYİ VƏ OPTİK DİAPAZON

2.1. Optik diapazonda tətbiq olunan cihazlar

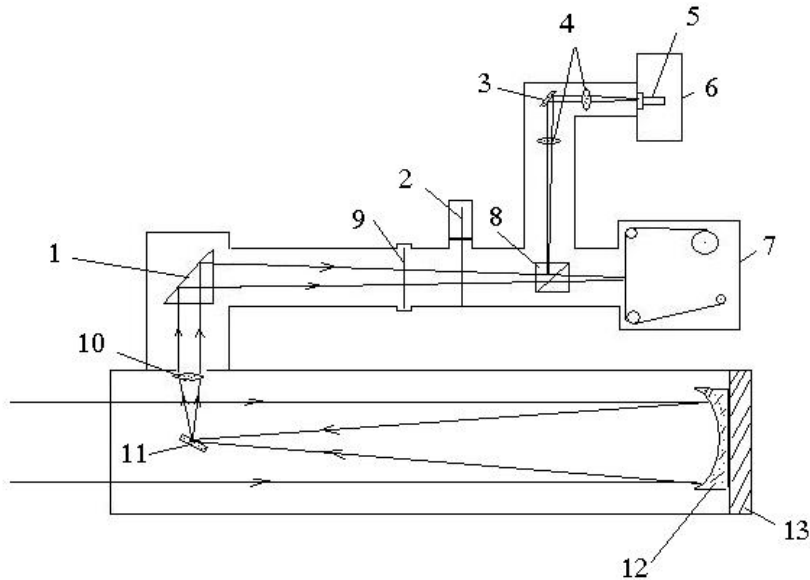
Görünən oblastda ($\lambda = 3000 - 7000 \text{ \AA}$) indiyədək atmosferdənkənar astronomik müşahidələr bir o qədər də çox aparılmamışdır. Buna səbəb yerüstü cihazların imkanlarının müqayisəolunmaz dərəcədə yüksək olmasıdır. Bundan başqa, kosmik texnikanın çox baha olmasını nəzərə alaraq yalnız o atmosferdənkənar optik müşahidələri aparmaq zərurəti yaranır ki, onu Yer atmosferinin təsirini aradan qaldırmadan almaq mümkün deyil. Belə problemlərə aşağıdakıları misal göstərmək olar:

1. Günəş diskinin aktiv oblastlarının və qranulyasiyanın 0.5"-dən böyük ayırdetmə ilə alınması, spektral ayırdetmənin $R \geq 100000$ çatdırılması;
2. Günəş tacının tutulmasız uzun müddət müşahidəsini aparmaq;
3. Planet və onların peyklərinin yaxın məsafədən böyük bucaq ayırdetməsi ilə alınması;
4. Ulduz və qalaktikaların kütləvi fotometriyası;
5. Şüalanmanın polyarlaşma xarakterini tədqiq etmək;
6. Böyük bazaya malik interferometrik müşahidələr aparmaq.

Optik diapazonda Günəşi müşahidə etmək üçün aşağıdakı cihazlar hazırlanmışdır.

a) «Stratoskop-1» balon teleskopu Günəşin 0".3-0.4" ayırdetmə ilə fotoqrafik şəklini çəkən ilk alətdir, 1957-ci ildə ABŞ-da düzəldilmişdir. Onun obyektivi 30.5 sm, fokus məsafəsi 67 m, görmə

bucağı 1'.8- çatırdı. Teleskopun optik sistemi 2.1.1-ci şəkildə verilmişdir. Teleskopun güzgüsünün birinci fokusunda Günəşin xəyalı 23 mm diametrə çatırdı. Bu xəyal 45° bucaq altında duran müstəvi güzgü ilə böyüdücü sistemə verilirdi. Xəyal kinolentə qeyd olunurdu. Qapayıcı qarşısındakı süzgəc spektral zolağı $\lambda=5450 \text{ \AA}$ dalğa uzunluğu ətrafında 800 \AA qədər daraldırdı.



Şək.2.1.1. «Stratoskop-1» teleskopunun optik sxemi: 1-prizma, 2-qapayıcı, 3-müstəvi güzgü, 4- linza sistemi, 5 və 6- vidikon və videokamera, 7- lent kaseti, 8-işiq bölüşdürücüsü, 9-süzgəc, 10-böyüdücü linza, 11-güzgü, 12-baş güzgü, 13-güzgünün tutqacı.

Bundan sonra Almaniya buna analoşi «Spektratoskop» cihazı hazırlandı. Bu cihazda spektroqrafın giriş yarığı böyüdücü sistemin fokusunda yerləşdirildi. Yarıqdan keçən işıq 600 ştr/mm-lik difraksiya qəfəsinə düşür. Spektir 0.1 $\text{\AA}/\text{mm}$ dispersiya ilə (7 \AA -lik zolaqda olmaqla) və $R=400000$ ayırdetmə ilə alınmışdır.

b) Bundan sonra 1966-cı ildə Sovet İttifaqında stratosfer astronomik stansiyası, kosmosda istiqamətə və stabilləşməyə görə uyğunlaşdırılmış «Skayleb» və bir çox digər teleskoplar istifadə olunmuşdur.

2.2. Ultrabənövşəyi oblastda müşahidələr

Ultrabənövşəyi oblastda 100-3000 \AA diapazonda müşahidələr 1940-cı illərdən başlamışdır. Müşahidə metoduna və alınan nəticələrə görə bu diapazon da müxtəlif zolaqlara bölünür. a) Dalğa uzunluğu 2000-3000 \AA olan «yaxın» ultrabənövşəyi oblast üçün kiçik dəyişmələr tətbiq etməklə optik diapazonda işlənən cihazlardan istifadə etmək olar. Bu diapazonda olan fotonlar atmosferin 30-40 km yüksəkliyində udulur. Ona görə balonlar vasitəsi ilə 2300-2700 \AA diapazonunda olan ozon zolağından başqa qalan oblast müşahidə oluna bilər. Bundan başqa çoxlu sayda zondlayıcı peyklər vasitəsiylə bu zolaqda müşahidələr aparılmışdır.

b) «Uzaq» və ya «vakuum» diapazonu 1000-2000 \AA -lik zolağı əhatə edir. Dalğa uzunluğu 2000 \AA -dən kiçik olan diapazon üçün optik şüşələrin şəffaflığının aşağı düşməsi yalnız əksedirici optikadan istifadə etməyi zəruri edir. Bunun üçün xüsusi materiallardan,

enlizolaqlı süzgəclərdən və fotoelektrik gücləndiricilərdən istifadə edilir.

Atmosferdə UB şüalanma güclü udulmaya məruz qaldığına görə bu oblastda müşahidələr yalnız atmosferdən kənar, 100 km –dən yüksək məsafədə raket və kosmik peyklərlə mümkündür. Bunun üçün hələ XX əsrin 50-ci illərindən müxtəlif vakuüm monoxromatorları və spektrometrləri hazırlanmışdır.

c) dalğa uzunluğu 1000 Å-dən kiçik uzaq UB oblast onunla xarakterizə olunur ki, şüaların qəbuledici səthə normal istiqamətdə düşməsi zamanı qayıtma əmsalı çox kiçikdir. Bu da praktiki olaraq adi optik sistemlərin işığı toplamaq üçün istifadə olunmasını mümkünsüz edir. Bundan əlavə, $\lambda = 100-1000$ Å oblastda bu diapazon üçün şəffaf material olmadığı üçün işıq qəbulediciləri açıq tipli olmalıdır, yəni qəbuledicilər giriş pəncərəsiz olmalıdır.

Uzaq UB oblastda Günəşin, ulduzlararası və planetlararası mühitin çoxsaylı müşahidələri aparılmışdır. Son illər xüsusilə günəşdənkənar obyektlərin müşahidələri intensiv şəkildə aparılmaqdadır. Buna səbəb odur ki, son dövrlərə qədər günəşətrafi mühitdə hidrogenin sıxlığının $n_H = 0.1 - 1 \text{ sm}^{-3}$ olduğu hesab olunurdu. Lakin 912 Å -lik dalğa uzunluğunda (Layman seriyasının sərhəddi) bir hidrogen atomuna düşən udulmanın effektiv kəsiyi 10^{-17} sm^2 olduğundan və λ^3 –lə mütənasib azaldığından 200 - 912 Å diapazonda şüalanma ulduzlararası mühit tərəfindən tamamilə udulmalı idi.

«Koopernik» peykində qurulmuş UB teleskopla ulduzlararası mühitin udulma xətlərinin öyrənilməsi sübut etdi ki, Günəşdən 100 pk məsafədə belə ulduzlararası mühit UB şüalanmaya gözlənildiyindən daha şəffafdır. Doğrudan da, son illərin müşahidələri çoxlu sayda isti ağ cırtdanların və subcırtdanların,

hələ qalaktikadankənar obyektlərin UB şüalanmasını aşkar etdi. Bundan başqa, 1000-3000 Å diapazonda artıq on minlərlə müxtəlif təbiətli UB şüalanma mənbələri aşkar olunmuşdur.

Məlumdur ki, temperaturu 10000 K-dən yüksək olan obyektlərin şüalanmasının əsas hissəsi 3000 Å–dən kiçik diapazona düşür. Bu obyektlərin spektri UB oblastda onların temperaturu, enerji paylanması, kimyəvi tərkibi və atmosferin xassələri haqqında informasiya daşıyır. Bir çox geniş yayılmış elementlərin şüalanma və udulma rezonans xətləri UB oblastda yerləşir və bu xətlərin müşahidəsi fiziki şəraiti öyrənmək üçün mühüm vasitədir.

Günəşdə plazmanın temperaturu 30-50 min dərəcə təşkil edir, daxili tacda isə 10^6 K-ə çatır. Ona görə fotosferdən uzaqlaşdıqca atomların ionlaşma dərəcəsi artır və şüalanma spektri UB oblasta sürüşür. Bu oblastda udma əmsalı dalğa uzunluğu kiçildikcə artır və qəbul olunan şüalanma atmosferin getdikcə daha yüksək qatlarında üzə çıxır. Beləliklə fotosfer şüalanması xromosferə 1700 Å yaxınlığında, xromosferdən taca isə uzaq UB oblastda keçir. Bu zaman 1500 Å yaxınlığında fotosferin kəsilməz spektri yox olur və daha qısdalğalı oblastda xromosfer və tacın xətti şüalanma spektri üstünlük təşkil edir.

Günəş spektrində UB oblastda $L \alpha$ $\lambda 1216$ Å, $\text{HeI} \lambda 584 \text{Å}$, $\text{HeII} \lambda 304 \text{Å}$, bundan başqa oksigenin karbonun, azotun və s. xətlərinin müşahidəsi mühüm əhəmiyyətə malikdir. Spektral ayırılma 10^{-2} Å- çatan UB spektrləri əsasında xromosferdə və tacda olan fiziki şərait, atom və ion konsentrasiyası, müxtəlif həyəcanlandırma mexanizmləri və alışmalara gətirib çıxaran bir çox proseslər öyrənilmişdir.

1959-cu ildə L_{α} xəttində gecə səmasının diffuz şüalanması aşkar olundu. Müşahidələr sübut etdi ki, bu xətt Yerdən 10 yer radiusu qədər məsafədə geotacda yerləşən hidrogen atomunun Günəşdən gələn şüalanmanı udaraq yenidən şüalandırması nəticəsində yaranır. Bundan başqa Yerin, həm də Günəş şüalanmasını HeI $\lambda 584 \text{ \AA}$ xəttində səpən helium tacı da mövcuddur.

Planetlərin UB fotometrlərlə və spektrometrlərlə tədqiqi üçün əsasən onun atmosferinin aşağı hissəsini və səthini peyklərdən müşahidə edirlər. Planet səthinin parlaqlığı, atmosfer təzyiqi, kimyəvi tərkib və temperaturun təyini, temperatur və tərkibin hündürlüyə görə atmosferdə paylanması və s. belə məsələlərdəndir.

Günəşdən kənar mənbələrin UB oblastda tədqiqi 1000-3000 \AA oblastda görüş sahəsi bir neçə dərəcə olan geniş formatlı fotometrlərdə aparılmışdır. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, UB oblastda ümumi şüalanma sahəsi bu diapazonda qalaktikanın diskinə doğru maddə paylanması artdıqca böyüyür. Diskret mənbələrin tədqiqində iki istiqamət yaranmışdır. Birinci istiqamət müxtəlif tip obyektlərin – cavan ulduzların, dumanlıqların, alışan ulduzların, qalaktikaların fotometrik və kiçik ayırdetməli spektroskopik müşahidələridir. Alınan nəticələr kataloqlaşdırılmaqdadır. Belə müşahidələrə OAO-2A, TD-1A, ANS peyklərində aparılmış fotometrik ölçmələr və obyektiv prizmalı teleskopla aparılmış Soyuz-13, Apollon -16, OKS Skayleb misal ola bilər.

$\lambda < 3000 \text{ \AA}$ oblastında seyfert qalaktikalarının, BL Lac tipli obyektlərin, kvazarların və digər qalaktikadankənar obyektlərin kəsilməz spektrinin qeyri-istilik təbiəti öyrənilir. Bütün başqa diapazonlarla yanaşı, UB oblastda bu obyektlərin tədqiqi onların

enerji mənbəyinin təbiətini öyrənməyə, nüvəsindəki aktivliyin səbəblərini başa düşməyə kömək edir.

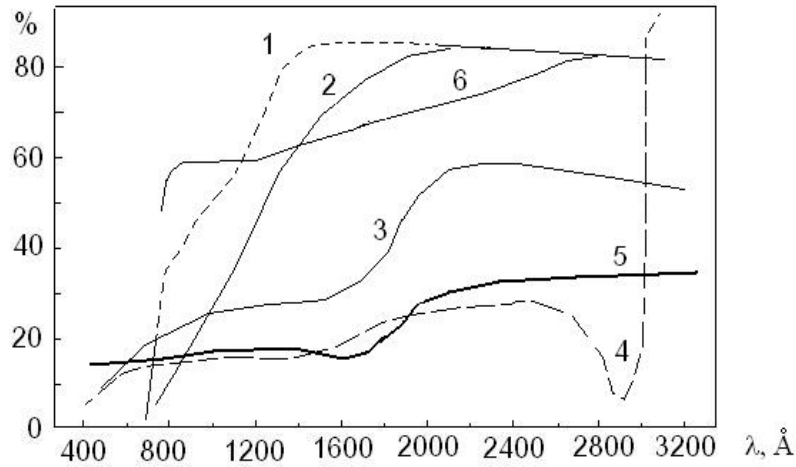
2.3. Uzaq UB oblastda müşahidə optikası

Məlumdur ki, optik şüələr $\lambda < 3000 \text{ \AA}$ oblastında qısa dalğalı UB şüalanmanı tamamilə udur. Kvars şüşə $\lambda < 1700 \text{ \AA}$ oblastında şəffafdır. Deməli, yaxın UB oblastda teleskop-refraktor da hazırlana bildiyi halda, uzaq UB oblastda yalnız reflektorlardan istifadə etmək olar. Hazırda buraxma sərhəddi uzaq UB oblastda yerləşən bir neçə kristal məlumdur. Bunlar safir (1425 \AA), kvars (1700 \AA), LiF (1050 \AA), MgF_2 (1150 \AA), CaF_2 (1225 \AA), BaF_2 (1350 \AA)-dir (Şəkil 2.3.1).

Bu kristalların tətbiqində əsas çətinlik onların qalınlığı artdıqca buraxmasının azalması və böyük diametrlə linzalar düzəltmək mümkün olmamasıdır. Bu kristalların bir sıra xassələri, məsələn, kosmos şəraitində şüalanmadan dəyişdiyi üçün onlardan düzəldilən optik hissələr üzərinə xüsusi tələb qoyulur ki, bu da əlavə texniki çətinliklər yaradır.

Bütün yuxarıda sadalanan çətinliklər ona gətirib çıxarır ki, bu materialları kiçik sahəli (3-4 sm^2) süzgülər və fabri linza kimi, yaxud qəbuledicilər üçün fotonları buraxan pəncərə kimi istifadə edirlər.

Alüminium təbəqəsi $\lambda < 2000 \text{ \AA}$ oblastında əksətdirmə qabiliyyətini itirir, ona görə güzgülərin üzəri başqa maddələrlə örtülür. Şüalar səthə perpendikulyar düşdükdə məlum olmuşdur ki, hər bir spektral diapazona özünəməxsus əksətdirici material tətbiq olunur. Məsələn, $\text{Al}+\text{MgF}_2$ üçün



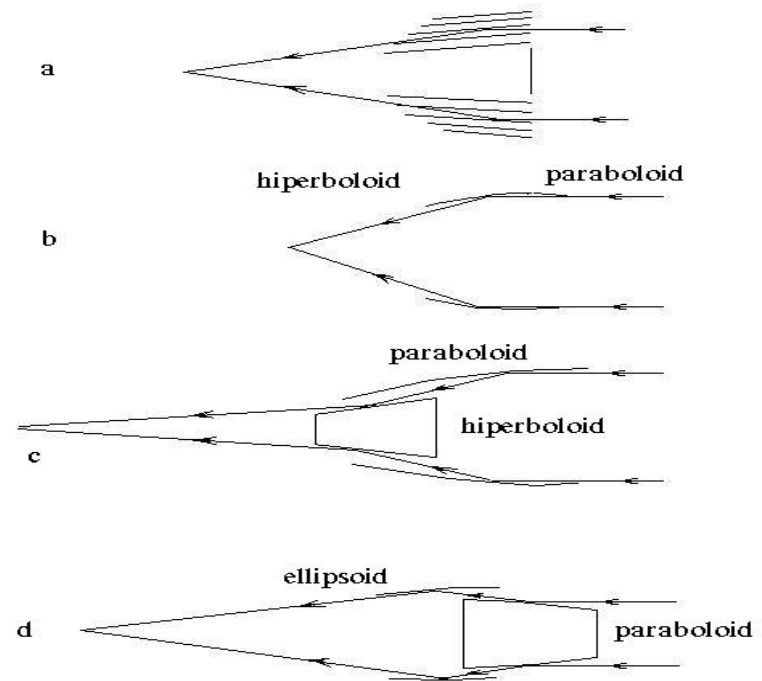
Şəkil 2.3.1. UB oblastda şüa səthə perpendikulyar düşərkən müxtəlif materialların əksətdirmə əmsalının dalğa uzunluğundan asılılığı. 1- Al+MgF, 2-Al, 3 -Be, 4-Ag, 5-Pt, 6-Al+LiF.

əksətdirmənin maksimumu $\lambda \approx 1000 \text{ \AA}$ -ə, Al+LiF $\lambda \approx 1200-1400 \text{ \AA}$ -ə və s. düşür.

2.3.1-ci şəkildən görünür ki, 500 -dən kiçik dalğa uzunluğunda səthə çəkilən məddələrin perpendikulyar düşmə zamanı əksətdirmə qabiliyyəti sıfıra qədər azalır. Ona görə də bundan çıxış yolu kimi uzaq UB və rentgen oblastda optik sistem yaratmaq üçün yalnız şüanı sürüşmə bucağı altında qəbul etməkdir. Şüa səthə vakuum-şüşə sərhəddində tam daxili qayıtmanın limit bucağından kiçik bucaq

altında salınır. 2.3.2 -ci şəkildə bu məqsədlə istifadə olunan bəzi optik sxemlər verilmişdir.

Sürüşmə bucağına görə düzəldilmiş teleskoplar rentgen və uzaq ultrabənövşəyi (UB) oblastda istifadə olunur. Şək. 2.3.2-ci şəkildə sxemlərdə a-Kirkpatrik – Baeza, və b, c, d -Uolterin I, II və III sxemləri istifadə olunur. Uolter II qəbuledicisi 10-100 nm diapazon üçün istifadə olunurdu.



Şəkil 2.3.2. Uzaq ultrabənövşəyi və rentgen oblast üçün 4 optik sistemin sxemi. a-Kirkpatrika-Baeza, b-I tip Uolter,

c- II tip Uolter, d- III tip Uolter sistemləri.

Qəbuledicidə 10 nm dalğa uzunluğu üçün səpilmə bucağı $\theta \approx 10^0$ -dir. Teleskop 400 sm² effektiv toplayıcı sahəyə malikdir. Teleskopun nisbi fokus məsafəsi 4.2, fokusu 160 sm, düşmə bucaq diapazonu 3.56-dan 6.82° -ə qədərdir. Kasseqren raket teleskopu uzaq UB oblast üçün nəzərdə tutulmuşdur. Teleskopun fokal müstəvisində difraksiya dairəsinin orta kvadratik ölçüsü 1° görüş sahəsi üçün 10', 1.5° üçün -20' olur.

Çəp şüalı sistemlər böyük toplama qabiliyyətinə malik olmaqla yanaşı bir sıra nöqsanlara da malikdirlər. Bu sistemlərdə difraksiya ayırdetməsinə nail olmaqdan ötrü Reley kriteriyasının ödənməsinə nail olmaq zəruridir. Bunun üçün keçən dalğa cəbhəsinin kənarəçixması $\lambda/4$ -ü keçməməlidir. Lakin kiçik bucaq altında sınıan şüalarda kələ-kötürlüyün ölçüsü yüzlərlə anqstremə çatır, onu hazırkı texnologiya ilə daha yaxşı cilalamaq mümkün deyil. Ona görə də belə sistemlərdə ayırdetmə 1"-dən kiçik olur. Bundan başqa, səthin mikromiqyasda nahamarlığı səthin əksətdirmə qabiliyyətini aşağı salır. Bundan başqa, keyfiyyəti azaldan səbəblərdən biri də güzgü səthinin verilən formalı səthdən kənarəçixmasıdır.

Bu sistemin ikinci ən mühüm çatışmayan cəhəti odur ki, çəp düşmə zamanı düşən şüa ilə səth arasında kiçik bucaq yarandığından bu teleskopların görüş sahəsi nazik həlqə foması alır.

Bundan başqa, bu sistemin nisbi dəyişi çox da böyük ola bilməz, çünki fokus məsafəsi diametrdən çox böyükdür. Bu da teleskopun ölçülərini böyüdür və kosmos şəraitində onu işlətməyi çətinləşdirir.

2.4. UB şüalanma qəbulediciləri

Hazırkı dövrdə 100 – 3000 Å oblastda müşahidələr daha keyfiyyətli cihazlarla təmin olunmuş optik diapazona yaxın olmasına baxmayaraq bu oblastda müxtəlif materialların xəssələrindən asılı olaraq qəbuledicilər çox müxtəlifdir.

1. *Fotoemulsiya*. Hazırda fotolövhələr informativliyinə görə bir çox üstünlüklərə malikdir. Bir fotolövhədə yüzlərlə Mbayt məlumat yerləşdirmək mümkündür. Lakin kosmik şəraitdə fotomaterialın alındıqdan sonra aşkarlanma prosesinin çətinliyi və onu yerə geri daşımaq zərurəti onu avtomatik stansiyalarda tətbiq etməyə imkan vermir. Bundan başqa uzun müddət radiasiyalı zolaqlarda işlədikdə kosmik zərrəciklər emulsiyanı xarab edə bilər. Daha bir çatışmayan vacib şərt fotolövhələrin kiçik kvant çıxışına malik olmasıdır.

Fotoemulsiyanı gücləndirici və ya elektron-optik çevirici ilə kombinasiyada işlətməklə UB oblastda kvant çıxışını 30-40%-ə çatdırmaq olar. Elektronografik kameranın bütün elementləri istifadə olunarsa, 500 Å-ə qədər oblastda fotoemulsiya istifadə oluna bilər.

2. Fotoelektrik gücləndiricilər (FEG). UB oblasta şəffaf materialların köməyi ilə FEG üçün giriş pəncərəsi düzəldilir. Belə qəbuledici 1050 Å-dən böyük dağa uzunluqlarında effektiv işlədilər. Əksər hallarda fotokatodları elə materialdan düzəldirlər ki, o Günəşin optik şüalanmasını «hiss etməsin». Belə FEG kosmos şəraitində böyük çətinlik yaradan səpilən günəş işığına həssas olmadığından digər qəbuledicilərdən üstündür.

3. Toplayıcı qəbuledicilər. UB oblastda işləyən böyük teleskoplar və spektroqraflar yarandıqdan sonra obyektin yüksək ayırdetmə ilə böyük ölçülü təsvirini almaq üçün müxtəlif televiziya qəbuledici qurğuları meydana gəlmişdir. Belə qəbuledicilərdə signal uzun müddət toplana bilər və düşən şüalanma enerjisi ilə alınan

siqnalın intensivliyi xətti asılıdır. Belə qəbuledicilərdə böyük ölçülü yüksək ayırdetməli təsvirlər və ya zəif obyektlərin spektri alınır.

«Uvikon» adlanan belə qəbuledicilərdən biri ultrabənövşəyi oblastda işləyən peyklərdən birində qurulmuşdu. Bu qəbuledicidə düşən UB fotonlar fotokatoddan elektronları qoparıb və sonra həmin elektronlar 4 kV potensialı olan sahədə sürətləndirilir və nazik yarımsəffaf lövhədə zərbə ilə bir neçə ikinci elektron yaradır. Çıxan ikinci elektronlar 10-30 V kiçik gərginlik altında uzaqlaşır, lakin onların yerində fotokatodda xəyalın xüsusiyyətlərini özündə daşıyan müsbət yüklər qalır. Məlumatın toplanması bir neçə saat çəkə bilər. Alınmış siqnal videkon üsulu ilə götürülür. Belə kameranın 40 mkm fəza ayırdetməsində gücləndirmə əmsalı 50 dəfəyə çatır.

4. Kanal Elektron Gücləndiricisi (KEG). Bu detektorlar uzaq və kənar UB şüalanmanı qeyd etmək üçün istifadə olunur. KEG uzunluğunun diametrə nisbəti 50-yə çatan yarımkəçirici materialdan ibarətdir. Materialın səthinə bir neçə kilovolt gərginlik verilir. Düşən foton kanalın daxilində elektron qoparıb, o da öz növbəsində ikinci elektron yaradır. Belə kütləvi artım 10^7 - 10^8 dəfə güclənmə yaradır. KEG böyük diapazonda (1 - 10^5 impuls/san) xəttidir və çox kiçik qaranlıq cərəyanına malikdir.

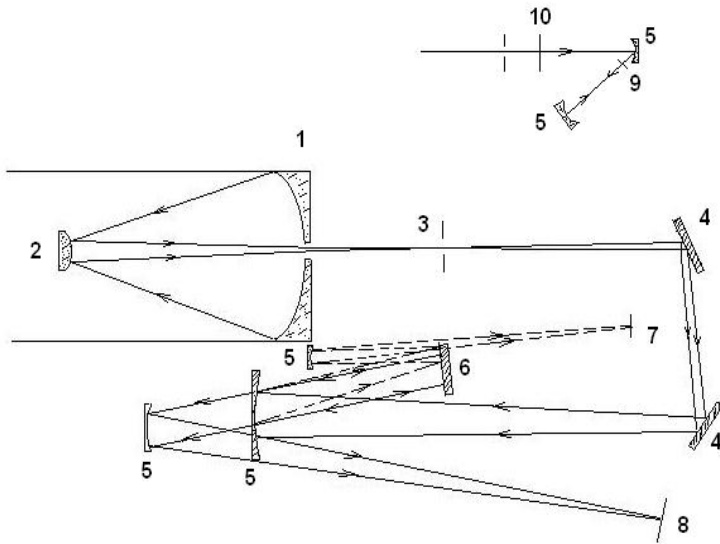
5. Foton sayğacları. Sayğacların iş prinsipi qaz atom və molekullarının fotonları udmaqla ionlaşmasına əsaslanır. Əgər yaranmış elektron-ion cütünün enerjisi 5-6 eV olarsa, onda ionlaşma uzaq və kənar UB fotonlar tərəfindən yaradılır. Heyger sayğacı qazla doldurulmuş nazik məftil yerləşdirilmiş qutudan ibarətdir. Məftil anod rlu oynayır və ona 1-2 kV gərginlik verilir. Ona görə qazda sərbəst elektron yaranan kimi qığılcımlı tac boşalması baş verir və anoddan gərginlik impulsu çıxarılır, bu da fotonun qeyd olunmasını göstərir.

100-3000 Å diapazonda ionlaşma kameraları, fotodiodlar, YƏclər də istifadə olunur.

2.5. UB oblastda Günəşin müşahidəsində istifadə olunan cihazlar

Hazırda Günəşin atmosferdənkənar müşahidələri zamanı diametri 30 sm çatan güzgülü teleskoplar istifadə olunur. UB oblastda Günəş diski boyunca bucaq ayırdetməsi 1", spektral ayırdetmə isə 0.01 Å-ə çatdırılmışdır. Kosmik aparatdan uzun müddət müşahidə aparılarkən müşahidə alətlərinin stabilliyi və dəqiqliyi, optik sistemin nizamlanması və şüalanma qəbul edən səthlərin deqradasiyası çox mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bundan başqa müşahidə prosesində daha uzundalğalı Günəş şüalanmasının cihaza düşməsinin qarşısı alınmalıdır ki, müxtəlif istilik effektləri yaranmasın.

Günəşi UB oblastda müşahidə etmək üçün istifadə olunan ilk cihazlardan biri Fransada düzəldilmiş yaxın UB oblastda yerləşən MgII λ 2795 və λ 2802 Å spektral xətlərində işləyən Balon Günəş teleskopudur. Balon yüksəkliyində işlədiyinə görə səpilmiş işığın qarşısını almaq üçün teleskopun kasseqren fokusunda üç difraksiya qəfəsi istifadə olunmuşdur (Şəkil 2.5.1).



Şəkil 2.5.1. MgII spektral xəttində işləyən Balon Günəş spektroqrafının sxemi. 1-baş güzgü, 2- ikinci güzgü, 3- spektroqrafın yarığı, 4- müstəvi güzgülər, 5- çökük qəfəslər, 6- müstəvi qəfəs, 7- fokal müstəvi, 8- fokal müstəvi, 9- müqayisə spektrinin fokal müstəvisi, 10- pilləli zəiflədici.

Şüalar iki müstəvi güzgüdən keçdikdən sonra birinci tərtibdə işləyən çökük qəfəs şüa dəstəsini ikinci müstəvi qəfəsə göndərir. İkinci qəfəs elə yönəlir ki, onun ştrixlərinin istiqaməti birinci qəfəsinə perpendikulyar olsun. Müstəvi qəfəs beşinci tərtibdə işlərkən onun ayırma qəfəsi $R=300\,000$ olurdu. Üçüncü çökük qəfəs şüaları kameraya fokuslayırdı və onun ştrixlərinin istiqaməti ikinci qəfəsinə paralel yönəlirdi. Praktiki olaraq spektral ayırma 25 mÅ təşkil edirdi.

Bu alətlə ilk dəfə 1963-1970-ci illərdə Günəşdə MgII xəttinin incə quruluşu qeyd olunmuş, bu xəttin intensivliyinin Günəş diski boyunca mərkəzdən kənara dəyişməsi öyrənilmişdir.

Raket günəş teleskoplarından «Aerobi» raketində ABŞ-da Dəniz tədqiqatları laboratoriyasında hazırlanmış $2000-4000\text{ Å}$ oblastında işləyən spektroqraf hazırlanmışdır. Spektroqrafda həm eninə, həm də uzununa ikiqat ayırma prizma və eşelle qəfəs vasitəsi ilə həyata keçirilirdi. Eşellenin ayırma qəfəsi 0.03 Å təşkil etmişdir.

Uzaq UB oblastda prizmadan istifadə etmək mümkün olmadığı üçün belə spektroqraflarda adətən difraksiya qəfəsindən istifadə olunur. Məsələn, $1200-2000\text{ Å}$ oblastında Günəş diskinin şüalanma spektrini tədqiq etmək üçün İngiltərədə Kalhem laboratoriyasında ikiqat əks olunma ilə eşelle və difraksiya qəfəsi vasitəsi ilə işləyən spektroqraf hazırlanmışdı. Eşelledə dispersiya 0.6 Å/mm , difraksiya qəfəsində isə 16 Å/mm təşkil edirdi.

«Skayleb» Avtomatik Orbital Stansiyasının heyətində UB oblastda işləyən bir neçə cihaz hazırlanmışdır. Bunlardan ABŞ Dəniz tədqiqatları laboratoriyasında hazırlanmış $970-3970\text{ Å}$ oblastında işləyən və Günəş səthində aktiv oblastları və xromosferi tədqiq etməyə imkan verən spektroqraf misal ola bilər. Uzaq UB oblastda Günəşin müşahidəsi üçün $\leq 1000\text{ Å}$ elə cihazlar işlədilir ki, burada şüalar səthə normal istiqamətdə düşsün. Səthin kiçik əksətdirmə qabiliyyəti Günəş şüalanmasının çox güclü olması hesabına kompensasiya olunurdu.

«Skayleb» vasitəsi ilə Günəş səthinin şüalanma xətlərində fotoqrafiyasını almaq üçün $170-630\text{ Å}$ oblastında işləyən yarıqsız spektroqrafdan istifadə olunmuşdur. Onun yeganə optik elementi səthinə qızıl təbəqə çəkilmiş çökük qəfəsdir. Fokal müstəvidə Günəşin şüalanma xətlərində bir-birini örtən müxtəlif təsvirləri alınır.

Təsvirin ölçüsü 1 Å/mm dispersiyada 18.5 mm təşkil edirdi. Alınmış spektqramlar müxtəlif şüalanma xətlərində diskin parlaqlığı haqqında böyük informasiya verirdi.

Bundan əlavə, «Skayleb» peykində Harvard kollecinin rəsədxanası tərəfindən hazırlanmış 300-1350 Å diapazonda işləyən spektroheliometr OIV, CIII, OVI, HI, CII, MgX xətlərində müşahidələr aparmışdır. Bu cihazda baş güzgünün döndərilməsi ilə seçilən oblastın istənilən hissəsi çəkilə bilərdi. Seçilmiş xətlərdə müşahidələr Günəşdə tac dəliklərini, ləkələri, yüksək temperaturlu aktiv oblastları tədqiq etməyə imkan vermişdir.

2.6. UB oblastda ulduzların müşahidəsi

Atmosferdənkənar UB oblast teleskoplarında əsasən 50-80 sm diametrlı optikadan istifadə olunduğu üçün güzgülərin diqqətlə hazırlanmasına baxmayaraq UB oblastda teleskopların difraksiya ayırma qabiliyyəti təxminən 10 dəfə aşağıdır.

Ulduzların fotometriyasından istifadə olunan 100 Å ayırma qabiliyyəti malik spektrometr və fokal müstəviyə yerləşdirilmiş FEG «Kosmos-215» peykində qurulmuşdu. İnterferensiya süzgəclərinin köməyi ilə 2275 Å və 2740 Å oblastlarında 0.2 %/san sürətlə onlarla ulduzun UB fotometriyası aparılmışdır.

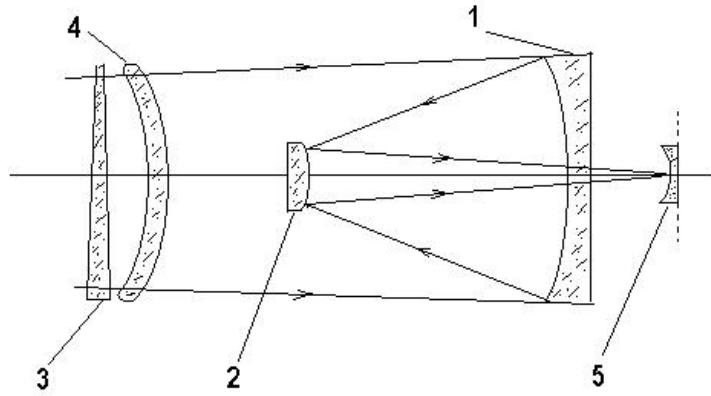
OAO-2A xüsusi peyk-rəsədxanası vasitəsilə $\lambda \geq 1000$ Å oblastda yüksəkhəssaslıqlı fotometrlərin köməyi ilə kütləvi şəkildə ulduzların fotometriyası aparılmışdır. Teleskopların fokusunda vidikon kameralar quraşdırılmış, qəbuledicinin həssaslığından asılı olaraq 1100-2100, 1300-2100, 1000-3200 və 2100-3200 Å oblastlarda

üçoxlu 30" dəqiqliklə yönəltmə qurğusunun köməyi ilə ölçmələr aparılmışdır. Bu teleskopda ulduzların kütləvi fotometriyası ilə yanaşı ayrı-ayrı ulduzların və digər diffuz obyektlərin fotometrik ölçmələrini aparmaq üçün 900-4200 Å oblastında işləyən fotometrə də istifadə olunmuşdur.

Avropa ölkələrinin birgə hazırladığı TD-1A peyki Belçika və İngiltərədə güzəldilmişdi. TD-1A peykində UB yerləşdirilmiş spektrometrin köməyi ilə 30000 –dən çox ulduzun fotometrik ölçmələri aparılmışdır. Bu cihazda optika ilə toplanmış işıq dəstəsi əvvəlcə difraksiya qəfəsinə, sonra isə üç FEG üzərinə düşürdü. Ölçmələr də uyğun olaraq 1550, 1950 və 2550 Å oblastlarında aparılırdı.

Hollandiyada hazırlanan Yer in süni peyki ANS çoxlu sayda ulduzların fotometriyasını yüksək dəqiqliklə aparmaq məqsədilə yaradılmışdı. Bu alət Riçi-Kreyen sistemli teleskopdan və 2.5x2.5' ölçülü baş güzgüdə açılmış yarıqdan ibarət spektrometrə təşkil olunmuşdur. Bu sistem göyün fonunu azaltmağa və zəif obyektləri yüksək dəqiqliklə ölçməyə imkan verirdi.

UB oblastda ulduzların spektroskopiyası ilə məşğul olmuş teleskoplardan 1971-ci ildə hazırlanmış «Orion-2» misal ola bilər. Mahiyyətə o Maksutov sisteminin kasseqren variantı olub 4° bucaq altında meyl etdirən obyektiv prizmadan ibarətdir. Sistemin optik sxemi 2.6.1-ci şəkildə verilmişdir.



Şəkil 2.6.1. «Orion-2» teleskopunun optik sxemi: 1-baş güzgü, 2 – ikinci güzgü, 3 – obyektiv prizma, 4 – menisk, 5 – görüş sahəsinin güzgüsü.

Seçilmiş optik sistem yüksək keyfiyyətli axromatik təsvir yarada bilirdi və böyük görüş sahəsində sferik aberrasiya və komadan azad idi. Bütün optik elementlər kvardan hazırlanmışdı. Dalğa uzunluğundan asılı olaraq dispersiya $\lambda = 2000 \text{ \AA}$ –də 170 \AA/mm , $\lambda = 3000 \text{ \AA}$ –də 550 \AA/mm təşkil edirdi və ümumi spektrin uzunluğu 5 mm-ə çatırdı.

Müşahidələr orbitin kölgə hissəsində aparılırdı. «Soyuz-13» raketində kosmonavtlar 1 dərəcə dəqiqliklə teleskopu istiqamətləndirdikdən sonra sistemin qəbulediciləri 2 standart ulduzu tuşlayır və istiqaməti dəqiqləşdirirdilər. Bundan sonra fotoqid teleskopu 3" dəqiqliklə sahədə saxlaya bilirdi. Beş iş günü ərzində teleskopda böyük miqdarda 13^m – ə qədər ulduzun spektri alındı. Spektral sinfi yaxşı məlum olan A0 spektral sinifli ulduzlara görə dərəcələmə aparılırdı.

UB oblastda yüksək temperaturlu ulduzların, qoşa sistemlərin, qaz dumanlıqlarının spektrini almaq üçün «Skayleb» teleskopundan istifadə olunmuşdur. «Skayleb»-də işıq qəbuledicisi obyektiv prizmalı teleskopun kasseqren fokusunda qurulmuşdu. 35 mm enində fotolentdə spektrlər çəkilirdi. Fokal müstəvi qarşısına ikilinzalı sahə düzəldicisi qoyulmuşdu. Düzəldici CaF_2 və LiF materialından düzəldilmişdi və minimal buraxma dalğa uzunluğu 1300 \AA idi. Obyektiv prizma $1400\text{-}2800 \text{ \AA}$ oblastında 65-dən 1280 \AA/mm -ə qədər dispersiya yaradırdı. Burada da əlavə işıqlanmadan qaçmaq üçün, çəkilişlər orbitin kölgə hissəsində aparılırdı.

Bunlardan başqa, UB oblastda O-G spektral sinifli ulduzların kütləvi şəkildə spektrinin 2 \AA ayırmaq üçün TD-1 peykində qurulmuş spektrometr, ulduzlararası mühiti, neytron ulduzlarını, ulduz xromosferlərini və s. tədqiq etmək üçün buraxılmış və orbitdə 8 il müddətində işləmiş «Koopernik» rəsədxanasında qurulmuş spektrometr, «Astron» sovet peykində quraşdırılmış «Spika» teleskopunda işləyən spektrometr və s. spektral müşahidələr aparılmışlar.

FƏSİL 3. İNFRAQIRMIZI OBLAST

3.1. İnfraqırmızı və submillimetrlik astronomiya

Kosmik obyektlərin şüalanmasının 0.8 mkm-dan (görünən oblastın yuxarı sərhəddi) 1 mm-ə qədər (radiooblastın şərti başlanğıc sərhəddi) dalğa uzunluğu oblastını öyrənən bölməsi İnfraqırmızı astronomiya adlanır. Bu hissəyə nisbətən soyuq - 3000° K-dən 3°K qədər temperaturu göy cisimlərinin enerjisi şüalanmasının maksimumu düşür. Belə şüalanma soyuq ulduzlarda, qaz-toz dumanlıqlarına bürünmüş yenicə yaranmaqda olan ulduzlarda, ulduzlararası qaz və tozda və Günəş sistemində olan planetlərdə müşahidə olunur. İQ oblastın uzundalğalı submm-lik diapazonunda isə Kainatın genişlənməsinin ilkin mərhələsində yaranmış relikt şüalanma mövcuddur. İQ oblastda digər oblastlarda olduğu kimi, relyativistik elektronların şüalandırdığı qeyri istilik təbiətli kosmik şüalanma müşahidə olunur.

İlk dəfə V.Hershel XIX əsrin əvvəlində Günəşin İQ spektrinin prizma və termometrlə ölçməsinə cəhd etmişdir. Bununla belə İQ astronomiya 20-ci əsrin 60-cı illərində c.Neyqebauer və R.Leytonun (1969-cu il, ABŞ) apardığı şimal göyünün 2.2 mkm dalğa uzunluğunda tədqiqatını apardığı dövrdən başlayır. Bu tədqiqatlar nəticəsində gözlənilmədən İQ diapazonda şüalanması görünən oblasta nisbətən daha böyük olan çoxlu obyekt aşkar olundu. Bunun ardınca 1960-cı ildən başlayaraq heliumla soyudulan qermanium bolometri vasitəsilə F.Lou (ABŞ, 1961) ilk dəfə 4 mkm dalğa uzunluğunda tədqiqatlar apardı.

3.2. İQ kosmik şüalanma mənbələri

Qalaktikada əsas İQ şüalanma mexanizmi istilik şüalanmasıdır. Onu şüalandıran əsas substansiya ulduzətrafi və ulduzlararası tozdur. Radiusu a olan tozcuğun şüalanma intensivliyi

$$I = B(T, \nu) \cdot 4\pi a^2 \cdot Q(a, \nu) \quad (3.2.1)$$

düsturu ilə verilir. Burada $B(T, \nu)$ - temperaturu T olan tozun Plank düsturu ilə verilən vahid səthinə düşən spektral enerji şüalanma sıxlığıdır, $4\pi a^2$ - tozun şüalanan səthinin sahəsi, $Q(a, \nu) \leq 1$ - zərrəciklərdə şüalanma difraksiyasını və optik xassələrini nəzərə alan effektivlik faktorudur. Tozun spektr boyu inteqrallanmasından alınan tam şüalanması (3.2.1) ifadəsindəki

$$Q = 2\pi a \lambda = 2\pi a \nu / c \quad (3.2.2)$$

faktoru hesabına mütləq qara cisimdəki kimi T^4 - lə deyil $\sim T^5$ - lə mütənasib olur. Əksər hallarda tozun qızmasına səbəb yaxın ulduzların UB və optik şüalanmasıdır. Qızma və soyumanın bərabərliyi şərtinə görə təyin olunan temperatur UB və ya optik diapazonda udulan və tozun özü tərəfindən şüalanan İQ enerjisi balansından asılıdır. Məsələn, tozun udma qabiliyyəti UB və optik diapazonda böyük, İQ oblastda kiçikdirsə, onda tozun temperaturu da artıq olacaqdır.

İsti ulduzlardan uzaqda tozun temperaturu ayrı-ayrı ulduzların şüalanmasından deyil, Qalaktika ulduzlarının ümumi şüalanması hesabına formalaşır. Hələ ulduzlar formalaşmamış soyuq qaz-toz

dumanlıqlarında qızma ümumi sahə ulduzlarının UB və optik şüalanmasının, daha sıx mərkəzi hissələrdə isə rentgen və toz hissəcikləri ilə qarşılıqlı təsirdə ola bilən kosmik şüalanma zərrəciklərinin enerjisi hesabına formalaşır. Belə buludların qızmasının bir səbəbi də yavaş sıxılma nəticəsində ayrılan qravitasiya enerjisidir. Tozun üst qatlarda soyuması yalnız submm oblastda şüalanmadan deyil, qaz molekulları ilə toqquşmalardan da baş verə bilər.

Tozun şüalanması ilə yanaşı qazın xətti şüalanma spektri də müşahidə olunur. Bu bir tərəfdən atomların enerji səviyyələrinin incə quruluşu ilə (məsələn, cI $\lambda = 157$ mkm, OI $\lambda = 63$ mkm, OIII $\lambda = 88$ mkm, NeII $\lambda = 12.8$ mkm, və s.), digər tərəfdən isə molekulların fırlanma rəqsi və təmiz fırlanma keçidləri (CO, NH₃, OH, SiO, H₂ və b.) ilə əlaqədardır.

3.3. İnfraqırmızı şüalanma qəbulediciləri

İQ oblastın spektrini əsasən yaxın İQ ($\lambda = 0.8-5$ mkm), orta və ya aralıq (5-35 mkm) və uzaq (1 mm –ə qədər) oblastlara bölürlər. Dalğa uzunluğu $0.1 \text{ mm} \leq \lambda \leq 1 \text{ mm}$ olan oblastı submillimetrlik (submm) oblast adlandırırlar. Atmosferdə olan «pəncərələrin» şəffaflığından asılı olaraq İQ fotometriyada sərhədlər 1.3.1 cədvəlində verilmiş qaydada zolaqlarla müəyyən olunur. cədvəldə $\lambda = 34$ mkm, 350 mkm və 460 mkm və daha uzundalğalı, tədricən radiodiapazona keçən oblastlar göstərilməmişdir.

Yerüstü İQ müşahidələr atmosferin şəffaf zolaqlarında adi optik və İQ teleskoplar vasitəsilə müşahidə olunur. Atmosferin udulmasını azaltmaq üçün yüksək dağlıq yerlərdə qurulmuş xüsusi teleskoplar ikinci ossilyasiya edən güzgü ilə təmin olunur və teleskop özü fon

yarada bilən çox kiçik İQ şüalanma qabiliyyətinə malikdir. Məsələn, Havay adalarında sönmüş vulkanın zirvəsində 4200 m hündürlükdə 4 ədəd iri İQ teleskop qurulmuşdur: diametri 375 sm olan Kanada-Fransa, D=360 sm olan İngiltərə, D=300 sm və 224 sm ABŞ –NASA və Havay universiteti teleskoplarıdır.

cədvəl 3.3.1. İQ fotometrik süzgəclər sistemi

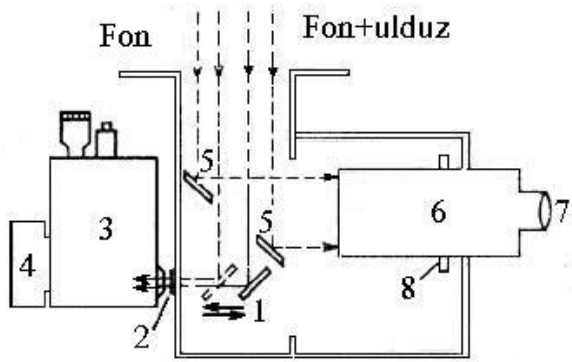
Fotometrik zolaq	Zolağın sərhəddi, mkm		Effektiv dalğa uzunluğu λ_0 , mkm
	λ_1	λ_2	
H	1.45	1.8	1.63
K	1.9	2.5	2.22
L	3.05	4.1	3.6
M	4.5	5.5	5.0
N	7.9	13.2	10.6
Q	17	28	21

İQ astronomiya müşahidələrində teleskopun və atmosferin fon şüalanması bəzən müşahidə obyektinin şüalanmasından güclü olur. Fon şüalanmasını nəzərə almaq üçün fəza modulyasiyası adlanan metoddan istifadə olunur. Bu zaman obyektin və qonşu hissənin şüalanmaları fərqi qeyd olunan siqnalın gücü ilə mütənasibdir. Tipik İQ fotometrin sxemi 3.3.1-ci şəkildə verilir.

Qəbuledicinin küyü, foton küyü və atmosfer titrəməsi fonunda faydalı siqnalı qeyd etmək üçün radiometrik metoddan istifadə olunur

(şəkil 3.3.2). Teleskopun topladığı siqnal modullaşdırıldıqdan sonra İQ qəbulediciyə ötürülür, detektə olunur və modulyasiya tezliyində dəyişən cərəyana çevrilir. Bundan sonra gücləndirilir və sinxron demodulyasiya olunaraq analoq qeydedicisinə ya rəqəmli sayğaca ötürülür və kompyuterdə işlənir.

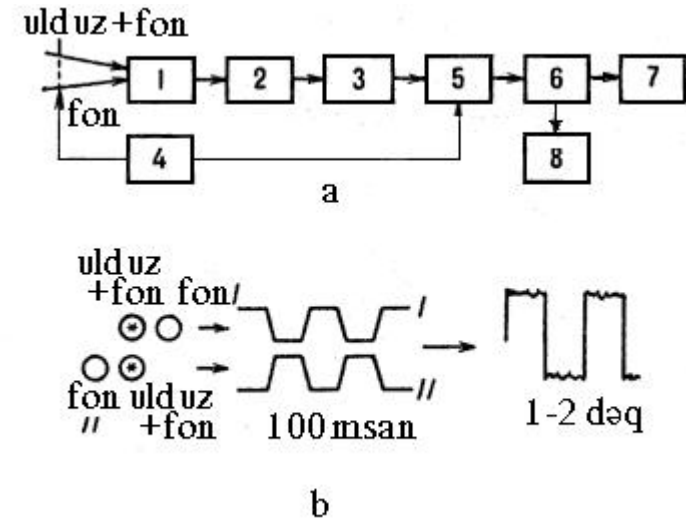
Tədqiq olunan obyektin şüalanmasını ölçmək üçün «mənəbə-I fon» və «II fon-mənəbə» fərqi qeyd etmək lazımdır (3.3.2-ci şəkildə uyğun olaraq I və II dəyişən gərginlik formasında).



Şəkil 3.3.1. İnfraqırmızı fotometrin quruluşu: 1-rəqs edən güzgü (modulyator); 2-süzgəc; 3-bolometrlə birlikdə kriostat; 4-siqnalın ilkin gücləndiricisi; 5- fotometri ulduza yönəltmək üçün güzgülər; 6- izləmə qurğusunda elektron-optik çevirici (EOÇ) ; 7-okulyar; 8-EOÇ-u şəkil müstəvisində hərəkət etdirən qurğu.

Birinci fərqi ikincidən çıxsaq mənəbənin ikiqat siqnalını alarıq. Enerşi paylanması məlum olan standart ulduzun eyni cihazda alınmış siqnalı ilə nisbətdə mənəbənin verdiyi şüalanmanın mütləq vahidlərlə

qiymətini almaq olar. Alınan siqnalın atmosferdə itkisini nəzərə almaq üçün başqa bir nisbətən parlaq obyekt müşahidə olunmalıdır.



Şəkil 3.3.2. İQ şüalanma qeydedicisinin prinsipial sxemi: a- qeydedicinin blok sxemi (1-teleskop, 2-kriostat və bolometr, süzgəclər, 3-dəyişən gərginlik gücləndiricisi, 4-siqnalı modullaşdırma sistemi, 5-sinxron detektor, 6-sabit cərəyan gücləndiricisi, 7-siqnalın vizual yoxlanması bloku, 8-rəqəmsal qeydedici). b-detektə olunmadan əvvəl və fotometrden çıxandan sonra siqnalın forması.

Teleskopun yüksəklik təyyarə və ya aerostatlarında yerləşdirilməsi praktiki olaraq atmosferdə olan bəzi udulma zolaqlarından başqa bütün İQ diapazonda atmosfer itkisindən azad olmağa imkan verir.

Bundan başqa İQ oblastda foton küyünü azaltmaq üçün güzgülərin kriogen soyudulması müşahidə dəqiqliyini artırmağa imkan verir. İlk belə bir peyk Hollandiya-ABŞ-İngiltərə tərəfindən 1983-cü ildə orbitə çıxarılmışdır (İRAS). Bu peyklə 8-120 mkm intervalında bütün göyün axtarılması aparılmış, 250 mindən çox yeni İQ mənbə aşkar olunmuşdur.

Qısdalğalı İQ oblastda 1.2 mkm – dan kiçik dalğa uzunluğunda qeydiyyat xüsusi fotogücləndirici və ya YƏc-lərlə həyata keçirilir. 5.5 mkm-a qədər intervalda maye azotla soyudulan İnSb qəbuledicisi tətbiq olunur. Daha uzundalğalı oblastlarda əsasən qermanium və onun birləşmələrindən ibarət 1.5 K qədər soyudulan istilik bolometrləri istifadə olunur. Adətən nəinki detektor özü, həm də süzgəclər, diafraqmalar, spektr də soyudulur.

İQ şüalanmanı adətən küyün ekvivalent gücü (KEG) ilə xarakterizə edirlər. Bu parametr düşən siqnalın elə gücüdür ki, onun təsiri ilə alınan siqnal küy səviyyəsində olsun. İdeal qəbuledici üçün küy düşən fotonların fluktuasiyası hesabına alınır. Ona görə

$$KES = A(2P_f \frac{hc}{\eta\lambda}) / (1 - e^{-hc/\lambda kT_f})^{1/2} \quad (3.3.1)$$

ifadəsi yazıla bilər. Burada T_f və P_f temperatur və qəbulediciyə düşən fon siqnalın orta gücü, A – qiyməti bolometr üçün 1, fotovoltanik qəbuledici üçün 2 olan əmsal, $\eta \leq 1$ qəbuledicinin kvant effektivliyidir.

İQ astronomiyada ayırdetmə əldə etmək üçün spektrofotometrik dəyişdirilə bilən süzgəclərdən və pəzəkəkilli interferometrik süzgəclərdən, habelə difraksiya spektrometrindən, Fabri-Pero interferometrindən də istifadə olunur. Xüsusilə Maykelson interferometrinin tətbiqi əsasında işləyən Furye-spektrometriya metodu geniş yayılmışdır və hazırda bu metodla $R=10^5$ -ə çatan

ayırdetmə almaq olur. Bundan başqa, lazerlərin tətbiqinə əsaslanan heterodin spektrometrləri daha yüksək ayırdetmə almağa imkan verir ($R=10^7$). Bununla yanaşı bu metodla 0.1" bucaq ayırdetməsi almaq üçün də istifadə olunur.

3.4. İQ astronomik müşahidələrin nəticələri

Spektrin infraqırmızı diapazonu optik və radiodiapazonlar arasında 0.7 mkm-dən 1 mm-ə qədər bir zolaqdan ibarətdir. Bu zolağın uzundalğalı hissəsinin müşahidə texnikası (10-100 mkm-dan 1 mm-ə qədəri) radio diapazonun texnikasına yaxın olduğu üçün onu submillimetrlik (submm) zolaq da adlandırırlar.

Fizikadan məlumdur ki, mütləq qara cismin T mütləq temperaturunda istilik şüalanma enerjisinin maksimumu λ_m Vin sürüşməsi qanunu ilə təyin edilir:

$$\lambda_m = 2.9 \text{ mm} / T \quad (3.4.1)$$

Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, İQ oblastda şüalanma aşağı temperaturu cisimlər tərəfindən şüalandırılır. Effektiv temperaturları 4000-30000 °K olan ulduz və qalaktikaların spektral şüalanması UB və optik oblastda maksimuma malikdirlər. Bundan daha aşağı temperaturu cisimlərin şüalanması İQ və submm oblastlarda maksimuma malikdir. Belə şüalanmanın mənbələri mikroskopik bərk hissəciklər-ulduzlararası tozlar, protoulduz və protoplanet qaz-toz diskleridir. Lakin bununla yanaşı, İQ şüalanma sürətli elektronların maqnit sahəsində hərəkəti zamanı qeyri istilik mexanizmi ilə də yarana bilər.

Kainatda olan soyuq maddə Yerdən və onun ətrafından müşahidə üçün çox əlverişsizdir. Buna səbəb Yer atmosferinin İQ oblastda çox güclü şüalanması, teleskop güzgüsünün, borusunun və digər hissələrinin şüalanmasıdır. Atmosferin istilik şüalanmasından yaxa qurtarmaq üçün İQ teleskoplar, əsasən, çox quru iqlimi olan 3000 m-dən yüksək dağlıq ərazilərdə qurulur. Məhz bu hündürlükdə atmosferdə İQ astronomiyanın əsas «düşməni» olan su buxarının miqdarı minimaldır. Su buxarı İQ və submm şüalanmanı çox güclü şəkildə udur. Bundan daha əlverişlisi, İQ teleskopun təyyərənin gövdəsində 10-15 km yüksəkliyə qaldırılmasıdır. Bu məqsədlə, bəzən İQ teleskopu 25-35 km yüksəkliyə qaldıra bilən aerostatlardan da istifadə olunur.

İQ diapazonda müşahidələrin aparılması xüsusilə planetləri, onların peyklərini, asteroid və kometləri öyrənmək üçün çox böyük bir alət oldu. İQ oblastda planetlərin səthinin və atmosferinin məxsusi istilik şüalanma enerjisini öyrənmək olar. Planetlərin İQ şüalanma spektrini tədqiq etməklə atmosferin istilik paylanmasını və kimyəvi tərkibini öyrənmək olar. Bir sıra nəticələr arasında Saturn və Yupiterin məxsusi enerşi şüalandırmasının onun səthinə düşən Günəş enerjisi ilə müqayisə olunacaq səviyyədə olması, Uran və Yupiter üçün 2.2 mkm dalğa uzunluğu zolağında disklərin aşkar olunması, nəhəng planetlərin peyklərinin səthində buzşəkilli su və Plutonda buzşəkilli metan molekulları aşkar olunması, nəhəng planet atmosferlərinin strukturunun öyrənilməsi, kometlərin İQ spektrinin fluktuasiyası və bunun komet quyruğunun dinamikası ilə bağlı olması misal ola bilər.

Ulduzların İQ şüalanmasını öyrənərkən bir çox nəticələr aşkar olunmuşdur. Soyuq ulduzların yaxın İQ oblastda spektrinin öyrənilməsi ulduzun atmosferinin kimyəvi tərkibi haqqında, xüsusilə

də qırmızı nəhənglərin izotop tərkibi haqqında geniş bilik əldə etməyə imkan vermişdir. Ulduzların İQ diapazonda enerşi paylanmasının öyrənilməsi göstərdi ki, əksər ulduzların enerşi paylanmasında iki şüalanma spektri özünü göstərir – qısalıqalı oblastda ulduzun fotosfer şüalanması və uzundalqalı oblastda ulduzətrafi maddənin şüalandırıldığı spektr. Hər iki komponentin bir-birinə nisbəti çox geniş diapazonda dəyişə bilər: ilkin spektral sinfə məxsus olan cavan ulduzlarda əlavə İQ şüalanma enerjisi ulduzun tam şüalanmasının bir faizdən də az hissəsini təşkil edir, lakin qaz-toz örtüyü güclü olan ulduzlarda fotosfer şüalanması praktiki olaraq tamamilə udula və ulduzətrafi örtük vasitəsi ilə şüalandırıla bilər. cavan isti ulduzların, planetar dumanlıqların, HII oblastların yeni və simbiotik ulduzların, T Buğa tipli cavan ulduzların və aktiv nüvəli qalaktikaların ətrafında müşahidə olunan İQ enerşi şüalanması belə yaranır. Bu obyektlərin ətrafında 3.1 mkm, 9.7 mkm və 20 mkm zolaqlarında H₂O və NH₃ molekulları ilə zəngin silikat və karbon birləşmələr aşkar olunmuşdur.

İQ müşahidələr göstərmişdir ki, ulduzlar alışıma zamanı həm də silikat tərkibli çoxlu miqdarda toz əmələ gətirir. İQ müşahidələr Qalaktikanın ulduzlararası mühitlə örtülmüş optik diapazonda müşahidə olunmayan hissələrinin müşahidə olunmasına imkan verir. Dalğa uzunluğu artdıqca ulduzlararası mühitin yaratdığı udulma təxminən $1/\lambda$ qanunu ilə azalır. Məsələn, Qalaktikanın optik diapazonda udulması təxminən 30^m təşkil edir ki, bu da işığın 10¹² dəfə azalması deməkdir. Lakin 2.2 mkm dalğa uzunluğunda bu azalma cəmi bir neçə dəfə olur. Bu da Qalaktika nüvəsinin strukturunu öyrənməyə imkan verir. Nəticədə məlum olmuşdur ki, Qalaktikanın nüvəsində kütləsi $\sim 10^7 M_{\odot}$ çatan çox sıx ulduz topası

yerləşir. Eyni bir nüvə M31 qalaktikasında (Andromeda dumanlığında) optik diapazonda aşkar olunmuşdur.

Kosmoqonik əhəmiyyət kəsb edən ən mühüm İQ müşahidələrin nəticələrindən biri də odur ki, böyük diffuz qaz-toz komplekslərində kompakt parlaq İQ şüalanma mənbələri aşkar olunmuşdur. Belə obyektlərin HII oblastlarından əsas fərqli cəhəti odur ki, onlarda istilik şüalanması təbiətli radioşüalanma aşkar olunmamışdır. Bu cür obyektlər protoulduzlar adlandırılmışdır və təkamül cəhətdən hesab edilir ki, onlar hələ formalaşmaqda olan və HR diaqramının yuxarısında yerləşən ulduzlardır.

Qalaktika diskinin ulduzlararası mühitinin özü də uzundalğalı oblastda güclü İQ şüalanma mənbəyidir. Bu mühitin şüalanması 15 K temperaturda maksimumu 100-500 mkm dalğa uzunluğuna düşən kəsilməz spektr verən fotonlar şüalandırır.

Qalaktikadan kənar İQ mənbələrin tədqiqi zamanı aşkar olundu ki, kvazarların və bir çox aktiv nüvəli qalaktikaların şüalandırdığı enerjinin əksər hissəsi kəskin maksimumlar şəklində İQ diapazonda özünü göstərir. Məsələn, NGC 1068 Seyfert qalaktikası şüalandırdığı tam enerjinin 98 %-ni 2-1000 mkm diapazonda şüalandırır. Belə qalaktikaların əksəriyyətinin enerji paylanması maksimumu $\lambda \approx 100$ mkm dalğa uzunluğunda düşür. Belə şüalanma qeyri-istilik təbiətə malik şüalanma mənbəyini əhatə edən qaz-toz maddəsində yaranır. Bəzi mənbələrin (kvazar və lasertidlərin) spektrində toz şüalanmasına xarakterik olan spektral əlamətlər aşkar olunmuş, ola bilsin ki, bu şüalanma qeyri-istilik təbiətinə malikdir. Bununla belə, qeyri-istilik təbiətli elə mənbələr var ki (submm-lik kvazarlar), onların əksəriyyətinin şüalanması submm-lik diapazona və uzundalğalı İQ diapazona düşür.

Diametri 3-8 m çatan yerüstü İQ teleskopların qurulması üçün ən əlverişli yer hazırda Havay adalarındakı Mauna-Kea rəsədxanası və Çilidə Atakama səhrasında qurulan La-Silla və Serro-Paranal rəsədxanalarıdır. Orada dünyada ən böyük və ən bahalı çox güzgülü ALMA teleskop interferometri qurulmuşdur ki, onun köməyi ilə yüzdə bir bucaq saniyəsi dəqiqliyi ilə ayırd etmə almaq olur.

Perspektivli yerlərdən biri də atmosferdə çox az su buxarı olan Antarktidadır. Burada su buxarı tamamilə donur, müşahidə üçün buludsuz günlərin sayı çoxdur və polyar gecələrdə uzun müddət ardıcıl müşahidə aparmaq olar. Yaxşı olar ki, belə şəraitdə teleskoplar kosmik raketdəki kimi tam avtomatlaşmış rəsədxanada işləsin. Belə rəsədxana ilə əlaqə Yerə polyar süni peykləriylə həyata keçirilə bilər.

İQ və submm diapazon detektorları əsasən son zamanlarda işlənib hazırlanmışdır. Bunlar maye helium vasitəsilə kriogen temperaturlara qədər soyudulan yarımkeçirici bolometrlərdir. İfratkeçirici bolometrləri adətən İQ oblasta şəffaf pəncərəsi olan helium kreostatı içərisinə yerləşdirirlər. Mümkünsə, həm də teleskopun güzgü və borusunu da soyudurlar, əlbəttə maye helium temperaturuna qədər (təqribən 4°K) deyil, 10-20°K temperaturuna qədər.

İQ teleskoplarda bütün problemlərin radikal həlli Yerə xüsusi peyklərində belə teleskopların orbitə çıxarılması ilə başa çatdı. Bu zaman bütün güzgüləri (Kasseqren sistemində baş və ikinci güzgüləri) və konstruksiyanın bütün elementlərini soyutmaq mümkün oldu, detektorun özü isə maye helium kriostatında yerləşdirildi. Belə kreostatda maye helium tədricən buxalanır, lakin onun ehtiyatı orbitdə işləməyə bir il bəs edir. Nəzərə alsaq ki, belə teleskop kosmosda arasıkəsilmədən işləyir, bu müddət də az deyil. Hələlik bir neçə belə teleskop kosmosa qaldırılmışdır. Bunlara, İRAS (İngiltərə,

Hollandiya və ABŞ, 1983), COBE (ABŞ, 1989) və ISO (Avropa kosmik agentliyi, 1995) misal ola bilər. Qeyd etmək lazımdır ki, belə cihazlar üçün Günəşin, Yer və Ayın şüalanması çox təhlükəlidir. Hətta Yer qaranlıq tərəfində belə temperatur 300°K-dir. Ona görə, belə peyklərin böyük apogey məsafəsinə çıxarılması lazımdır ki, Yer təsiri minimal olsun.

IRAS (InfraRed Astronomical Satellite) orbitdə 10 ay işlədi və bu müddətdə kriostatda həcmi 500 litr olan 70 kq-lıq maye helium tam buxarlandı. Berilliumdan olan 57 sm diametrlə baş güzgü 8-10°K qədər, detektorlar isə 3°K qədər soyudulurdu. Teleskopun Kasseqren fokusunda spektrometr və dördkanallı enlizolaqlı (12, 25, 60 və 100 mkm) süzgəclərlə təmin olunmuş fotometr qoyulmuşdu. Alınan spektrlər 8-23 mkm oblastı əhatə edirdi. Onu daşıyan peyk Yerdən 900 km yüksəklikdə, təxminən polyar orbit üzrə 1°/sutka sürəti ilə presessiya edirdi.

Bu möhtəşəm peykin işi sayəsində 250000 - dən çox İQ şüalanma mənbəyi - əsasən soyuq ulduzlar aşkar olundu.

FƏSİL 4. RENTGEN ASTRONOMİYASI

4.1. Rentgen astronomiyasına giriş

Rentgen şüalanması 1885-ci ildə alman alimi Vilhelm Konrad Rentgen tərəfindən naməlum şüalanma kimi kəşf olunmuş, X-şüalanma (X-Ray) və sonra rentgen şüalanması adlandırılmışdır. 1962-ci ildə ilk dəfə Sco X-1 kosmik mənbənin rentgen şüalanması ölçülmüşdür. Bundan əvvəl yalnız Günəşin 1948-ci ildə rentgen şüalanması ölçülmüşdü. Bu 40 ildən artıq keçən dövr ərzində rentgen astronomiyası çox möhtəşəm nailiyyətlər qazanmışdır.

Elektromaqnit dalğalarının rentqen oblastına aid olan hissəsi 0.1-300 KeV – lik diapazonu əhatə edir. Bu dalğa uzunluqlu kvantların, demək olar ki, hər biri müasir qəbuledicilərlə qeyd oluna bildiyindən, çox vaxt kiloelektronvoltlarla ölçülən kvant enerjisindən danışılır ($1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ c}$). Beləliklə, rentgen oblast 0.1 – 300 keV enerjisi diapazonunu əhatə edir; bunun 0.1-5 keV enerjisi diapazonu yumşaq rentgen oblast, 5-50 KeV diapazonu – «klassik», 50-300 keV diapazonu isə sərt rentgen oblast adlanır. 300 KeV-dən daha yüksək enerjili kvantları qamma-kvant adlandırırlar. Belə bölgüyə səbəb əsasən müxtəlif prinsip və ölçmə üsullarının və cihazların olması ilə bağlıdır. Ümumiyyətlə, müxtəlif diapazonlar üçün fotonların yaranma mexanizmi də müxtəlifdir. Rentqen enerjisinin seli bir kvadrat santimetr səthə bir saniyədə vahid enerjisi intervalında düşən enerjidir və $\text{sm}^{-2}\text{san}^{-1}\text{keV}^{-1}$ ilə ölçülür. Məlumdur ki, optik diapazonda enerjisi seli bir saniyədə hər kvadrat santimetrə vahid tezlik intervalında düşən enerjidir və $\text{erq}\cdot\text{sm}^{-2}\text{san}^{-1}\text{hs}^{-1}$ vahidi ilə ölçülür. Onda rentqen oblastında F_x seli optik diapazodakı sellə belə bir münasibətdə olacaqdır:

$$F_x = \frac{AF_v}{h^2\nu} \quad (4.1.1)$$

Burada $A = 1.602 \cdot 10^{-9} \text{ erq/keV}$ - dir. Bu əmsalı rentgen spektrini hesablayarkən nəzərə almaq lazımdır.

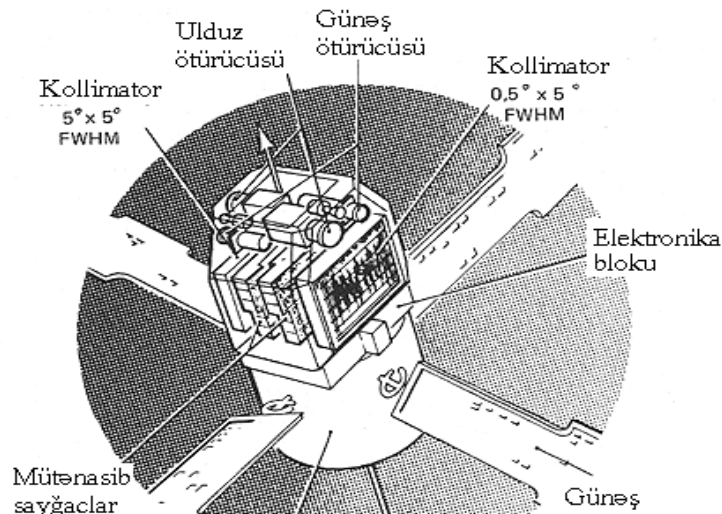
Rentgen astronomiyasının başlanğıcı 1970-ci ilin dekabrında Kenin kosmodromundan «Uxuru» peykinin buraxılması ilə başlanır (şəkil 4.1.1). Bundan əvvəl yalnız Günəşin və Əqrəb bürcündə bir mənbənin rentgen şüalanması kəşf olunmuşdu.

«Uxuru» peyki çox böyük həcmdə iş görmüşdür. Onun köməyilə ilk dəfə göyün rentgen oblastda xəritəsi tərtib olundu.

Bunun ardınca rentgen müşahidələr bir-birinin ardınca buraxılmış "Kopernik", "Ariel-5", ANS, SAS-3, OSO-7, OSO-8, COS-B, HEAO-1, HEAO-2 ("Eynşteyn"), "Xakuese", "Qinqa", "ROSAT", ASCA və s. peyklərində davam etdirilmişdir. Sovetlər birliyində bu məqsədlə «Proqnoz», «Salyut», «Qranat» kimi peyklər buraxılmışdır.

Bu tədqiqatların aparılması nəticəsində bir çox məlum obyektlərin, o cümlədən, Günəş və ulduzların, ifratnəhəng qalıqlarının, qalaktika və kvazarların, habelə Qoşa rentgen ulduzların, barsterlərin, tranzientlərin, isti qalaktikalararası qazın şüalanması aşkar olundu və ölçüldü.

Rentgen mənbələrinin adları tarixən iki şəkildə verilmişdir. Əvvəlcə mənbə yerləşdiyi bürcün adı ilə kəşf olunma sırası ilə verilirdi. Lakin məlum obyektlərin sayı artdıqca, bu cür işarələmə çətinlik törətdiyindən, mənbə onu kəşf edən peykin adı ilə və ekvatorial koordinatları verilməklə adlanır. Məsələn, 4U0115+63 işarəsi 4-cü «Uxuru» kataloqunda koordinatları $\alpha=1^{\text{h}}15^{\text{m}}$, $\delta=+63^{\circ}$ olan mənbəni göstərir.



Şəkil 4.1.1. «Uxuru» peykinin sxematik quruluşu.

4.2. Rentgen şüalanması detektorları

Rentgen oblastda iki tip detektor (aşkarlayıcı) istifadə olunur. Bunlar mütənasib qazboşalma sayğacı və ssintilyasiyalı sayğacdır. Mütənasib qazboşalma sayğacı qazlarda fotoeffekt hadisəsinə əsaslanır. O içərisi ağır təsirsiz qazlar olan Ar və Xe ilə və metan qazı ilə 1-3 atmosfer təzyiqinə qədər doldurulmuş yastı müstəvi şəkilli qutudan ibarətdir. Tərkibdə olan təxminən 10%-li metan boşalmanı dayandırmaq üçündür. Qutunun divarları katod, ortadan keçən məftil isə anod kimi istifadə olunur. Anod və katod arasında 20000 V gərginlik verilir. Rentqen kvantı tərəfindən qoparılmış elektron elektrik impulsu yaradır, alınan cərəyan şiddəti rentgen fotonunun enerjisi ilə mütənasibdir. Tarazlıq reşimində sayğacın gücləndirmə əmsalı 10^3-10^4 tərtibindədir. Sayğacın pəncərəsi qalınlığı 10-100 mkm olan metal və ya üzvi plastik lövhədən hazırlanır. Tarazlıq sayğacının ayırdetməsi $E/\Delta E$ 1-20 keV diapazonda E -nin kvadrat kökü ilə mütənasibdir:

$$E/\Delta E \sim \frac{1}{\sqrt{E}} \quad (4.2.1)$$

Məsələn, $E = 5.5$ keV olarsa, $E/\Delta E = 5$. Saygacın kvant effektivliyi 90%-ə çatır. Saygacın bir bölmədə sahəsi 300 sm^2 -dir. Bir neçə saygacı birləşdirməklə ümumi sahəni 10^4 sm^2 -ə çatdırmaq olar.

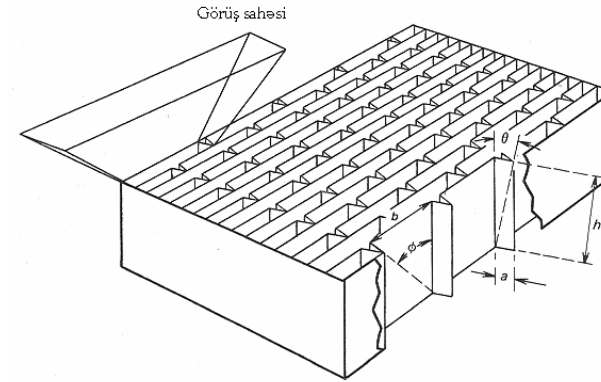
Fotonun enerjisi 20 keV-dən böyük olarsa rentgen fotonlarının atomlarla qarşılıqlı təsirinin effektiv kəsiyi kiçildiyinə görə qazboşalma sayğaclarının sayma qabiliyyəti azalır. Ona görə onların əvəzinə tərkibinə Tl və ya ssintiyasiya yaranan üzvi plastmas qatılmış Nac və ya cac kristallarından istifadə olunur. Yumşaq rentgen oblastında detektor kimi mikrokanallı lövhələr və YƏc-lər istifadə olunur.

4.3. Kollimatorlar

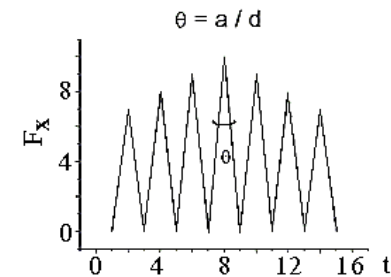
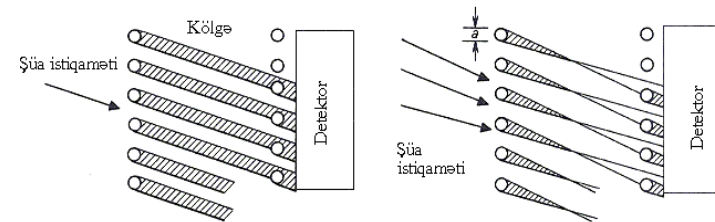
Kosmosdan gələn rentgen fotonlarını qeyd etmək üçün detektor yalnız bir istiqamətdən açıqdır, qalan istiqamətlər qoruyucu ekranla örtülür. Ayırdetmə qabiliyyətini artırmaq üçün detektorlar görüş istiqamətini daraltmaq məqsədilə kollimatorla təmin olunurlar. Kollimatorlar lövhəli və modulyasiyalı olur. Lövhəli kollimator boru və ya qutudan ibarət olub iki tərəfdən açıqdır və arı şanı şəklində düzəldilir. Bununla da görüş istiqaməti məhdudlaşdırılır (şəkil 4.3.1). Belə detektorun ayırdetməsi 0.5° -dir.

Modulyasiya kollimatoru diametri $a \sim 0.1$ mm və aralarındakı məsafə də elə həmin qədər olan olan iki sıra məftildən ibarətdir. Məftillərin cərgələri arasında məsafə d bu ölçülərdən xeyli böyükdür

(şəkil 4.3.2.). Şüalanan mənbənin kollimatora nəzərən istiqamətindən asılı olaraq üst cərgənin məftilləri, ya ikinci cərgəni



Şəkil 4.3.1. Lövhəli kollimatorun kəsiyi və iş prinsipi.



Şəkil 4.3.2. Modulyasiyalı ikiqəfəsli kollimator (a) və onun verdiyi siqnalın forması (b).

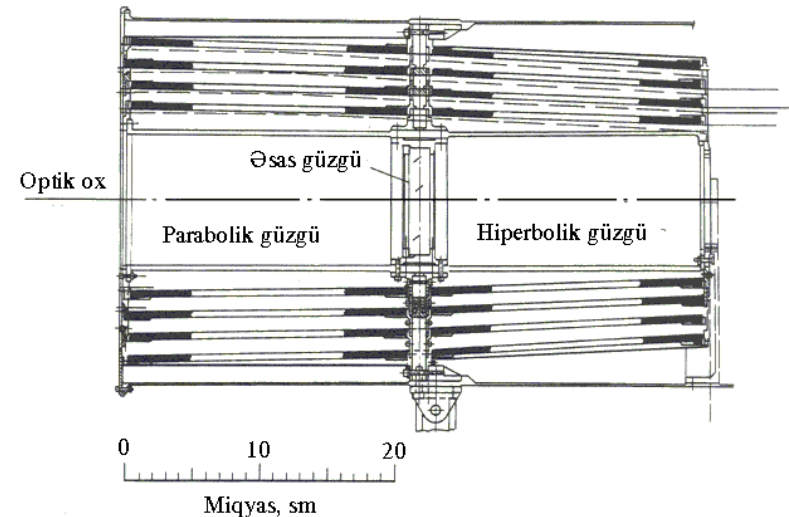
qapayır, ya da onları açaraq üçbucaq şəkilli siqnallar yaradır. Siqnalın yazılmış formasını araşdırmaqla mənbənin bir koordinatını təxminən $\theta = a/d \sim 10'$ dəqiqliklə təyin etmək olar. Digər koordinatı təyin etmək üçün, ya səmanı kollimatorun başqa vəziyyətində nəzərdən keçirmək, ya da peyki öz oxu ətrafında fırlanmağa məcbur etməkdir. Sonuncu halda kollimator, modulyasiyalı rotator adlandırılır. Hər bir halda kollimatorun tətbiqi səmanın müəyyən oblastında müəyyən formalı xətlər intervalı verir, mənbə onun daxilində yerləşir.

4.4. Rentgen teleskop və spektroqrafları

Yuxarıda qeyd olunan qurğular qəbul edilən enerşini gücləndirə bilmir. Ona görə də rentgen oblastı üçün xüsusi optikadan istifadə olunur. Müasir materiallar yalnız çox böyük düşmə bucağı altında (90° -yə yaxın) olan rentgen şüalarını əks etdirə bilər. Həm də kvantın enerşisi nə qədər çox olarsa, qayıtma bucağı da bir o qədər böyük olur. Ona görə də rentgen optikası bəzən çəp düşmə optikası adlanır. Rentgen teleskop, bir ox üzərində yerləşən çox böyük düşmə bucağına malik paraboloid və ya hiperboloid formalı iki güzgüdən ibarətdir. 4.4.1-ci şəkildən görüldüyü kimi, böyük düşmə bucağı

lazım olduğundan, güzgünün effektiv kəsiyi çox kiçik olub, həm də düşən kvantın enerşi diapazonundan asılıdır. Yumşaq rentgen diapazonu üçün belə teleskop ilk dəfə «Eynşteyn» peykində istifadə olunmuşdur.

Müasir teleskoplarda effektiv sahəni artırmaq üçün güzgü bir-birinin içərisinə geydirilmiş xüsusi ərintilərdən düzəldilmiş folqalardan ibarətdir. Məsələn, «Spektr-Rentgen-Qamma» peykində qurulan cET-X teleskopu $\sim 3000 \text{ sm}^2$ toplama sahəsinə malikdir və xəyalı 10 keV spektral oblastına qədər bir zolaqda qura bilər. Alınmış siqnalı qeyd etmək üçün, fokal müstəviyə qazboşalma sayğacından ibarət tor qoyulur. «Eynşteyn» peykində maksimal ayırdetmə $\sim 12''$, güzgülərin effektiv sahəsi isə enerşisi 0.25 keV olan fotonlar üçün 400 sm^2 , 4 keV olan fotonlar üçün isə 30 sm^2 olmuşdur. Müasir teleskopların ayırdetməsi isə saniyənin hissələri tərtibindədir. Rentgen



Şəkil 4.4.1. «Eynşteyn» peykində qurulmuş rentgen teleskopun sxemi.

oblastın spektral xarakteristikalarının öyrənilməsində bir neçə metoddan istifadə olunur. Yumşaq rentgen oblastında müxtəlif qaz tərkibli qazboşalma sayğacı istifadə olunur. Belə sayğaclar müəyyən enerşi diapazonu üçün hazırlanır. Məsələn, «Eynşteyn» 0.1- 4.5 keV intervalında 32 kanala malik olmuşdur. Daha sərt rentgen oblast üçün Breqq kristallarından hazırlanmış çəp düşmə difraksiya qəfəsindən istifadə oluna bilər. Breqq kristalı rentgen şüalarını çox kiçik spektral intervalda əks etdirir. Atom qatlarında kristalda yalnız elə fotonlar əks olunur ki, onların dalğa uzunluğu atom qatları arasındakı məsafənin iki və daha çox mislinə və fotonun düşmə bucağının kosinusuna hasilinə bərabər olsun:

$$2d \sin \theta = m \lambda \quad (4.4.1)$$

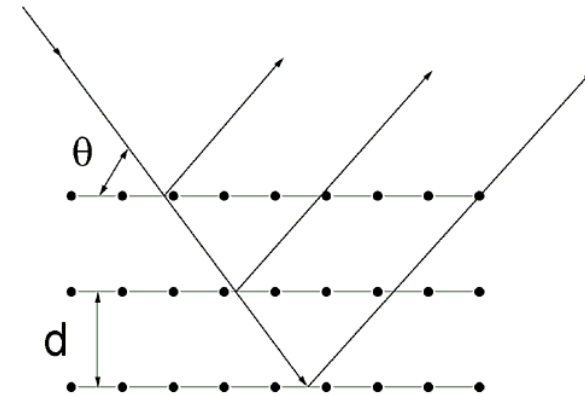
Müxtəlif bucaqlar altında müxtəlif enerşili fotonlar əks olunur. Ona görə Breqq kristalını çevirməklə detektora müxtəlif enerşili kvantlar yönəltmək olar. 4.4.2-ci şəkildə şüaların yolu göstərilmişdir.

4.5. Rentgen şüalanma yaranmasının mexanizmləri

Bu bölmədə rentgen kvantlarının yaranmasına səbəb olan elementar proseslərə baxaq. Bu prosesləri iki qrupa bölmək olar -

istilik və qeyri-istilik təbiətli proseslər. İstilik təbiətli kvantlar halında yüksək temperatura qədər qızmış plazmada elektronların istilik hərəkətinin enerşisi kvantın enerşisinə çevrilir. Vin sürüşmə qanununa görə $T\lambda(\text{Å}) \sim 0.29 \cdot 10^8$ və belə şüalanmanı spektrin rentgen oblastında $T \sim 10^6-10^7$ °K temperatura qədər qızmış plazma verə bilər. Belə temperaturda praktiki olaraq dəmir qrupu elementlərindən başqa bütün kimyəvi elementlərin atomları tam ionlaşmış olur.

Qeyri-istilik təbiətli rentgen şüalanması o zaman yaranır ki, yüklü zərrəciklər plazmanın istilik enerşisi hesabına deyil, hər hansı başqa mexanizmin təsiri ilə relyativistik sürətə qədər sürətlənsin. Məsələn, Günəş alışmalarında maqnit qüvvə xətləri qapalı olduqda belə hal baş verə bilər. Bu zaman elektronların enerşiyə görə paylanması Maksvell paylanmasına deyil, qüvvət üstü paylanmaya uyğun gəlir. Aşağıdakı mexanizmlər göstərilə bilər:



Şəkil 4.4.2. Breqq kristalında rentgen şüasının qayıtmasının təsviri.

1) Elektronun ion sahəsində sərbəst-sərbəst keçidi zamanı yaranan şüalanma və ya tormoz şüalanması şüalanma əmsalı belə təyin olunur:

$$J_v = 5.44 \cdot 10^{-39} \frac{g_{ff} Z^2 n_e n_i}{T^{1/2}} e^{-\frac{h\nu}{kT}} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{strd} \cdot \text{hs}} \quad (4.5.1)$$

Burada g_{ff} – şüalanma əmsalının klassik ifadəsinə kvantomexaniki düzəliş olan Qaunt faktorudur, onun qiyməti 1-ə yaxın olub temperatur və tezlikdən asılı deyil; Z_i və n_i –ionların yükü və konsentrasiyası, n_e – elektronların konsentrasiyasıdır.

2) Sərbəst-bağlı keçidlər və ağır elementlərin xətti şüalanması. Bu prosədə ən vacibi aşağıdakı hallardır:

a) Neytral dəmirə məxsus K_α xətti 6.4 keV keçid enerjisi tələb edir və elektronun L və K örtükləri arasında keçid zamanı yaranır. Əvvəlcə elektron örtükdən rentgen-kvantın təsirlə çıxarılmalıdır. Deməli, bu xətt flüoressent təbiətlidir, özü də ya rentgen şüalanmasının optik nazik neytral maddədən keçməsi zamanı, ya da rentgen şüalanmasının optik qalın mühitdən əks olunması nəticəsində yaranır.

b) Hidrogenəbənzər FeXXVI ionuna məxsus 6.97 keV enerjisi tələb edən rentgen xətti Lu_α və heliuma bənzər FeXXV ionuna məxsus 6.7 keV enerjisi tələb edən xətlər. Hər ikisi qızmar plazma tərəfindən şüalandırılır.

3) Maqnit-tormozlanma siklotron və sinxrotron mexanizmlə şüalanmalar. Məlumdur ki, yüklü zərrəciklər (məsələn, elektronlar) maqnit sahəsində spiral boyunca hərəkət edir və bu zaman enerjisi şüalandırır. Əgər elektronların orta kinetik enerjisi elektronun sükunət enerjisindən kiçikdirsə $kT_e \leq m_e c^2$, onda şüalanma siklotron olub

$$\nu_H = \frac{eH}{2\pi m_e} \approx 3 \cdot 10^6 H \quad (4.5.2)$$

tezliyi və ya onun harmonikalarında baş verir. Maqnit sahəsi intensivliyinin neytron ulduzlara və pulsarlara xarakterik olan $H \sim 10^{12} - 10^{14}$ Gs qiymətində siklotron şüalanma spektrin rentgen oblastına düşür. Maqnit sahə intensivliyinin ağ cırtıdanlara xarakterik olan $\sim 10^7 - 10^8$ Gs qiymətində bu şüalanma optik və ya İQ oblasta düşür.

Əgər elektronun enerjisi onun sükunət enerjisi ilə müqayisə oluna bilən və ya ondan böyükdürsə $E = \gamma m_e c^2$, $\gamma \geq 1$, şüalanma sinxrotron adlanır. Bu şüalanmanın maksimumu

$$\nu_H = \frac{eH\gamma^2}{2\pi m_e} \approx 1.4 \cdot 10^6 H \gamma^2 \quad (4.5.3)$$

tezliyinə uyğun gəlir.

4) Fotonların elektronlardan Kompton səpilməsi. Səpilmə prosesində foton və elektron enerjisi mübadiləsi edir, elektronun yekun enerjisi və fotonun tezliyi enerjinin və impulsun saxlanma qanununa görə müəyyən olunur. Xüsusi halda, fotonun səpilmədən sonrakı və əvvəlki tezlikləri nisbəti aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

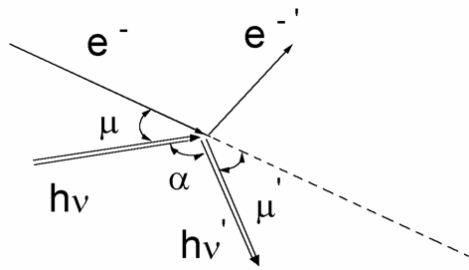
$$\frac{\nu'}{\nu} = \frac{1 - \mu\nu/c}{1 - \mu'\nu/c + (h\nu/\gamma m_e c^2)(1 - \cos\alpha)} \quad (4.5.4)$$

Burada $\cos\alpha$ –fotonun səpilmə bucağının kosinusu, μ və μ' – sürət vektoru ilə fotonun hərəkət vektoru arasındakı bucağın kosinusunun

səpilmədən əvvəlki və sonrakı qiymətləri, $\gamma m_e c^2$ – elektronun səpilmədən əvvəlki enerjisidir (Şəkil 4.5.1). Əgər səpilmədən əvvəl elektronun enerjisi rentgen fotonunun enerjisindən çox kiçikdirsə, foton öz enerjisinin bir hissəsini elektrona verər, buna vermə effekti və ya düz Kompton effekti deyilir. Bu halda fotonun yekun tezliyi (4.5.4) ifadəsindən $\nu = 0$ şərti ilə təyin edilir.

Qeyri-relyativistik həddində $h\nu \ll m_e c^2$ tezliklərin nisbəti üçün alırıq:

$$\frac{\Delta\nu'}{\nu} = -(h\nu/m_e c^2)(1 - \cos\alpha) \quad (4.5.5)$$



Şəkil 4.5.1. Fotonun elektrondan Kompton səpilməsi sxemi.

Elektronun enerjisi fotonunkundan çox olan təqdirdə Dopler effekti nəticəsində elektron öz enerjisinin bir hissəsini fotona verir. Buna tərs Kompton effekt deyilir. Onda fotonun yekun orta tezlik artımı aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\frac{\Delta\nu'}{\nu} = \frac{4}{3}(\gamma^2 - 1) \quad (4.5.6)$$

Elektronların sürətə görə paylanması Maksvell paylanması olduqda (istilik elektronları) 4.5.6 ifadəsini sürətlərə görə ortalaşdırmaq olar. Onda relyativistik hədd daxilində ($kT_e \leq m_e c^2$) orta qiymət $\langle \gamma^2 - 1 \rangle \sim 3n$ və ultrarelyativistik həddə ($kT_e \gg m_e c^2$) $12 n^2$ olar. Burada

$$n = kT_e / m_e c^2 \quad (4.5.7)$$

Beləliklə, qeyri-relyativistik həddə vermə və Dopler effektlərinin təsiri kiçikdir və təxminən xətti toplanır, fotonun tezliyinin orta dəyişməsi istilik elektronlarından bir dəfə səpilmədə aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\frac{\Delta\nu'}{\nu} = \frac{4kT_e - h\nu}{m_e c^2} \quad (4.5.8)$$

Beləliklə, rentgen kvantların yaranmasının əsas mexanizmləri bunlardır.

4.6. Şüalananan plazma

İndi isə müxtəlif astrofiziki hadisələrdə rentgen şüalanması yaranmasına səbəb olan hadisələrə baxaq. Elektronların enerjiyə (sürətlərə) görə paylanmasından asılı olaraq plazmanın şüalanması da istilik və qeyri-istilik xarakter daşıyır. Adətən qeyri-istilik təbiətli şüalanmada elektronların enerjiyə görə paylanması qüvvət üstlü

funksiya kimi ifadə olunur, $n(E) = n(E_0)/(E/E_0)^{-s}$ və elektronların və protonların elektromaqnit sahəsində sürətlənməsi və zərbə dalğalarının təsiri ilə yaranır.

İstilik şüalanması. İstilik şüalanması zamanı plazma optik nazik və ya optik qalın ola bilər. Optik nazik plazma 5.5.1 düsturu ilə təyin olunan eksponensial çökməyə malik müstəvi spektr verir. Buna səbəb odur ki, mənbə funksiyası Plank funksiyası olan şüaköçürmə tənliyinin bircins müstəvi qatda səpilmə nəzərə alınmadan həlli belə şəkildədir:

$$I_\nu = (1 - \exp(-\tau_\nu))B_\nu \approx \tau_\nu B_\nu = k_\nu l \frac{j_\nu}{k_\nu} = l j_\nu \quad (4.6.1)$$

Burada k_ν - udulma əmsalı, l - həndəsi qalınlıqdır. Qızmar optik nazik plazma ($T \sim 10^6 - 10^7$) Günəş və ulduz tacında, ifratnəhəng ulduz alışmasının qalıqlarında, qalaktika topalarında və elliptik qalaktikaların tacında müşahidə olunur.

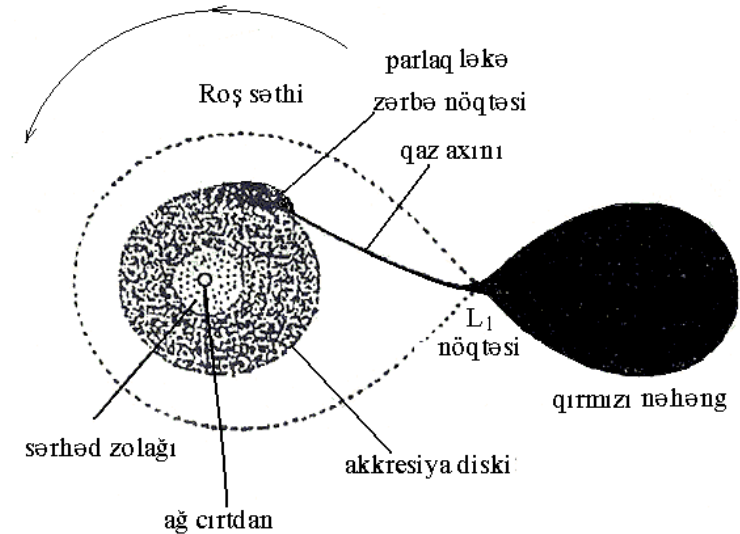
Optik qalın plazma birinci yaxınlaşmada elektronlardan səpilmə nəzərə alınmasa mütləq qara cisim kimi şüalandırır $I_\nu = B_\nu$. Əgər qeyri-şəffaflıq elektronlardan səpilmə hesabına baş verərsə spektr təhrif oluna bilər. Bundan əlavə, müəyyən şəraitdə çoxqat Kompton səpilməsi hesabına enerji toplanaraq qüvvət üstlü funksiya xarakteri ala bilər. Bu proses komptonlaşma adlanır. Bu tip rentgen şüalanma maddənin kompakt obyekt – qoşa sistemdə neytron ulduz və ya qara çuxur üzərinə akkresiyası (axını) nəticəsində yarana bilər (şəkil 4.6.1). Kütləsi M olan kompakt obyekt ətrafına ΔM kütləli maddə toplanarsa potensial qravitasiya enerjisi kinetik enerjiyə çevrilir, çünki maddə qravitasiya sahəsində sürət toplayır. Sonra bu enerji kompakt obyekt səthi yaxınlığında istilik enerjisinə çevrilərək şüalanır. Şüalanan enerji

$$\Delta E = \frac{\Delta M v_\infty^2}{2} = \frac{GM\Delta M}{2R_s} \quad (4.6.1)$$

ifadəsi ilə təyin oluna bilər.

Axın tempi sabit olarsa $\dot{M} = dM/dt$ işıqlıq vahid zamanda şüalanan enerji kimi

$$L = \frac{GM\dot{M}}{2R_s} \quad (4.6.2)$$



Şəkil 4.6.1. Qoşa sistemdə relyativistik obyektə akkresiya

ifadəsi ilə təyin olunur. Burada R_s – neytron ulduzun radiusudur (~ 10 km).

Onda akkresiya tempi $\dot{M} \sim M_\odot/\text{il}$ ($\sim 6.3 \cdot 10^{-17}$ q/san) olarsa kütləsi Günəş kütləsi qədər ($M_\odot = 2 \cdot 10^{33}$ q) olan neytron ulduz üçün $8 \cdot 10^{37}$ erq/san işıqlıq yaranır. Bu enerjisi neytron ulduzun səthindən şüalanır, onda onun effektiv temperaturunu təyin etmək olar:

$$\sigma T_{eff}^4 = \frac{L}{4\pi R_s^2} \quad (4.6.3)$$

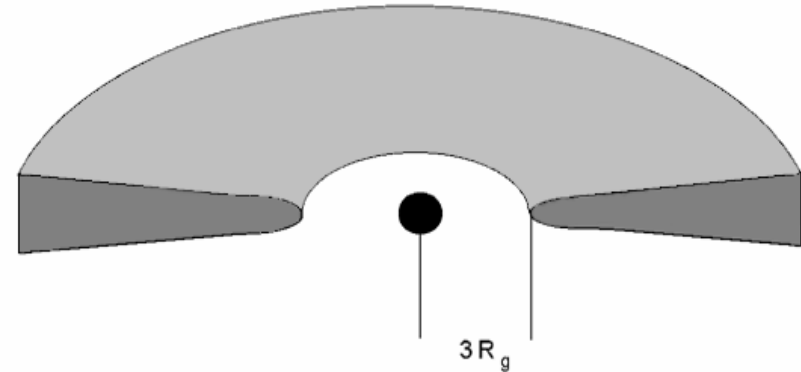
Bizim misalda temperatur üçün $\sim 3 \cdot 10^7$ K alırıq. Bu temperatura qədər qızmış cisim rentgen oblastında şüalandırır. Qoşa rentgen ulduz sistemlərinin işıqlığı göstərilən qiymətə yaxın olduğu üçün onlar üçün kompakt obyektə akkresiya modelinin tətbiqi ağılabatandır. Təbii ki, əslində bu sistemlərdə baş verən proseslər təsvir olunduğundan daha mürəkkəbdir. Məsələn, qoşa sistemlərdə bir komponentdən digərinə maddə axını müəyyən bucaq momentinə malik olduğundan birbaşa digər komponentin üzərinə düşə bilmir və müəyyən akkresiya diski əmələ gətirir (Şəkil 4.6.2). Nəticədə maddə axını diskdə daxili sürtünmə nəticəsində tədricən malik olduğu əlavə bucaq momentini itirərək istilik enerjisinə keçir və şüalanır.

Akkresiya diskinin yaranması hesabına diskin mərkəzində yerləşən qara çuxurlar maddə axını nəticəsində yaranan enerjisi şüalanması üçün vasitəçi rolunu oynayır. Disk akkresiya modeli keçən əsrin 70-ci illərində Moskva astrofizikləri N.İ.Şakura və R.Ə.Sünyayev tərəfindən yaradılmış və Azərbaycan astrofizikləri O.X. Hüseyinov, F.Q.Qasimov və başqa əməkdaşlar tərəfindən inkişaf etdirilmişdir. Bu işlərin ən mühüm nəticələrindən biri diskin radiusuna görə

effektiv temperaturun paylanması qanunauyğunluğunun müəyyən olunmasıdır:

$$\sigma T_{eff}^4 = \frac{3}{8\pi} \frac{GMM}{R^3} \left(1 - \left(\frac{R_s}{R}\right)^{1/2}\right) \quad (4.6.4)$$

Disk verdiyi şüalanma spektri onu təşkil edən ayrı-ayrı müxtəlif temperaturlu həlqələrin spektrlərindən ibarət olacaqdır. Akkresiya diskinin daxili qatları yüksək şüalanmaya malik olduğundan komptonizasiya prosesi



Şəkil 4.6.2. Qara çuxur ətrafında akkresiya diski.

nəticəsində orada qüvvət üstlü xarakterə malik şüalama alınır.

Qeyri-istilik şüalanması. Məlumdur ki, yüklü zərrəciklər nəinki plazmanın yüksək temperatura qədər qızmasına görə, həm də müxtəlif eruptiv proseslərdə elektromaqnit sahəsində sürətlənməyə

görə çox yüksək enerŞi toplaya bilər. Məsələn, belə hadisələrdən biri ifratyeni ulduzların alışması zamanı partlayış prosesləri ola bilər. Deyilən fikri söyləməyə əsas verən iki müşahidə faktıdır – Qalaktika və Günəş kosmik şüalarının mövcud olması. Günəş kosmik şüalanması Günəş alışmaları nəticəsində, Qalaktika kosmik şüalanması isə Qalaktikada olan ifratyenilərin alışması nəticəsində yaranır. 2-ci fəsildə deyildiyi kimi, kosmik şüalanma əsasən yüklü zərrəciklərdən – protonlardan, elektronlardan, α – zərrəciklərdən və kiçik miqdarda daha ağır nüvələrdən ibarətdir. Kosmik şüaların enerŞi paylanması qüvvət üstlü xarakterə malikdir, ona görə də məntiqi olaraq belə demək olar ki, qüvvət üstlü xarakterə malik şüalanma verən bütün astrofiziki obyektlərdə zərrəciklər qeyri-isilik prosesləri nəticəsində sürətlənir.

Bütün yüklü zərrəciklər içərisində ən böyük şüalanma qabiliyyəti elektrona məxsusdur. Bu şüalanma mexanizmlərindən ən effektivini maqnit sahəsində elektronun sinxrotron şüalanmasıdır. Elektronlar qüvvət üstlü enerŞi paylanmasına maliksə optik nazik sinxrotron şüalanma da qüvvət funksiyası olar:

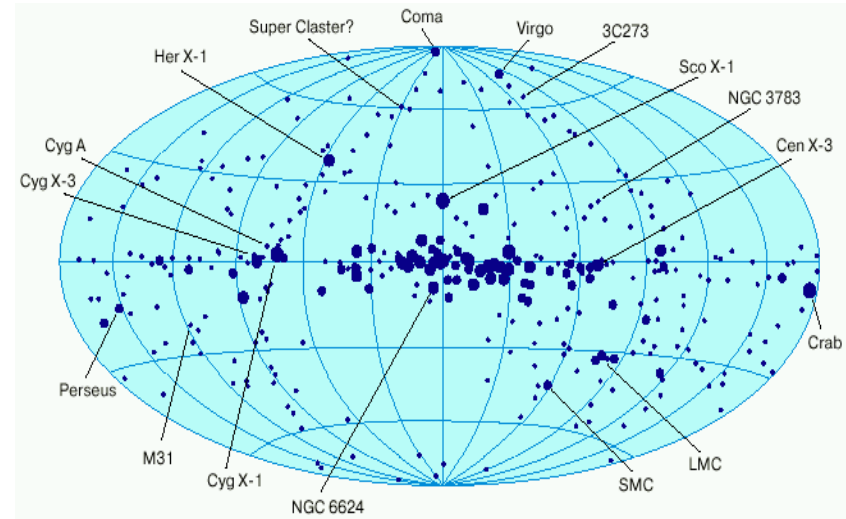
$$I_v = I_{v0} \left(\frac{v}{v_0} \right)^{\frac{s-1}{2}} \quad (4.6.5)$$

Sinxrotron mexanizmlə kvazarların və aktiv nüvəli qalaktikaların radioşüalanması və Krabşəkilli dumanlıqda olan pulsarın rentgen oblast da daxil olmaqla bütün spektri yaxşı izah oluna bilər. Bir çox astrofiziki obyektlərin rentgen şüalanması qüvvət üstlü xarakter daşıyır, ona görə də onların şüalanması sinxrotron hesab edilir. Bununla yanaşı, Kompton effekti hesabına yüksək dərəcədə qızmış plazma da qüvvət üstlü xarakterdə spektr verə bilər. Bu qüvvət

funksiyalarının hansının istilik, hansının isə qeyri-isilik hesabına baş verməsini yoxlamaq üçün, bu şüalanmalarda polyarlaşma dərəcəsi ölçülməlidir. Sinxrotron şüalanmada polyarlaşma dərəcəsi 20-30%-ə çata bilər ki, bu da sinxrotron radiospektrdə həqiqətən də müşahidə olunur. Səpilən elektronlardan şüalanma 12%-dən çox olmamalıdır. Təəssüf ki, hələlik indiki texnika ilə kosmik obyektlərin rentgen şüalanmasının polyarlaşması ölçülə bilmir.

4.7. Rentgen mənbələrinin xassələri

Rentgen oblastında kosmosun ən geniş müşahidəsi (xülasəsi) «Uxuru» və «Eynşteyn» peykləri vasitəsi ilə aparılmışdır. «Uxuru»-nun 4-cü kataloqu 339 obyektin şüalanması haqqında məlumata malikdir. 4.7.1-ci şəkildə bütün səma üzrə qalaktik koordinat sistemində bu mənbələrin yeri göstərilmişdir.



Şəkil 4.7.1. Göy sferində rentgen şüalanma mənbələrinin paylanması.

Ən parlaq mənbələr qalaktika ekvatorunun mərkəzi ilə $\pm 20^\circ$ aralığında toplanmışdır. Buradan aydın olur ki, onların əksəriyyəti məhz bizim Qalaktikaya məxsusdur. Qaloda yerləşən zəif mənbələr əsasən bizim Qalaktikadan kənarında yerləşən mənbələrdir.

Rentgen şüalanması mənbələrinin tədqiqi göstərmişdir ki, əksər müxtəlif tip obyektlər az və ya çox miqdarda rentgen şüalanma verir. Aşağıda əsas rentgen şüalanma mənbələrinin xassələrini veririk.

Günəş. Rentgen şüalanma xromosfer alışmaları zamanı və tacda şüalanır. Tacın rentgen oblastda işıqlığı $10^{-6} - 10^{-7} L_\odot$ ($L_\odot = 3.86 \cdot 10^{33}$ erq/san) təşkil edir.

Normal ulduzlar. Rentgen şüalanma əsasən tacla bağlıdır. Rentgen işıqlığın optik işıqlığa nisbəti O-B ulduzlarda $10^{-6} - 10^{-8}$ – dan M0 ulduzlara qədər 10^{-3} - dək artır. Bu dəyişmə onunla bağlıdır ki, tacın şüalanması maqnit sahəsinin intensivliyi ilə bağlıdır, maqnit sahəsi konvektiv örtük tərəfindən yaranır, konvektiv örtüyü ən böyük olan ulduzlar isə daha soyuq ulduzlardır.

RS Köpəklər tipli dəyişən ulduzlar. Bu tip tutulan dəyişən ulduzlarda aktivliyə səbəb ulduzun səthində ləkələrin olmasıdır. Əsas komponentdə alışmalar zamanı Günəşdə olduğu kimi, aktiv oblastlarla bağlı olan yüksək temperaturlu tacda rentgen şüalanması yaranır. Sabit rentgen işıqlığı $L_x \sim 10^{30}$ erq/san (Kapella) – 10^{32} erq/san (σ Gem) kimi ulduzlarda olur. Alışma zamanı rentgen işıqlıq bir neçə dəfə artır.

Tutulan-qoşa ulduzlar. Bəzi qoşa ulduzlarda komponentlərdən biri güclü ulduz küləyinə malik olur. Külək maddəsi ikinci ulduzla toqquşmada zərbə cəbhəsi yaradır. Zərbə cəbhəsinin arxasında

temperatur $\sim 10^6$ K çatır və belə temperaturda maddə rentgen oblastda şüalandırır. Məsələn, Əlqol (β Per) üçün $L_x \sim 10^{30} - 10^{31}$ erq/san təşkil edir.

Alışan ulduzlar və T Buğa tipli ulduzlar. UV cet tipli alışan ulduzlar və baş ardıçılığa çatmamış cavan T Buğa tipli ulduzlar da rentgen şüalanma mənbələridir. Rentgen şüalanma yaranması alışan ulduzlarda alışma zamanı maqnit aktivliyi ilə izah oluna bilər. T Buğa tip ulduzlarda rentgen şüalanmanın yaranma mexanizmi tam aydın deyil. Maqnit akkresiya modelinə görə maqnit sahəsi ulduzətrafi diskdə toplanan maddəni istiqamətləndirərək ulduzun lokal bir səthinə yönəldir. Nəticədə zərbə cəbhəsi və yüksəktemperaturlu zonadan rentgen şüalanması baş verir. Sabit rentgen şüalanması bu tip obyektlərdə $L_x \sim 10^{30} - 10^{31}$ erq/san olur, rentgen və optik işıqlanmaların nisbəti $\sim 10^{-3}$ tərtibindədir, lakin alışma zamanı bu nisbət artır.

İfratyeni qalıqları. Bütün ifratyeni ulduz alışmasının qalıqları rentgen şüalanma mənbəyidir. Belə qalıqlar rentgen şüalanmasına görə bir neçə tipə ayrılır. Mərkəzində aktiv pulsar olan və plerionlar adlanan qalıqlar daim sürətli elektronlar mənbəyidir və sinxrotron mexanizm əsasında rentgen şüalanma yaradır. Buna misal nisbətən cavan Krabşəkilli dumanlığı göstərmək olar. Nisbətən daha yaşlı ifratyeni qalıqlarında rentgen şüalanması qalıq maddə ilə ulduzlararası maddənin qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranır. Zərbədən yaranan cəbhədə temperatur 10^7 °K –ə qədər qıza bilər. Krabda rentgen işıqlığı 10^{37} erq/san, örtüklü qalıqlarda 10^{34} - 10^{35} erq/san çatır.

Fon şüalanması. Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, bütün səma zəif rentgen şüalanması mənbəyidir. Yumşaq rentgen oblastında bu şüalanma $\sim 10^6$ °K temperatura qədər isinmiş ulduzlararası qazın tac

şüalanmasından alınır. Daha sərt rentgen oblastında isə bu şüalanma zəif və ayırd edilməmiş obyektlər tərəfindən yaradılır. Qalaktikada fon şüalanmasının tam işıqlığı $\sim 10^{38}$ erq/san təşkil edir.

Rentgen dumanlıqları. Yüksək işıqlığa malik ulduzların yaratdığı ulduz küləyi ilə OB assosiasiyalarda ulduzlararası mühitin qarşılıqlı təsirindən rentgen şüalanması yarana bilər. 13-15 yüksək işıqlıqlı O və WR tipli ulduzlar bir topada $\sim 10^{35}$ erq/san rentgen işıqlığı yarada bilər.

Ulduzmələgəlmə baş verən qalaktikalar. Belə mənbələrdə çoxlu sayda isti cavan ulduzlar və ifratnəhəng qalıqları mövcuddur, ona görə də yüksək rentgen şüalanma mənbələridir. Rentgen oblastında bu qalaktikaların işıqlığı $\sim 10^{41}$ erq/san çatır.

Aktiv nüvəli qalaktika və kvazarlar. Çox ehtimal ki, seyfert qalaktikalarının və kvazarların rentgen şüalanması onların nüvəsində yerləşmiş ifratböyük kütləli qara çuxurların ətrafında yaranan akkresiya diskələrində baş verir. Seyfert qalaktikalarından kvazarlara doğru rentgen işıqlığı 10^{42} erq/san-dən 10^{47} erq/san-yə qədər artır. Radioqalaktikaların rentgen şüalanması onların nüvəsindən atılmış qızmar elektron buludları tərəfindən yaranır. Belə qalaktikalarda rentgen işıqlığı $\sim 10^{43}$ erq/san tərtibində olur. Əksər aktiv nüvəli qalaktika və kvazarların rentgen şüalanması qüvvət funksiyası kimi ifadə olunur və çox güman ki, tərs Kompton effekti hesabına yaranır.

Qalaktika topaları. Qalaktika topalarının rentgen şüalanması qalaktikalararası mühidə temperaturu 10^7 - 10^8 K çatan qızmar qazla bağlıdır. Belə qazın topalarda işıqlığı $L_x \sim 10^{43}$ erq/san təşkil edir. Qızmar qaz qalaktikalar formalaşdığı dövrdə yaranmışdır, lakin çox seyrək olduğundan çox yavaş sürətlə soyumaqdadır.

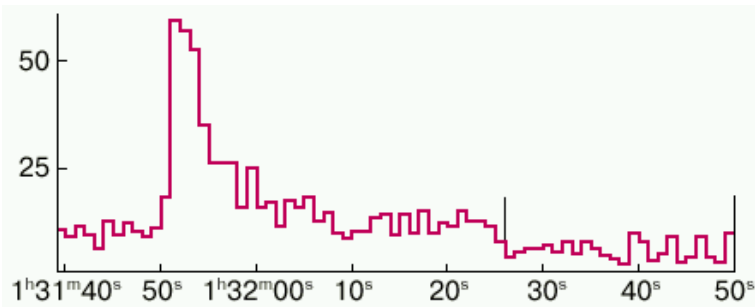
Rentgen pulsarları. Qoşa sistemdə maqnit sahəsinin intensivliyi $H \sim 10^{11} - 10^{14}$ Gs – a çatan neytron ulduzun səthinə digər komponentdən

axan maddə, maqnit sahəsinin qüvvə xətləri boyunca ulduzun maqnit qütblərinə toplanır. Maqnit qütbləri fırlanma qütbləri ilə üst-üstə düşür. Belə ulduzun fırlanması nəticəsində periodik olaraq rentgen impulsları müşahidə olunur. Presessiya və ya tutulmalar nəticəsində də ümumi işıqlıq dəyişə bilər. Belə sistemlərdə işıqlıq Eddinqton həddindən çox ola bilər, çünki plazma qravitasiya ilə deyil maqnit sahəsi ilə tutulub saxlanır. İşıqlıq belə mənbələrdə 10^{35} –dən 10^{39} erq/san – yə çatır.

Barsterlər. Neytron ulduzun maqnit sahəsi kiçik olarsa rentgen pulsarı müşahidə olunmur. Adi vəziyyətdə akkresiya diski şüalandırır, lakin neytron ulduz səthinə toplanan maddə kritik həddə çatarkən termonüvə reaksiyası baş verir, nəticədə hidrogenlə zəngin olan maddə heliuma və digər ağır elementlərə çevrilir. Bu da 4-12 saatdan bir rentgen alışmaların baş verməsinə səbəb ola bilər. Bundan əlavə, bəzi barsterlərdə (MXB 1730-335) ikinci növ daha tez-tez və 20-400 san intervalı ilə alışmalar baş verir ki, bu da akkresiya diskinin qərarlaşmaması ilə bağlı ola bilər. Barsterin işıqlılığı alışma zamanı 10^{38} erq/san, sakit halda isə 10^{36} - 10^{37} erq/san ola bilər. Alışma zamanı ondan qabaqki sakit vəziyyətə nisbətən 100 dəfə az enerjisi ayrılır, çünki tipik neytron ulduza akkresiya vaxtı bir nuklona termonüvə reaksiyasından 100 dəfə çox potensial qravitasiya enerjisi ayrılır. Alışmalar bir neçə dəqiqə davam edir və alışmadan öncəki sakit hal nə qədər uzun sürərsə, alışma da bir o qədər güclü olur. 50-yə qədər barster məlumdur, bunlardan 6-sı kürəvi ulduz topalarında yerləşir. 4.7.2-ci şəkildə tipik barster alışmasının qrafiki verilmişdir.

cyg X-1 tipli mənbələr. cyg X-1 və bu kimi mənbələr həm çox kiçik zaman kəsiyində (millisaniyələrlə), həm də çox böyük zaman intervalında (aylar, illər) sürətli parlaqlıq dəyişmələri göstərilir. cyg X-1 böyük kütləli rentgen qoşa ulduzlar sinfinə aiddir. Bu sistemdə

isti ulduz O-B-A spektral sinfinə məxsus nəhəng və ya ifratnəhəng ulduz olub ulduz küləyi vasitəsilə öz maddəsini itirməkdədir. İkinci komponent kompakt neytron ulduzu və ya qara çuxurdan ibarətdir, elə bu komponent də rentgen şüalanması mənbəyidir. Sistemdə optik ulduz A9 spektral sinifli ifratnəhəng HD 226868-dir. Rentgen işıqlığı $\sim 10^{37}$ erq/san-



Şəkil 4.7.2. Alışan rentgen mənbəyinin işıq əyrisi

dir. Bu sistem qara çuxura namizəd sayılır, çünki görünməyən komponentin kütləsi $M \sim 5-6 M_{\odot}$ -dir. Bir neçə belə sistem məlumdur.

Kiçik kütləli qoşa rentgen mənbələr - Low-Mass X-ray Binaries (LMXB). Görünən komponent bir qayda olaraq öz Roş sərhəddini doldurmuş qırmızı cırtan (bəzən qırmızı nəhəng) olduğundan, ondan ikinci kompakt neytron ulduza maddə axır. Mənbələr təxminən 10^{38} erq/san işıqlığa malikdirlər. Bunlara tipik misal Cyg X-3, Sco X-1 ola bilər.

Bundan başqa, işıqlığı $\sim 10^{34}$ erq/san olan zəif mənbələr də mövcuddur. Bunlar da, çox ehtimal ki, elə həmin qırmızı cırtanlardan ibarətdir. Zəif rentgen mənbələrindən biri də çox populyar olan SS433 mənbəyidir.

Tranziyentlər. Sabit rentgen mənbələri ilə yanaşı aralıq alışan və sonra sönən rentgen mənbələrinə də rast gəlinir. Onlardan bəzilərinin parlaqlığı nisbətən sabit rentgen şüalanması verən ən parlaq Sco X-1 mənbəyininə qədərdir. Belə mənbələr tranziyentlər adlandırılmışlar. Tranziyentlər sürətli və yavaş ola bilər. Yavaş tranziyentlərdə alışma bir neçə həftə və ay çəkə bilər. Sürətliyə isə alışma bir neçə saat və ya gün davam edə bilər. Yavaş sürətli tranziyentlər, həm də yavaş yenilər adlanır. Bunlar kiçik kütləli rentgen sistemlər olub 10-50 ildən bir akkresiya sürətini artırır. Rentgen yeniləri arasında qara çuxura namizədlərin sayı çoxdur. Sürətli tranziyentlər neytron ulduzlardır, onlar böyük eksentristetə malik orbitlərdə ulduz küləyinə malik böyük kütləli ulduz ətrafında fırlanırlar. Neytron ulduz periastrı keçərkən onun səthinə akkresiya tempi çoxalır. Tranziyentlərin işıqlığı maksimumda 10^{38} erq/san-yə çatır.

Kataklizmik dəyişən ulduzların rentgen şüalanması. Kataklizmik dəyişən ulduzlar sıx qoşa ulduzlardır, optik komponent qırmızı cırtan (bəzən qırmızı nəhəngdən) ibarətdir. Bu komponent Roş səddini doldurmuşdur, ona görə ağ cırtandan ibarət ikinci komponentə maddə axını baş verir. Ağ cırtanın maqnit sahəsinin qiymətindən asılı olaraq kataklizmik dəyişənlər üç tipə bölünür:

1. **Maqnit sahəsi 10^8 Gs – a çatan polyarlar.** Belə sistemdə Alven radiusu ağ cırtanın Roş səddi ölçüsü tərtibindədir. Alven radiusu $H^2/8\pi$ nisbəti ilə təyin olunan maqnit təzyiqinin akkresiya edən maddənin $\rho v^2/2$ dinamik təzyiqinə bərabər olduğu ölçüdür. Belə şəraitdə akkresiya diski yaranmır və qırmızı cırtandan axan plazma

maqnit qüvvə xətləri boyunca ağ cırtanın maqnit qütblərinə toplanır. Bu sistemlər rentgen pulsarlara bənzəyir. Spektrin optik oblastı siklotron mexanizmi ilə şüalanmaya uyğundur, ona görə də şüalanma çox polyarlaşmışdır (polyar anlayışı buradan irəli gəlir). Rentgen şüalanma maqnit qütblərində zərbə dalğasının tormozlanması prosesində və elektronların maqnit sahəsində siklotron şüalanması nəticəsində baş verir. Belə obyektlərdən ən populyarı olan HM Her sistemində rentgen işıqlıq $4 \cdot 10^{32}$ erq/san –dir.

2. *Aralıq polyarlar və ya DQ Her tipli sistemlər.* Belə sistemlərdə maqnit sahəsi $H \sim 10^7$ Gs-a çatır, Alven radiusu Roş səddindən bir neçə dəfə çoxdur. Belə sistemdə akkresiya diski yaranır, və disk böyüyərək ölçüsü Alven radiusuna gəlib çatır. Bundan sonra disk dağılır və hadisələr polyarlarda olduğu kimi davam edir.

3. *Yeniyyənzər və cırtan yeni ulduzlar.* Ağ cırtanın maqnit sahəsi bu sistemlərdə maddə axınına ciddi təsir göstərə bilmir, ona görə akkresiya diski ağ cırtanın səthinə qədər gəlib çatır. Rentgen şüalanma ağ cırtanla akkresiya diski arasındakı qatda yaranır. Bu qatda diskdəki maddənin sürəti Kepler sürətindən ağ cırtanın fırlanma sürətinə qədər azalır. Işıqlıq burada $\sim 10^{32}$ erq/san çatır. Maddə axını yüksək sürətli və sabit olarsa (təxminən 10^{-8} M_{\odot} / il) akkresiya prosesi stasionar olar. Belə sistemlər yeniyyənzər adlanır. Ağ cırtanda toplanan hidrogenlə zəngin maddə termonüvə reaksiyaları nəticəsində 10^5 - 10^2 ildən bir periodla partlama imkanına malikdir. Bu hal onları Yeni və təkrar Yeni ulduzlara bənzədir.

Daha kiçik sürətli maddə axını ($\sim 10^{-9}$ M_{\odot} / il) akkresiya prosesi qeyri stasionar olur, bu da cırtan yenilər fenomeninə gətirib çıxarır.

İfratyüksək kütləli rentgen mənbələr - *SuperSoft X-ray Sources* (SSS). Bu rentgen mənbələr 90-cı illərin əvvəlində ROSAT peyki ilə tədqiq olunmuşlar. Onlar çox yüksək işıqlığa malik olub ($\sim 10^{38}$

erq/san) yumşaq şüalanma spektri şüalandırılırlar. Rentgen şüalanmanın 90%-i enerjisi 0.5 keV olan fotonlar tərəfindən həyata keçirilir. Bu mənbələr öz Roş səddini dolduran F spektral sinifli ulduzdan və ağ cırtandan ibarət olan sıx qoşa sistemlər hesab olunur. Maddə axını o qədər güclüdür ki ($\sim 10^{-7}$ M_{\odot} / il), nəticədə ağ cırtanın səthində qərarlaşmış hidrogen yanma reaksiyası baş verir. Beləliklə, rentgen şüalanma mənbəyi temperaturu $T \sim 500\,000$ °K olan ağ cırtan tərəfindən yaradılır.

4.8. Kompton səpilməsində rentgen spektrin yaranması

Qeyri-relyativistik fotonlar ($h\nu \ll m_e c^2$) və qeyri-relyativistik istilik elektronları ($kT_e = m_e c^2$) arasında enerji mübadiləsi Kompaneytsa düsturu ilə verilir:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\sigma_T n_e}{m_e c} \frac{h}{v^2} \frac{d}{dv} n \nu^4 \left(n + n^2 + \frac{kT_e}{h} \frac{dn}{d\nu} \right) \quad (4.8.1)$$

Burada $\sigma = 6.65 \cdot 10^{-25}$ sm^2 - elektron səpilməsinin Tompson en kəsiyi, $n = (\varepsilon_\nu c^3)/(8\pi h \nu^3)$ - faza məkanında fotonların dolmasını göstərən ölçüsüz kəmiyyət, ε_ν - şüalanmanın enerji sıxlığıdır. Sonuncu kəmiyyət orta intensivliklə

$$\varepsilon_\nu = \frac{4\pi}{c} J_\nu \quad (4.8.2)$$

münasibəti ilə bağlıdır. İndi $x = h\nu/kT_e$ ölçüsüz kəmiyyəti və $y = \int \frac{kT_e(t)}{m_e c^2} \sigma_T n_e c dt$ ölçüsüz zamanı daxil etsək (5.8.1) tənliyini daha sadə şəkildə yazmaq olar:

$$\frac{dn}{dy} = \frac{1}{x^2} \frac{d}{dx} x^4 \left(n + n^2 + \frac{dn}{dx} \right) \quad (4.8.3)$$

Burada sağda mütərizədəki axırıncı hədd fotonların böyük tezliklərə doğru diffuziyasını və Dopler effekti nəticəsində çoxqat səpilmədə elektronların soyumasını ifadə edir. Mütərizədəki birinci hədd fotonların kiçik tezliklərə doğru diffuziyasını və ötürmə effekti nəticəsində elektronların qızmasını, ikinci hədd isə məcburi şüalanma kimi törəmə prosesləri və elektronların ötürmə effektinə görə qızmasını təsvir edir. Kompaneyts tənliyindən isti elektronlarda Kompton səpilməsinin bəzi xassələrini çıxarmaq olar.

a) *Kompton səpilməsi fotonların sayını sabit saxlayır.* Həqiqətin də,

$$\frac{d}{dt} N_\gamma = \frac{d}{dt} \int \frac{J_\nu}{h\nu} d\nu = \frac{d}{dt} \int n\nu^2 d\nu = 0 \quad (4.8.4)$$

Burada $N_\gamma = \int \frac{J_\nu}{h\nu} d\nu$ fotonların tam sayıdır.

b) *qərarlaşmış Kompaneyts tənliyinin həlli* ($dn/dt = 0$) Boze-Eynşteyn (B-E) paylanmasına gətirir:

$$n = \frac{1}{e^{\mu+x} - 1} \quad (4.8.5)$$

B-E paylanmasının xüsusi halı ($\mu = 0$) Plank funksiyasına gətirib çıxarır. μ kimyəvi potensialı Plank paylanmasına nisbətən fotonların çatışmazlığını ifadə edir. $\mu \ll 1$ olarsa B-E paylanması Vin paylanmasına ($n = e^{-\mu-x}$) və ya Vin spektrinə çevrilir:

$$\varepsilon_\nu = e^{-\mu} 8\pi (h\nu/c)^3 e^{-\frac{h\nu}{kT_e}} \quad (4.8.6)$$

Fiziki olaraq bu o deməkdir ki, səpilmənin yüksək həddində Kompton səpilməsi temperaturu elektronların temperaturuna bərabər olan B-E spektrini formalaşdırır.

Vin paylanmasında fotonun orta enerjisi

$$\langle h\nu \rangle = kT_e \frac{\int_0^\infty x^3 e^{-x} dx}{\int_0^\infty x^2 e^{-x} dx} = 3kT_e \quad (4.8.7)$$

kimi təyin olunur.

c) *Enerji balansı tənliyi.* Əgər Kompaneyts tənliyini $8\pi(h\nu/c)^3$ həddinə vurub onu tezliyə görə inteqrallasaq 1971-ci ildə Leviç və Sünyayev tərəfindən alınmış düsturu alarıq:

$$h \frac{d\varepsilon_r}{dt} = 4 \frac{kT_e}{m_e c^2} \sigma_T n_e c \varepsilon_r - \frac{\sigma_T n_e h}{m_e c} \int_0^\infty \nu d\nu - \frac{\sigma_T n_e c^2}{8\pi m_e} \int_0^\infty \frac{\varepsilon_\nu^2}{\nu^2} d\nu \quad (4.8.8)$$

Burada $\varepsilon_r = \int_0^{\infty} \varepsilon_\nu d\nu$ şüalanma enerjisinin integral sıxlığıdır. Kompton şüalanmasında enerji şüalanmasının sıxlığının dəyişməsi elektronların daxili enerjisinin dəyişməsinə bərabər olduğundan

$$\frac{d\varepsilon_r}{dt} = -\frac{3}{2} n_e k \frac{dT_e}{dt} \quad (4.8.9)$$

alarıq. Beləliklə, aydın olur ki, birinci hədd Dopler effektinə görə elektronların soyumasını təsvir edir. Sonuncu iki hədd isə ötürməyə görə qızmanı ifadə edir. Əgər biz Dirak delta funksiyası ilə ifadə olunan sonsuz nazik xətt götürsək, onda alarıq ki, hər bir səpilmədə fotonun enerjisi

$$\Delta\nu/\nu_0 = (4kT_e - h\nu_0)/m_e c^2 \quad (4.8.10)$$

qədər dəyişər. Buradan görünür ki, fotonlar $4kT_e$ -dən çox qiymət ala bilməzlər.

Qərarlaşmış halda $d\varepsilon_r/dt = 0$, verilən şüalanma sahəsində elektronların temperaturunu təyin etmək olar:

$$kT_e = \frac{1}{4\varepsilon_r} \left(\int_0^{\infty} h\nu\varepsilon_\nu d\nu + \frac{c^3}{8\pi} \int_0^{\infty} \frac{\varepsilon_\nu}{\nu^2} d\nu \right) \approx \frac{\langle h\nu \rangle}{4} \quad (4.8.11)$$

Bu temperatura Kompton temperaturu deyilir.

Kiçik enerjili fotonların isti elektronlarla qarşılıqlı təsiri zamanı Koompaneyts tənliyindəki birinci iki həddi nəzərə almamaq olar, onda tənlik yalnız səpilməyə görə tezliyin Dopler sürüşməsinə ifadə

edəcəkdir. 1969-cu ildə Zeldoviç və Sünyayev sonsuz nazik xəttə alınan diffuziya tənliyinin aşağıdakı formada həllini almışlar:

$$\varepsilon_\nu(x, y) = \frac{A}{\sqrt{4\pi y}} x_0 \exp\left(-\frac{(\ln x_0 - \ln x + 3y)^2}{4y}\right) \quad (4.8.12)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, Kompaneyts tənliyində foton spektrinin zamana görə dəyişməsi kosmoloji məsələlərin həllində çox əlverişlidir. Buna baxmayaraq, rentgen spektrinin qərarlaşmış astrofiziki obyektlərdə, məsələn, akkresiya disklərində yaranmasına baxılarkən zamandan imtina edərək məkan dəyişəninə keçmək lazımdır. Əvvəl daxil edilmiş ölçüsüz zaman, həm də optik qalınlıq τ ilə $kT_e/m_e c^2$ hasilinə bərabərdir. Deməli, fotonlar nə qədər böyük optik qalınlıqdan keçərsə, bir o qədər müddətə onlar elektronların təsirinə məruz qalar. Həqiqətdə isə məsələ daha mürəkkəbdir, belə ki, foton və elektron arasında qarşılıqlı təsir müddəti foton tərəfindən səpilmələrin sayı u ilə belə təyin olunur:

$$t = u/(\sigma_T n_e s)$$

Kompaneyts tənliyinin xassələrindən alınır ki, səpilmələrin sayı çox olarsa $\tau \gg 1$ və mühtdən B-E spektral paylanmasına uyğun spektr şüalanır. İsti elektronların optik qalınlığı $\tau \sim 1$ olarsa qüvvət üstlü təbiətli spektr yarana bilər.

Optik qalınlığı τ olan müstəvi paralel isti elektron təbəqəsindən keçən alçaq tezlikli və $h\nu < kT_e$ orta enerjili şüalanmaya baxaq. Bu halda fotonların məruz qaldığı orta səpilmələrin sayı

$$\langle u \rangle = \frac{12}{\pi^2} \left(\tau + \frac{2}{3} \right)^2 \quad (4.8.13)$$

olar. Hər bir səpilmədə foton əlavə enerji əldə edir, ona görə foton nə qədər çox səpilsə, bir o qədər çox enerji qazanar. Lakin bu enerji müəyyən həddə qədər toplanı bilər, çünki foton elektronun orta enerjisindən çox enerji toplaya bilməz. Yuxarıda qeyd etmişdik ki, səpilmələrin sayı çox olduqda foton çatışmazlığı nəticəsində fotonların orta enerjisi $3kT_e$ olan Vin spektri yaranır. Beləliklə, səpilmələrin orta sayı kifayət qədər çox olarsa, praktiki olaraq bütün fotonlar $3kT_e$ həddində toplanır və B-E spektri yaradır. Lakin fotonların səpilməsinin orta sayı bu enerjini toplamağa imkan vermirsə, enerjiləri orta qiymətdən çox olan fotonlar başlıca rol oynayır. Məhz belə fotonlar $h\nu_0$ –dan $3kT_e$ intervalına qədər diapazonda üstlü qüvvət formalı spektri formalaşdırır. Riyazi olaraq bunu belə ifadə etmək olar. Orta qiymətdən çox səpilməyə məruz qalma ehtimalı $P(u) \sim \exp(-u/\langle u \rangle)$ kimi ifadə olunur. Onda şüalanma spektr

$$F_\nu(x) = \int_0^\infty J_\nu(x, u) P(u) du \quad (4.8.14)$$

kimi ifadə olunur. Burada $P(u)$ – fotonların alınan səpilmələrə görə paylanması, $J_\nu(x, u)$ - u səpilməsi nəticəsində formalaşan şüalanma spektridir. $h\nu_0 \ll h\nu \ll 3kT_e$ enerji intervalında spektrə əsas təsiri (5.10.12) ifadəsi ilə təyin olunan Dopler effekti göstərir. Burada nəzərə almaq lazımdır ki, $y = (kT_e/m_e c^2) \cdot u$.

$P(u) = B \exp(-u/\langle u \rangle)$ götürərək (5.10.12) - ifadəsini (5.10.14) - də yazıb inteqrallamaqla

$$F_\nu = D(u) \left(\frac{x}{x_0} \right)^{-\alpha} \quad (4.8.15)$$

alırıq. Burada

$$\alpha = -\frac{3}{2} + \sqrt{\frac{9}{4} + \gamma}, \quad \gamma = (m_e c^2 / kT_e) \frac{1}{\langle u \rangle} \quad (4.8.16)$$

D və B sabitləri yalnız yumşaq fotonların disk boyu paylanması asılıdır.

Beləliklə, görürük ki, $h\nu_0 \ll h\nu \ll 3kT_e$ spektral oblastında qüvvət funksiyası ilə ifadə olunan spektr formalaşır. Böyük tezliklərdə Vin paylanması formalaşır və paylanma eksponensial funksiya ilə ifadə olunur.

4.9. Ulduzlararası udulmanın rentgen şüalanma spektrinə təsiri

Rentgen fotonları soyuq ulduzlararası qazdan keçərkən onlardan bir hissəsi udularaq qazı ionlaşdırır. Bu zaman şüaköçürmə tənliyi aşağıdakı şəkli alır:

$$\frac{dF_\nu}{dr} = -\sigma_\nu n_H F_\nu \quad (4.9.1)$$

Burada şüalanma əmsalı sıfıra bərabər olduğu nəzərə alınmışdır. n_H – hidrogen atomlarının konsentrasiyası, σ_ν – hidrogenin K örtüyündə fotoionlaşmanın effektiv kəsiyidir. σ_ν - kəmiyyətinin aşkar ifadəsi belə verilir:

$$\sigma_\nu = 7 \cdot 10^{-18} N_k Z^4 \left(\frac{13.56}{h\nu} \right)^3 [sm^2] \quad (4.9.2)$$

Burada $h\nu$ fotonun eV vahidlərində enerjisi, Z - atomun nüvəsinin yükü, N_k – K örtüyündə elektronun sayıdır. N_k kəmiyyəti hidrogen kimi ionlar üçün 1-ə, qalan atom və ionlar üçün isə 2-yə bərabərdir. Şüaköçürmə tənliyini bu şəkildə yazmaq olar:

$$\frac{dF_\nu}{d\tau_\nu} = -F_\nu \quad (4.9.3)$$

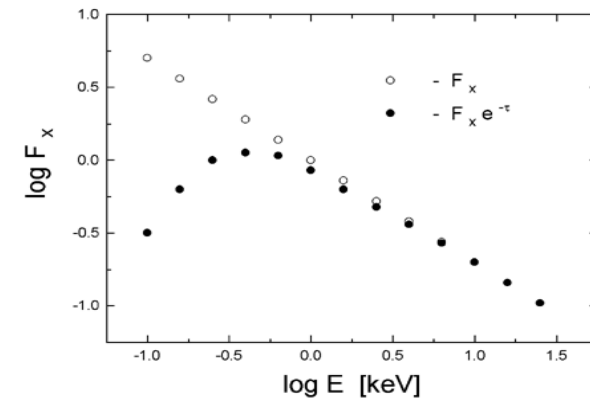
Burada $\tau_\nu = \sigma_\nu \int_0^R n_H dr = \sigma_\nu N_H$, R – Yerdən mənbəyə qədər olan

məsafə, N_H – ulduzlararası mühitdə müşahidəçi ilə mənbə arasında hidrogen atomlarının sayı, $[N_H] = sm^{-2}$, yəni en kəsiyin sahəsi $1 sm^2$ olan sütunda müşahidəçiyə qədər olan atomların sayıdır. (5.9.3) tənliyinin həlli aşağıdakı kimidir:

$$F_\nu = F_\nu^0 e^{-\tau_\nu} \quad (4.9.4)$$

Burada F_ν^0 - mənbədən çıxan şüalanma selidir. Fotoionlaşmanın çox olduğu tezliklərdə ulduzlararası hidrogen tərəfindən udulma böyük olur. Məsələn, uzaq ultrabənövşəyi oblastda, 912 Å-dən kiçik dalğa uzunluqlarında fotoionlaşmanın effektiv kəsiyi böyükdür, ona görə

bu oblastda praktiki olaraq bütün fotonlar udulur. Yumşaq rentgen oblastda da udulma kifayət qədər yüksəkdir, ona görə bir çox şüalanma mənbələrinin spektrində qüvvət üstlü funksiyadan kənaraçıxma müşahidə olunur. 4.9.1-ci şəkildə yumşaq rentgen oblastında ulduzlararası udulmanın şüalananan enerjiden asılılığı ifadə olunmuşdur.



Şəkil 4.9.1. Yumşaq rentgen şüalanmasının ulduzlararası udulması.

FƏSİL 5. QAMMA-ASTRONOMİYA

5.1. Qamma astronomiyanın əsas xüsusiyyətləri

Qamma-astronomiya enerjisi təxminən 100 keV-dən çox olan xarakterik sərt elektromaqnit foton şüalanmasına görə kosmik obyektləri və onlarda gedən fiziki prosesləri tədqiq edir. Belə fotonlar, adətən, yüksək enerjili zərrəciklərin bir-biri ilə qarşılıqlı təsiri zamanı yaranır. Ona görə də, XX əsrin 50-ci illərindən başlayaraq kosmik qamma-şüalanma (QŞ) kainatın uzaq hissələrində yaranan protonların, elektronların və digər kosmik zərrəciklərin aşkar edilməsi üçün unikal bir metod kimi meydana gəldi. Xüsusilə də, protonların yüksək enerjili nüvələrlə qarşılıqlı təsirindən yaranan QŞ daha böyük maraq kəsb edir, çünki bu zaman demək olar ki, digər diapazonlarda elektromaqnit şüalanma yaranmır.

Yer atmosferi Yer səthindən 30-50 km yüksəklikdə QŞ –ni səpir və udur, onun Yer səthinə qədər gəlib çatmasına mane olur. Fotonların enerjisi $\varepsilon_k \leq 20$ MeV olan QŞ kompton səpilməsinə məruz qalır, daha böyük enerjili fotonlar isə elektron-pozitron cütünü yaradır. Ona görə də, enerjisi 10-100 keV intervalında olan fotonları müşahidə etmək üçün kosmik aparatlarda və ya yüksəklik aerostatlarında qurulmuş qamma-teleskoplardan istifadə olunmalıdır. Enerjisi 100 QeV-dən böyük olan fotonlar yerüstü qurğularda bu fotonların atmosferlə qarşılıqlı təsirindən yaranan elektronlardan Čerenkov şüalanmasına görə müşahidə oluna bilər.

XX əsrin 70-ci illərində həyata keçirilmiş xüsusi peyk-rəsədxanaların müşahidələrindən sonra bir çox göy cisimlərindən çox güclü QŞ aşkar olundu. Bunlardan Günəş səthinin aktiv oblastları, pulsarlar, aktiv nüvəli qalaktikalar və kvazarlar misal ola bilər. Bundan başqa, qamma-diapazonda müşahidələr bir çox gözlənilməz nəticələrə gətirdi. Bunlardan, enerjisi 0.1 MeV-dən bir neçə MeV-ə

qədər çatan güclü qamma-parıltıları və enerjisi 100 MeV-dən böyük olan diskret qalaktika mənbələrinin aşkar olunmasını misal göstərmək olar.

QŞ diapazonu kifayət qədər böyükdür və qoyulan elmi məsələdən asılı olaraq onu aşağıdakı bir neçə diapazona bölürlər:

1. Yumşaq QŞ, enerjisi $\varepsilon \approx 0.1 - 5$ MeV ($\lambda \approx 0.12 - 0.24 \cdot 10^{-2}$ Å).
2. Aralıq enerjili QŞ, $\varepsilon \approx 5 - 50$ MeV ($\lambda \approx 0.24 \cdot 10^{-2} - 0.24 \cdot 10^{-4}$ Å).
3. Sərt QŞ oblastı, $\varepsilon \approx 50$ MeV - 10 QeV ($\lambda \approx 0.24 \cdot 10^{-4} - 0.12 \cdot 10^{-6}$ Å).
4. Yüksək enerjili QŞ, $\varepsilon \geq 10$ QeV.

5.2. Qamma-şüalanmanın yaranma mexanizmləri

QŞ-n yaranmasının elementar prosesləri nəzəri və eksperimental fizikada yaxşı öyrənilmişdir. Bununla bərabər, bu şüalanmanın kosmosda yaranma mexanizmləri hələ tam öyrənilməmiş qalır. Qamma şüalanmanın yaranma prosesini üç qrupa bölmək olar.

Birinci qrupa, yüksək enerjili elektronların yüklü zərrəciklərlə qarşılıqlı təsirini misal göstərmək olar. Elektronlar zərrəciklərlə toqquşarkən geniş tezlik diapazonuna malik elektromaqnit şüalanma yaranır. Bu şüalanmanın yarandığı fotonun enerjisi onu yaradan elektronun enerjisi ilə yuxarıdan məhduddur, yəni bundan çox ola bilməz. Bu şüalanma tormoz şüalanması adlanır. Elektronların enerjisinin kifayət qədər böyük qiymətində şüalanmanın bir hissəsi qamma-diapazona aid olur. Elektromaqnit şüalanma qamma-oblastda həm də elektronların maqnit sahəsində hərəkəti zamanı yaranır, buna sinxrotron şüalanma deyilir. Sinxrotron qamma-şüalanmanın yaranması üçün elektronlar böyük enerjiyə, maqnit sahəsi isə böyük intensivliyə malik olmalıdır. Bundan başqa QŞ həm də kiçik enerjili

fotonların relyativistik elektronlardan səpilməsi zamanı da yarana bilər. Buna tərs Kompton effekti deyilir (komptonlaşma).

İkinci qrupa, nüvə proseslərini aid edirlər. Nüvə proseslərində çox zaman həyəcanlanmış nüvələr yaranır. Həmin nüvələrin həyəcanlanmış haldan əsas səviyyəyə keçməsi zamanı yumşaq QŞ oblastına uyğun fotonlar şüalandırılır. Nüvələrin qamma oblastda yaratdığı spektral xətlərdən 2.23 MeV enerjili xətt böyük maraq kəsb edir. Bu xətt neytronun protonla tutulması zamanı deyttronun əmələ gəlməsi nəticəsində yaranır. Enerjisi 2.23 MeV olan qamma - fotonların müşahidəsi uzaq kosmik obyektlərdə neytron selini qiymətləndirməyə imkan verir. Nüvə reaksiyalarında QŞ fotonlarının əsas mənbəyi yüksək enerjili elementar zərrəciklərin reaksiyaları zamanı yaranan π^0 -mezonların parçalanmasıdır. Pion fotonları adlanan QŞ spektri kəsilməzdir, onun maksimumu $\varepsilon \approx 70$ MeV oblastında yerləşir.

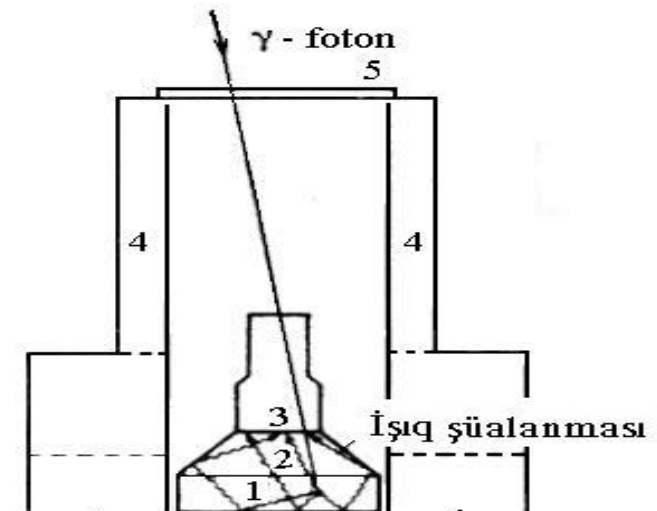
Üçüncü qrupa, annihilyasiya proseslərini aid edirlər. Maddə və antimaddənin annihilyasiyası QŞ yaranmasının ən effektiv mexanizmidir. Elektron və pozitronun annihilyasiyası zamanı ya enerjiləri $\varepsilon = 0.511$ MeV olan iki foton, ya da kəsilməz tezlikli 3 foton yaranır. Proton və antiprotonun annihilyasiyası zamanı çoxlu miqdarda neytral və digər növ mezonlar yaranır, bunlar da qamma fotonlara çevrilir. QŞ spektri kosmik şüaların ulduzlararası qazla qarşılıqlı təsirindən yaranan spektrə yaxındır.

QŞ çox yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malikdir. Hətta Qalaktikanın mərkəzinə doğru istiqamətdə QŞ ulduzlararası buludlarla örtülü mühit tərəfindən udulması çox zəifdir. QŞ Yer səthinə qırmızı sürüşməsi $z \sim 10^2$ olan məsafədən gəlmək qabiliyyətinə malikdir. Bu da bir neçə dəfə optik diapazonda şüalanan fotonlardan çoxdur. Qalaktikalararası mühiddə enerjisi yalnız $\varepsilon \geq 100$

QeV olan QŞ fotonları nisbətən çox udulur. Buna səbəb İQ oblastda fon şüalanması fotonları ilə toqquşmadan elektron-pozitron cütünün yaranması prosesidir.

5.3. Kosmik QŞ qeyd olunması metodları

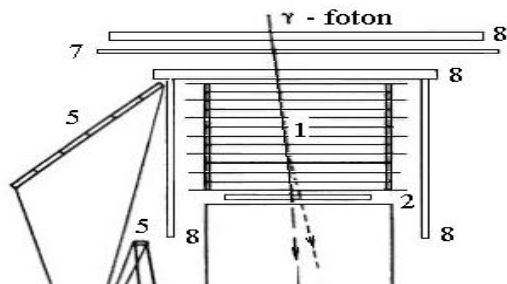
Yumşaq QŞ oblastında qamma-şüalanmanı qeyd etmək üçün mexaniki kollimatoru olan ssintilyasiya teleskoplarından istifadə olunur. Yandan düşə biləcək fon şüalanmasından qorunmaq üçün qeyri-üzvi ssintilyasiya kristallarından ibarət əks üst-üstə düşmə sayğacları tətbiq olunur. 5.3.1-ci şəkildə ssintilyasiya saygacı tətbiq olunan tipik qamma-teleskopun sxemi göstərilmişdir. Belə teleskopların bucaq ayırdetməsi təxminən 10° -dir. Daha yüksək ayırdetməni ($\sim 1-2^\circ$, enerjisi $\varepsilon \sim 1$ MeV intervalında olan fotonlar üçün) ikiqat kompton səpilməsi əsasında işləyən teleskoplarda almaq olar. Nüvə və annihilyasiya qamma şüalanma spektral xətləri ifrat təmiz qermanium kristalları əsasında işləyən yarımkeçirici spektrometrdə müşahidə olunur. Bu cihazla enerjisi $\varepsilon \sim 1$ MeV olan qamma-fotonlar üçün ~ 2 keV ayırdetmə almaq olar.



Şəkil 5.3.1. Aşağı enerjili qamma-şüalanma teleskopunun sxemi. Enerjisi 0.2-12 MeV olan qamma-fotonlar 1 NaI ssintilyasiya kristalında udulur, alınan şüalanma 2 ötürücüsü ilə 3 fotogücləndiricisinə ötürülür. 4 ssintilyasiya sayğacları teleskopun istiqamət diaqramını formalaşdırır və mərkəzi kristalı diffuz şüalanma zərrəciklərindən qoruyur. cihaz bütövlükdə plastik ssintilyatorla düşən yüklü zərrəciklərdən qorunur.

Orta enerjili QŞ fotonların müşahidəsi ciddi təcrübi çətinliklərlə bağlıdır. Belə ki, bu oblastda ssintilyasiya detektorlarının effektivliyi çox aşağıdır, qamma-fotonların təsirlə yaranan elektron-pozitron cütünün trayektoriyasını ölçmək prinsipi əsasında işləyən trek detektorları isə effektiv işləmirlər.

Sərt QŞ oblastında əsas elementi hər bir udulan γ -fotonun trayektoriyasını qeyd etməyə imkan verən trek detektorları istifadə olunur. Belə teleskoplardan birinin sxemi 5.3.2-ci şəkildə verilir.



Şəkil 5.3.2. Yüksək enerjili QŞ diapazonu teleskopunun quruluş sxemi. Enerjisi 50 MeV- 5 QeV olan qamma-fotonlar 1 qığılcımlı kamera çeviricində udulur və elektron-pozitron cütü yaradır. Yüklü zərrəciklər 2 ssintilyasiya teleskopu və 3 çerenkov sayğacından keçir, orada qığılcımlı kamera işə düşür. Qığılcım 4 televiziya kamerası və 5 güzgülər sistemi ilə qeyd olunur. 6 ssintilyasiya kolorimetrində fotonun enerjisi ölçülür. 7 –kənar zərrəciklərdən qoruyucu lövhə, 8- qoruyucu ssintilyasiya sayğaclar sistemidir.

Zərrəciklərin trayektoriyasını almaq üçün trayektoriya boyunca qaz atomlarını ionlaşdırma bilən qığılcımlı kameradan istifadə olunur. Bəzən isə bunu dreyf kameraları əvəz edir. Bu kamerada trayektoriyanın vəziyyəti elektronun dreyf müddətindən, başqa sözlə, zərrəciyin izindən qonşu elektrodlara qədər olan məsafədən asılıdır. Sərt QŞ teleskoplarında kənar zərrəcikləri qeydə almamaq üçün xüsusi sitemlər quraşdırılır. Belə teleskopun çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, sərt QŞ oblastında bucaq ayırdetməsi kiçikdir (enerjisi ~ 100 MeV olan zərrəciklər üçün, $\approx 5^\circ$). Bucaq ayırdetməsinin bir neçə dərəcə böyüdülməsi bir çox QŞ astrofiziki mənbələrinin eyniləşdirilməsinə kömək edə bilər.

Enerşisi ifratyüksək $\varepsilon \geq 10$ QeV olan fotonlar Çerenkov şüalanmasına görə qeyd olunur. Bu şüalanma yüksək enerşili fotonların atmosferdə pozitron və elektron seli tərəfindən udulması nəticəsində yaranır. Çerenkov şüalanmasını aşkar etmək üçün bu şüalanmanı fotoelektron gücləndiriciyə fokuslayan reflektordan istifadə olunur. Bu qurğularda fotonların effektiv qeyd olunma sahəsi 10^5 m^2 çatır.

5.4. Qamma-diapazonda astronomik müşahidələr

Yumşaq QŞ oblastı rentgen diapazonunun təbii davamıdır. Bu spektral zolaqda bir çox rentgen mənbələri, o cümlədən, ifratyeni ulduzların qalığı, pulsarlar (məsələn, Krabşəkilli dumanlıq və onda olan PSR 0531+21 pulsarı), aktiv nüvəli qalaktikalar (NGC 4151 və A Kentavr) və qara deşiyə namizəd obyektlər (Qu X-1) müşahidə olunmuşdur.

Günəş alışmalarında güclü QŞ müşahidə olunur. İlk dəfə 1972-ci ilin avqustunda alışmaları müşahidə edən zaman kosmik qamma-mənbələrin xətti spektri müşahidə olunmuşdur. Annihilyasiyadan alınan 511 keV enerşili xətt və enerşiləri 2.23 MeV, 4.43 MeV və 6.14 MeV olan nüvə xətləri Günəş alışmaları zamanı yüksək enerşili zərrəciklərin sürətlənmə mexanizmini müəyyən etməyə imkan vermişdir. Digər kosmik obyektlərin qamma-xətləri müşahidə olunmuşdur. Bunlardan, Qalaktikanın mərkəzi, Kentavr A radioqalaktikası, kosmik QŞ parıltısı və s. misal ola bilər. Qalaktikanın annihilyasiya şüalanması intensivliyinin dəyişən, mərkəzi nüvənin isə kompakt ~ 0.1 pk ölçülərə malik olması müəyyən olunmuşdur.

Qamma-astronomiyada ən mühüm hadisələrdən biri güclü kosmik QŞ parıltılarının kəşf olunması olmuşdur. Artıq 1981-ci ildən QŞ parıltı mənbələrinin göy sferində koordinatları təxminən $60''$ dəqiqliklə təyin olundu. Buna baxmayaraq hələ indiyədək belə parıltı mənbələri hər hansı astrofiziki obyektlərlə eyniləşdirilməmişdir. Bəzi mülahizələrə görə, qamma-parıltılar neytron ulduzları ilə əlaqədardır.

Aralıq qiymətə malik enerşili QŞ hələlik metodiki çətinliklər üzündən nisbətən pis öyrənilmişdir. Bu oblastda yeganə dəqiq müşahidə olunan mənbə Krabşəkilli dumanlıqda yerləşən PSR 0531+21 pulsarıdır.

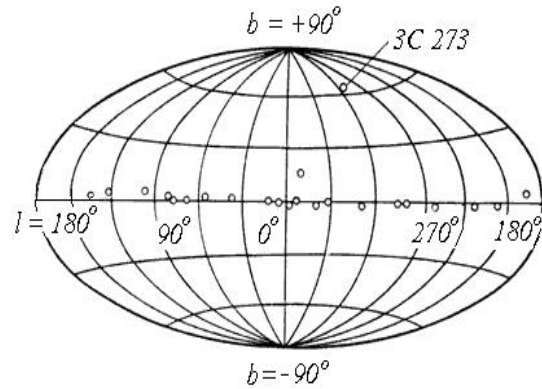
Sərt QŞ oblastı nisbətən daha yaxşı öyrənilmişdir. İlk dəfə 1968-ci ildə QŞ-in kosmik mənşəli olması ABŞ-in «OSO-3» süni peykində qurulmuş qamma-teleskop vasitəsi ilə Ağ Yolda enerşisi 100 MeV-dən böyük olan qamma-kvantları müşahidə etməklə aşkar olundu. Bundan sonra bir-birinin ardınca ABŞ-in «SAS-2»(1972-1973), «cOS-B» (1975-1982) qalaktikada diffuz QŞ-in xassələrini öyrənmişdir. Məlumdur ki, belə QŞ ulduzlararası mühitdə, nüvə və elektronlardan ibarət kosmik şüaların ulduzlararası qazla qarşılıqlı təsirindən yaranır. Diffuz QŞ-in qalaktika en və uzunluq dairəsi boyunca yayılması da kifayət qədər yaxşı öyrənilmişdir.

«SAS-2» və «cOS-B» peyklərində alınan müşahidələr enerşisi $\varepsilon \geq 100$ MeV olan diskret kosmik mənbələri də aşkar etməyə imkan vermişdir. 30-a qədər sərt QŞ mənbəyi aşkar olunmuşdur, bunların əksəriyyəti qalaktika ekvatoruna yaxın yerləşir (Şəkil 3.4.1). İndiyə qədər cəmi üç mənbə - Krabşəkilli dumanlıqda pulsar, Yelkən bürcündə və 3c273 kvazarı eyniləşdirilmişdir. Eyniləşdirilməmiş mənbələrin təbiəti hələ ki, aydın deyil. Əgər belə mənbələrə qədər məsafəni 3-4 kpk götürsək onların sərt QŞ oblastında işıqlığı 10^{35} - 10^{36} erq/san olar. Bir çox hallarda, çox güman ki, QŞ mənbəyi

kosmik şüaların zərbələrinə məruz qalan ulduzlararası buludlardır. Orion bürcü istiqamətində də güclü QŞ mənbəyi aşkar olunmuşdur.

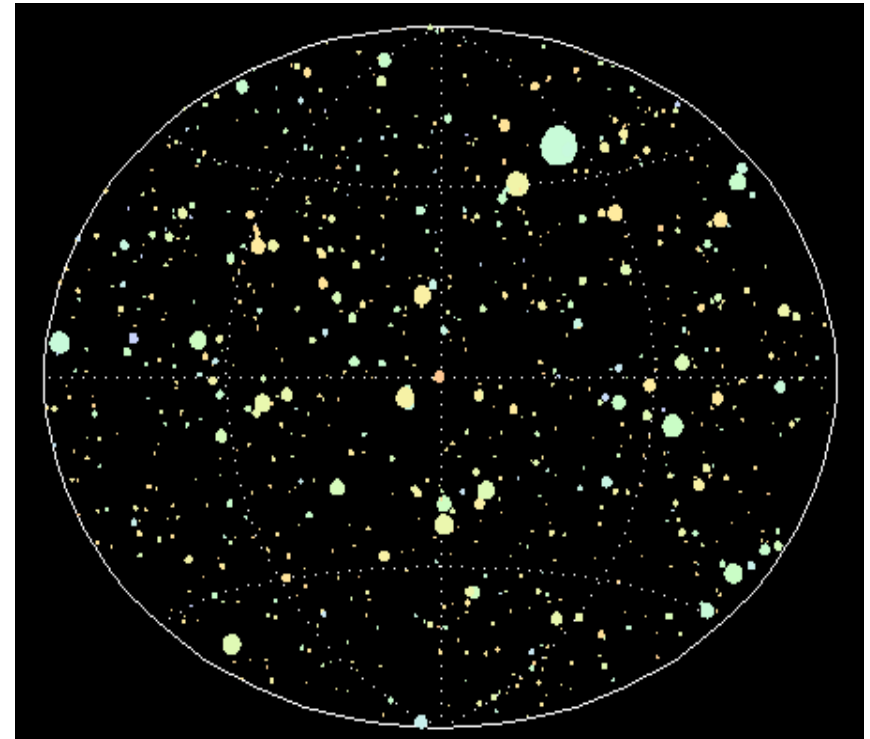
İfratyüksək enerşili QŞ oblastında müşahidə apararkən Krabşəkilli dumanlıqda və Yelkən bürcündə pulsarlar və Qu bürcündə X-3 mənbəyinin kəşfi bu tədqiqatların çox perspektivli olduğunu sübut edir.

Bundan başqa müasir astronomiyanın ən anlaşılmaz hadisələrindən biri də, QŞ oblastında müşahidə olunan qamma-parıltılardır. Təxminən sutkada bir dəfə səma qamma şüalar oblastında partlayışdan çox parlaqlaşır. Bu partlayışların səbəbi və bizdən hansı məsafədə yaranması hələ indiyədək naməlum olaraq qalır. 5.4.1 - ci şəkildə qalaktika koordinatlarında göy sferi təsvir edilmişdir. Bu sistemin başlanğıc koordinatı Ağ Yolun mərkəzindədir. Xəritədə Kompton adına rəsədxana



Şəkil 5.4.1. cOS-B peykinin müşahidələri əsasında göy sferində aşkar olunan diskret qamma-şüalanma mənbələrinin yerləşmə sxemi.

tərəfindən müşahidə olunan təxminən 800 naməlum parıltı qeyd olunmuşdur. Bu müşahidələr aparılana qədər astronomlar elə hesab edirdilər ki, qamma-parıltılar bizim Qalaktika diskində cəmlənir. Lakin şəkildən görünür ki, qamma-parıltılar bütün səma üzrə bərabər paylanmışdır. Belə qamma-parıltıların hansı məsafədən yaranması bir çox elmi konfransların müzakirə mövzusu olmaqdadır. Hazırda qamma-parıltıların koordinatları dəqiqləşdirilir. İndiyədək 2000-dən çox qamma-parıltı kataloqa salınmışdır. ABŞ Milli Kosmik Agentliyi, Kompton adına Qamma-rəsədxana tərəfindən verilmiş 5.4.2. – ci şəkildə qamma parıltı mənbələri təsvir olunmuşdur.



Şəkil 5.4.2. ABŞ Milli Kosmik Agentliyi, Kompton adına Qamma-rəsədxana tərəfindən verilmiş bu şəkildə qamma parıltı mənbələri təsvir olunmuşdur.

FƏSİL 6. KOSMİK ŞÜALANMA

6.1. Kosmik şüalar haqqında ümumi məlumat

Yer kürəsi daim kosmosdan ulduzlararası mühitdən gələn yüksək enerjili yüklü zərrəciklər seli tərəfindən zərbələrə məruz qalır. Bu zərrəciklər seli kosmik şüalanma adlanır. Bu kosmik zərrəciklər seli bəzən Günəş alışmaları zamanı kəskin şəkildə artır.

Kosmik şüalanma seyrək relyativistik qaza bənzəyir – zərrəciklər praktiki olaraq bir-biri ilə toqquşmur, bəzi hallarda ulduzlararası və ya planetlararası mühit zərrəcikləri ilə və ya maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsirdə olur. Kosmik şüalanma əsasən prtonlardan, elektronlardan, helium nüvəsindən və bəzi daha ağır elementlərin

nüvəsindən ($Z \approx 30$ –a qədər olan nüvələrdən) ibarətdir. Kosmik şüalanma tərkibində eyni bir enerjisi zolağında elektronların sayı protonların sayından yüzlərlə dəfə azdır. Bu şüalanma zərrəcikləri $E_k \approx 10^{21}$ eV çatan çox böyük kinetik enerjiyə malik olur. Kosmik şüalanmanın Yer ətrafında ümumi enerjisi çox da böyük deyil, (cəmi 1 zərrəcik/sm²san), lakin enerjisi sıxlığı bizim Qalaktika həddlərində 1 eV/sm² –ə çatır ki, bu da bütün ulduzların birgə şüalandırdığı elektromaqnit şüalar, ulduzlararası qazın şüalandırdığı istilik və turbulent hərəkət enerjisi və Qalaktikanın maqnit sahəsinin enerjisi sıxlığı ilə müqayisə oluna bilər. Ona görə də kosmik şüalanma ulduzlararası mühitdə baş verən proseslərdə çox mühüm bir rol oynamalıdır.

Kosmik şüalanmanın başqa bir xüsusiyyəti onun istilik təbiətinə malik olmamasıdır. Hətta ulduzların nüvəsində alınan maksimal $\sim 10^9$ K temperaturda belə zərrəciklərin orta istilik enerjisi $\sim 3 \cdot 10^5$ eV –ə çatır. Yer ətrafında müşahidə olunan kosmik şüalanma isə 10^8 eV və daha çox enerjiyə malikdir. Bu da onu sübut edir ki, kosmik şüalar bu enerjini spesifik elektromaqnit və plazma təbiətli astrofiziki proseslərdə əldə edir.

Kosmik şüalanmanın öyrənilməsi kosmik fəzanın müxtəlif hissələrində elektromaqnit sahələrin paylanması haqqında çox qiymətli məlumat verir. Zərrəciklərin kosmik fəzada «əldə etdikləri» informasiya onların müntəzəm müşahidələrlə zamana görə dəyişməsinin qeyd olunması və təhlili vasitəsilə «oxunur».

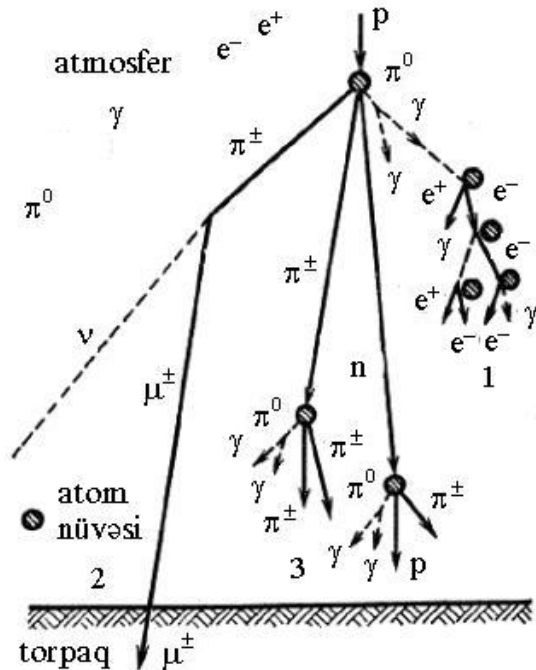
Kosmik şüalanmanın bir maraqlı cəhəti də onu təşkil edən zərrəciklərin təbii şəkildə böyük enerjiyə malik olmasıdır. Bu da elementar zərrəciklər fizikasında elementar zərrəciklərin xassələrinin öyrənilməsində əvəzedilməz bir vasitədir. Belə zərrəcikləri Yerdə əldə etmək üçün böyük xərc hesabına başa gələn çox güclü

gücləndiricilərdən istifadə olunduğu halda kosmos özü bu işi təbii şəkildə görmüşdür.

6.2. Kosmik şüaların tədqiqi metodları

Yer atmosferinə daxil olan kosmik şüalar atmosferdə zəngin olan elementləri – azotu və oksigeni parçalayaraq zəncirvari proseslə bir çox elementar zərrəciklər yaradırlar (Şəkil 6.2.1.).

Kosmik şüaların iki toqquşma arasında keçdiyi sərbəst uçuş yolu en kəsiyi 1 sm^2 olan sütundan keçən maddənin qramlarla miqdarı ilə xarakterizə olunur. Bu o deməkdir ki, başlanğıc intensivliyi I_0 olan və toqquşmadan keçən protonların sayı, qalınlığı $x \text{ q/sm}^2$ olan atmosfer təbəqəsindən keçəndən sonra



Şəkil 6.2.1. Kosmik şüalanmanın Yer atmosferi zərrəcikləri ilə qarşılıqlı təsiri sxemi. İlk proton nüvəsi azot və oksigen nüvələrini dağıdaraq ikinci mərhələ zərrəcikləri yaradır. Bu zərrəciklər şərti olaraq 3 qrupa bölünür: 1-elektron-foton, 2-mü mezon və 3- nuklon qrupları.

$$I = I_0 e^{-z/\lambda} \quad (6.2.1)$$

düsturu ilə təyin olunur. Burada λ - zərrəciyin sərbəst uçuş məsafəsidir. Kosmik şüaların əsas hissəsini təşkil edən protonlar üçün havada λ təxminən 70 q/sm^2 , helium nüvəsi üçün 25 q/sm^2 , daha ağır nüvələr üçün isə bundan da azdır. Protonlar atmosfer zərrəcikləri ilə ilk toqquşmanı (70 q/sm^2) orta hesabla 20 km yüksəklikdə həyata keçirir. Dəniz səviyyəsində atmosfer təbəqəsinin qalınlığı 10^{30} q/sm^2 –dır, yəni bu qalınlıqda protonların 15 toqquşması baş verir. Buradan aydın olur ki, heç bir toqquşma baş vermədən kosmik şüalanmanın Yer səthinə çatma ehtimalı çox kiçikdir. Yer səthində belə zərrəciklərin qeyd olunması yalnız ikinci növ zərrəciklərin çox zəif ionlaşma effektinə görə aşkar olunur.

XX əsrin əvvəllərində elektroskop və ionlaşma kameraları ilə aparılan təcrübələr nəticəsində qazlarda çox yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik şüalanma nəticəsində yaranan qalın ionlaşma aşkar olundu. Ətraf mühiti əhatə edən radioaktiv şüalanmadan fərqli olaraq bu şüalanma hətta qalın qurğuşun təbəqəsindən də asanlıqla keçirdi. Bu şüalanmanın yerdənkənar təbiətli olması 1912-1914 –cü illərdə avstriyalı fizik V.Qess və alman fiziki V.Kolxerster və b. tərəfindən hava balonlarında ionlaşma kameralarını yüksəkliyə

qaldırdıqdan sonra aşkar olundu. Bu tədqiqatçılar göstərdilər ki, Yer səthindən 4800 m yüksəklikdə bu şüalanmanın miqdarı dörd dəfə, 8400 m –də isə 10 dəfə artır. Bu şüalanmanın kosmik təbiətli olması 1923-1926 – cı illərdə ABŞ tədqiqatçısı R.Milliken tərəfindən aparılan təcrübələr nəticəsində birdəfəlik təsdiq olundu. «Kosmik şüalar» terminini də elmə məhz Milliken daxil etdi.

XX əsrin 40- cı illərinə qədər kosmik şüaların təbiəti naməlum qalırdı. Bu müddət ərzində nüvə fizikası sürətlə inkişaf edirdi və kosmik şüaların maddə ilə qarşılıqlı təsiri, toqquşmadan sonra yaranan ikinci növ zərrəciklərin təbiəti öyrənilirdi. Sayğac-teleskopların, Vilson kamerasının və nüvə fotoemulsiyasının hava balonları ilə yüksəkliklərə qaldırılması nəticəsində 1932-ci ildə pozitron, 1937-ci ildə müon və 1947-ci ildə pi-mezon kəşf olundu.

İlkin kosmik şüaların intensivliyinin və düşmə istiqamətinin Yerin maqnit sahəsi ilə sisteməlik tədqiqi göstərdi ki, əksər kosmik şüalar müsbət yüklü zərrəciklərdən ibarətdir. Bu nəticə kosmik şüaların şərq-qərb asimmetriyası nəticəsində baş verir. Yüklü zərrəciklər Yerin maqnit sahəsində döndüyündən, şərqə nisbətən qərbdən daha çox komik zərrəcik gəlir.

Fotoemulsiyanın tətbiqi 1948 - ci ildə göstərdi ki, alınan zərrəciklər dəmir də daxil olmaqla digər ağır elementlərin nüvələrinə aid edilməlidir. Kosmik şüalar tərkibində elektronların olması yalnız 1961-ci ildə stratosfer tədqiqatlarında aşkar olunmuşdur. Bununla bərabər, artıq XX əsrin 40 –cı illərindən başlayaraq kosmik şüaların zamana görə dəyişməsi problemi irəli sürüldü.

Kosmik şüaların nüvə – fiziki tədqiqatları hazırda böyük sahəyə malik sayğaclar vasitəsilə həyata keçirilir. Belə sayğaclar atmosfərə daxil olan $\epsilon_K \geq 10^{15}$ eV enerjili zərrəciklərin ilkin toqquşmadan sonra atmosferdə yaratdığı ikinci zərrəciklər leysanını təhlil edir.

Bununla yanaşı bu qurğular enerjisi spektri $\epsilon_K \sim 10^{15} - 10^{20}$ eV olan zərrəciklər haqqında məlumat verir ki, bu da kosmik şüa mənbələrinin və zərrəciklərin sürətləndirmə mexanizmlərinin aşkar olunmasına kömək edir.

Kosmik şüalanmanın kosmofiziki aspektdən öyrənilməsi, zərrəciklərin enerjisindən asılı olaraq müxtəlif metodlarla həyata keçirilir. Müxtəlif növ kosmik şüalar dünya ölkələrinin birgə yaratdığı neytron monitorlar şəbəkəsində, sayğac-teleskoplarda və digər detektorlarda öyrənilir. Qeyd edək ki, yerüstü detektorlar atmosferdə udulma səbəbindən enerjisi $\epsilon_K < 500$ MeV olan zərrəcikləri hiss etmir. Ona görə belə zərrəcikləri müşahidə etmək üçün cihazları zond balonlarla 30-35 km yüksəkliyə stratosferə qaldırırlar.

Enerjisi $\epsilon_K = 1500$ MeV olan zərrəcikləri qeyd etmək üçün geofiziki raketlər və yerin süni peykləri istifadə olunur. Planetlərarası mühitin kosmik şüalanması ekliptika müstəvisi boyu Günəşdən təxminən 10 a.v. məsafəyə qədər öyrənilə bilər.

Bir çox hallarda kosmik şüaların öyrənilməsində kosmogen izotoplar metodu qiymətli məlumat verməkdədir. Belə izotoplar kosmik şüaların metoritlərlə, habelə Ay və ya planetlərin səthindən qalxan kosmik tozla, Yer atmosferi və yerüstü maddələrlə qarşılıqlı təsir zamanı meydana gəlir. Kosmogen izotoplar kosmik şüalanmanın keçmişdəkinə nisbətən dəyişməsi və günəş-yer əlaqəsi haqqında məlumat daşıyır. Məsələn, ağacın gövdəsindəki illik həlqələrində ^{14}C radiokarbonun miqdarına görə son bir neçə min il ərzində kosmik şüaların dəyişməsini öyrənmək olar. Meteoritlərdə, Ay suxurunda, dənizin çox dərin qatlarında olan daha uzunömürlü izotopların (^{10}Be , ^{26}Al , ^{53}Mn və s.) öyrənilməsi kosmik şüaların milyonlarla illər ərzində dəyişməsini tədqiq etməyə imkan verir.

6.3. Yer səthində kosmik şüalanma

Kosmik şüalanmanın əsas xarakteristikaları zərrəciklərin tərkibinin kütlə və yükünə görə paylanması, zərrəciklərin enerşiyə görə paylanma spektri və anizotropiya dərəcəsi – gəlmə istiqamətinə görə paylanmasıdır. 6.3.1-ci cədvəldə kosmik şüaların nisbi tərkibi verilmişdir.

6.3.1-ci cədvəldən görünür ki, qalaktika mənşəli kosmik şüalanma tərkibində Günəş və ulduzlara nisbətən çox böyük miqdarda yüngül nüvəli ($Z=3-5$) zərrəciklər vardır. Bundan başqa orada həm də ağır nüvələrin sayı çox böyükdür ($Z \geq 20$). Bu iki fərq kosmik şüaların mənşəyini aşkar etməyə kömək edir.

6.3.2-ci cədvəldə kosmik şüalarda müxtəlif kütləli zərrəciklərin nisbi sayı verilir. cədvəldən görünür ki, ilkin kosmik şüalanma zərrəciklərinin 90%-i yalnız protonlardan ibarətdir. α -zərrəciklər 7%, elektronlar ~1%, ağır nüvələr təxminən 1%-dən azdır. Bu rəqəmlər enerşisi ≥ 2.5 QeV/nuklon olan zərrəciklər üçündür. Ölçmələr Günəş aktivliyinin minimumu halında müşahidə olunan enerşi spektrinin, ulduzlararası mühitdə kosmik şüaların modullaşmamış spektri qədər olduğu hal üçün aparılmışdır.

Kosmik şüaların inteqral enerşi spektri

$$I(> \epsilon_K) = I_0 \epsilon_K^{-(\gamma+1)} \quad (6.3.1)$$

[zərrəcik/(sm²s MeV)] enerşisi ϵ_k olan I zərrəciklər sayını göstərir. Burada I_0 –normallaşdırıcı sabit, $\gamma+1$ spektrin göstəricisidir. Mənfi

işarəsi spektrin azalma xarakterini göstərir, yəni ϵ_k artdıqca kosmik şüaların intensivliyi artır. Bir çox hallarda kosmik şüaların spektrinin diferensial formada ifadəsindən istifadə olunur:

cədvəl 6.3.1. Kosmik şüalanmanın Günəşdə, ulduzlarda və Qalaktikada orta nisbi paylanması.

Element	Günəş k.ş.	Günəş (fotosfer)	Ulduzlar	Qalaktika k.ş.
¹ H	4600*	1445	925	685
² He (α -çastiüa)	70*	91	150	48
³ Li	?	<10 ⁻⁵	<10 ⁻⁵	0.3
⁴ Be- ⁵ B	0.02	<10 ⁻⁵	<10 ⁻⁵	0.8
⁶ C	0.54*	0.6	0.26	1.8
⁷ N	0.20	0.1	0.20	≤0.8
⁸ O**	1.0*	1.0	1.0	1.0
⁹ F	<0.03	10 ⁻³	<10 ⁻⁴	≤0.1
¹⁰ Ne	0.16*	0.054	0.36	0.30
¹¹ Na	?	0.002	0.002	0.19
¹² Mg	0.18*	0.05	0.040	0.32
¹³ Al	?	0.002	0.004	0.06
¹⁴ Si	0.13*	0.065	0.045	0.12
¹⁵ P- ²¹ Sc	0.06	0.032	0.024	0.13
¹⁶ S- ²⁰ Ca	0.04*	0.028	0.02	0.11

$^{22}\text{Ti}-^{28}\text{Ni}$	0.02	0.006	0.033	0.28
^{26}Fe	0.15*	0.05	0.06	0.14

Qeyd: *-la işarə olunmuş verilənlər, enerjisi 1-20 MeV/nuklon olan zərrəciklər, qalan rəqəmlər enerjisi ≥ 40 MeV/nuklon olan zərrəciklər üçündür. cədvəldəki rəqəmlərin dəqiqliyi 10-50% arasında dəyişir. Oksigen kimyəvi tərkibi 1 götürülmüşdür. Sual işarəsi naməlum qiymətləri göstərir.

cədvəl 6.3.2. Enerjisi $\varepsilon \geq 2,5$ QeV/nuklon olan bəzi kosmik şüaların nisbi tərkibi və bəzi xarakteristikaları.

Qrup	Qrupa daxil olan zərrəciklər	Nüvə yükü	Orta atom kütlə ədədi a.k.v.	İntensivlik, zərrəciyin sayı, ($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$)	Hər 10 min protona düşən zərrəciklərin sayı	Qalaktika və ulduzlarda orta hesabla
p	Protonlar	1	1	1300	10000	10000
α -zərrəcik nüvələri	Helium	2	4	94	720	1600
L	Yüngül nüvələr	3-5	10	2.0	15	10^{-4}
M	Orta nüvələr	6-9	14	6.7	52	14
H	Ağır	≈ 10	31	2.0	15	6

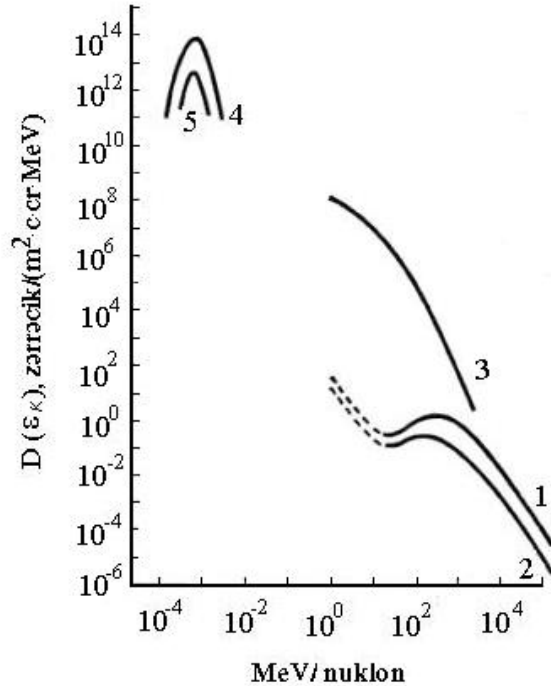
	nüvələr					
VH	Çox ağır nüvələr	≥ 20	51	0.5	4	0.06
SH	Ən ağır nüvələr	> 30	100	$\sim 10^{-4}$	$\sim 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-5}$
e	Elektronlar	1	1/1836	13	100	10000

$$D(\varepsilon_K) = D_0 \varepsilon_K^{-7} \quad (6.3.2)$$

[zərrəcik/($\text{sm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{MeV}$)], bu kəmiyyət 1 MeV intervala düşən zərrəciklərin sayının ε_k enerjisindən asılılığını ifadə edir.

Diferensial spektr inteqral spektrə nisbətən kosmik şüaların enerjisi spektrində daha incə detalları aşkar etməyə imkan verir. Məsələn, 2.3.1-ci şəkildə Yer yaxınlığında enerjisi 10^6 –dan $3 \cdot 10^{11}$ eV arasında müşahidə olunan kosmik şüaların diferensial spektri göstərilir. Göstərilən intervalda müşahidə olunan kosmik şüalar Günəş aktivliyinin təsirinə məruz qalır, ona görə enerjisi 10^6 –dan $3 \cdot 10^{11}$ eV intervalında olan şüaların öyrənilməsi kosmik şüaların ulduzlararası mühitdən planetlararası maqnit sahəsinin təsiri ilə planetlararası mühitə daxil olması məsələlərini öyrənməyə imkan verir.

Atmosferdən və maqnitosferdən kənar kosmik şüaların müşahidəsinə qədər enerjisi $\varepsilon_k \leq 10^9$ eV olan kosmik şüaların diferensial spektri aydın hesab olunurdu: Yer yaxınlığında spektr



Şəkil 6.3.1. Yer orbiti yaxınlığında kosmik şüaların planetlərarası diferensial paylanma spektri. 1-protonlar; 2 - α zərrəciklər, 3 –Günəş alışmasının protonları. Müqayisə üçün 4 və 5 ayrılırları ilə, uyğun olaraq, protonların və α -zərrəciklərin Günəş külüyündə olan spektri verilir.

$\varepsilon_k \approx 400$ MeV/nuklon intervalında maksimuma malikdir, ulduzlararası mühitdə modullaşmamış spektr üstlü funksiya formasındadır. Planetlərarası mühitdə kiçik enerjili Qalaktika mənşəli kosmik şüalanma olmamalıdır. Lakin gözlənilmədən kosmik şüaların birbaşa ölçülməsi göstərdi ki, təxminən $\varepsilon_k \approx 30$ MeV və ondan aşağı enerjilərdə kosmik şüalanmanın intensivliyi yenə artır, spektrdə xarakterik əyilmə aşkar olunur. Çox ehtimal ki, bu əyilmə kosmik şüaların $\varepsilon_k \approx 10^7$ - 10^8 eV intervalında güclü modulyasiyasının nəticəsidir. Çünki bu halda planetlərarası maqnit sahəsinin qeyri bircinsliyi nəticəsində zərrəciklərin effektiv səpilməsi çox yüksəkdir.

Enerjisi $\varepsilon_k \geq 3 \cdot 10^9$ eV olan kosmik şüaların spektri artıq modulyasiyaya məruz qalmır və $\varepsilon_k \approx 3 \cdot 10^{15}$ eV-ə qədər meyl $\gamma \approx 2.7$ olur. Bu nöqtədə spektr əyilməyə məruz qalır və tərtib $\gamma = 3.2$ - 3.3 -ə qədər artır. Bu zaman kosmik şüaların tərkibində ağır nüvələrin artması müşahidə olunur. Lakin hələlik bu intervalda kosmik şüaların tərkibi haqqında məlumat çox azdır. Enerjisi $\varepsilon_k > 10^{19}$ - 10^{20} eV olan zərrəciklər üçün spektr kəskin kəsilir, çünki zərrəciklər qalaktikalararası mühitə gedir və mikrodalğalı fon şüalanmasının fotonları ilə qarşılıqlı təsirdə olur.

İfratyüksək enerjili zərrəciklər seli çox kiçikdir. Məsələn, 10 km^2 sahədə enerjisi $\varepsilon_k \approx 10^{20}$ eV olan cəmi bir zərrəcik olur. Enerjisi $\varepsilon_k \approx 10^{11}$ - 10^{15} eV olan zərrəciklər üçün 0.1% dəqiqliklə yüksək izotropluq müşahidə olunur. Daha yüksək enerjilərdə anizotropluq artır və $\varepsilon_k \approx 10^{19}$ - 10^{20} eV intervalında bir neçə faizə çatır. 0.1% -li anizotropluğun 19 saat ulduz vaxtına uyğun maksimumu kosmik

şüaların qalaktika spiral qolları istiqamətində maqnit sahəsinin istiqamətinə uyğundur.

6.4. Kosmik şüaların mənşəyi

Yüksək izotropluğa görə kosmik şüaların Yer yaxınlığında müşahidəsi onun fəzada paylanması haqqında fikir deməyə imkan vermir. Bu sualın cavabı yalnız sinxrotron radioşüalanma diapazonu $\nu \sim 10^7 - 10^9$ hs kəşf olunduqdan sonra radioastronomiya tərəfindən verilmişdir. Bu şüalanma çox yüksək sürətli elektronların qalaktika maqnit sahəsində hərəkəti zamanı yaranır.

Şüalanmanın maksimumuna uyğun tezlik maqnit sahəsinin intensivliyi və elektronun enerjisi ilə bu münasibətlə bağlıdır:

$$\nu = 4,6 \cdot 10^{-6} c_K^2 \cdot H \sin \theta \quad (6.4.1)$$

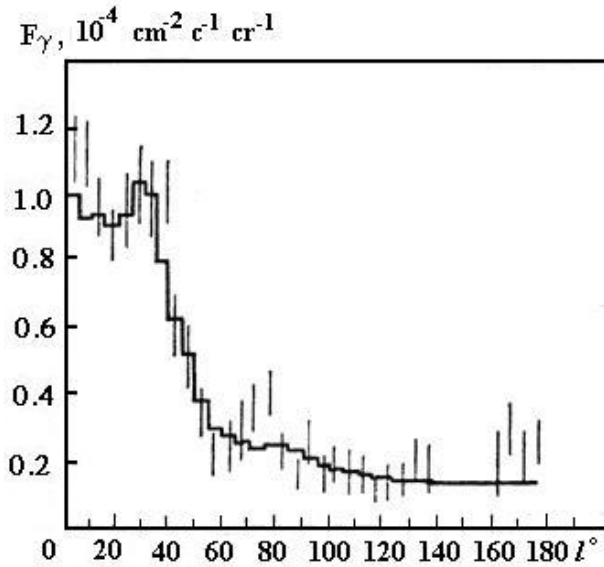
Burada θ - elektronun pitç-bucağıdır (elektronun sürət istiqaməti ilə H maqnit vektoru arasındakı bucaqdır). Qalaktikanın maqnit sahəsi bir neçə metodla ölçülmüşdür və $(2-7) \cdot 10^{-6} E$ (Ersted) təşkil edir. Orta hesabla $H=3 \cdot 10^{-6} E$ və $\sin \theta = 0,5$, $\epsilon_k \sim 10^9-10^{10}$ eV, yəni radioşüalandıran elektronların enerjisi Yer yaxınlığında müşahidə olunan kosmik şüaların böyük hissəsinin enerjisi qədər olmalıdır. Bu elektronlar kosmik şüalanmanın bir komponenti olub bütün qalaktikanı və onun qalosunu əhatə edən böyük bir fəzanı tutur. Ulduzlararası fəzada elektronlar digər yüksəkenerjili zərrəciklər – protonlar və ağır nüvələr kimi hərəkət edir. Elektronların kütləsi nisbətən kiçik olduğundan, onlar ağır nüvələrdən fərqli olaraq intensiv şəkildə radioşüalanma verir və özlərini qalaktikanın ən ucqar yerlərində kosmik şüalanmanın indikatoru kimi göstərir.

Qalaktikanın ümumi sinxrotron şüalanmasından başqa bu şüalanmanın diskret mənbələri də aşkar olunmuşdur. Bunlar ifratyeni ulduzlar, Qalaktika nüvəsi, radioqalaktikalar və kvazarlardır. Təbii olaraq gözləmək olar ki, bütün bu mənbələr kosmik şüalanma yaradır.

XX əsrin 70-ci illərinə qədər hesab edirdilər ki, enerjisi $\epsilon_k > 3 \cdot 10^{15}$ eV olan kosmik şüalar əsasən qalaktikalararası mənşəyə malikdir. Belə hesab olunurdu ki, enerjisi 10^{21} eV dən çox olan zərrəciklər üçün qalaktikada heç bir mənbə yoxdur, həmçinin belə zərrəciklər olsa da belə, o mühitdə dayanıqlı ola bilməz, çünki elə bir mənbə yoxdur ki, onları orada saxlasın. 1967-ci ildə pulsarlar kəşf olunduqdan sonra hətta çox ağır nüvələrin də ifratyüksək enerjiliyə qədər sürətləndirilməsi mexanizmi aşkar oldu. Digər tərəfdən, alınan nəticələr göstərdi ki, Yer yaxınlığında müşahidə olunan elektronlar Qalaktikada toplanır. Proton və digər ağır nüvəli zərrəciklərin mənşəyinin də elektronlarınki ilə eyni olması ehtimal edilir. Beləliklə, kosmik şüaların qalaktika mənşəli olması haqqında nəzəriyyə özünü doğruldur.

Bu nəzəriyyənin dolayısı ilə təsdiqi kosmik γ - şüalanma mənbələrinin göy sferində paylanmasından alınmışdır. Bu şüalanma kosmik şüaların ulduzlararası qazla toqquşması nəticəsində yaranmış π^0 – mezonların parçalanması zamanı və sonda relyativistik elektronların ulduzlararası qazla tormozlanma şüalanması nəticəsində yaranır. Qamma şüalara maqnit sahəsi təsir etmədiyindən onların gəlmə istiqaməti birbaşa mənbənin istiqamətini göstərir. Günəş sistemində müşahidə olunan təxminən izotrop paylanmış kosmik şüalanmadan fərqli olaraq, qamma-şüalanmanın fəza paylanması çox qeyri-bərabər və qalaktika boyunca ifratyeni ulduzların paylanmasına bənzər şəkildədir (şəkil 6.4.1). Müşahidə nəticələrinin göy sferində

qamma-şüalanma mənbələrinin paylanması ilə yaxşı üst-üstə düşməsi göstərir ki, kosmik şüalanmanın əsas mənbəyi ifratyeni ulduzlardır.



Şəkil 6.4.1. Şaquli xətlərlə F_λ qamma şüalanma selinin Qalaktikanın l uzunluq dairəsindən asılılığı verilir. Kosmik şüalanmanın əsas mənbəyinin ifratyenilərin partlayışından sonra alınan qalıq şüalanma olduğunu hesab edən nəzəriyyənin nəticəsi müqayisə üçün bütöv xətlə verilir.

Kosmik şüaların yaranma nəzəriyyəsi bu şüaların nəinki qalaktikada yarandığını, həm də bu şüalanmanın uzun müddət bu mühitdə

qalmasının və tədricən qalaktikalararası mühitə çıxmasının mümkünlüyünü iddia edir. Əgər kosmik şüalar düzxətli hərəkət etsəydi, onda onlar yaranandan cəmi bir neçə min il sonra qalaktikanı tərk edərdi. Qalaktika miqyasında bu zaman kəsiyi o qədər azdır ki, belə itirilmənin yerini doldurmaq mümkün olmazdı. Lakin maqnit qüvvə xətləri ilə qarışıq formada dolanmış ulduzlararası mühitdə, kosmik şüalanmanın hərəkəti qazlarda molekulların diffuziyasına bənzər şəkildə çox mürəkkəbdir. Nəticədə kosmik şüaların qalaktikadan çıxma müddəti düzxətli hərəkətə nisbətən minlərlə dəfə çox olur. Bu deyilənlər əsasən enerjisi $\epsilon_k < 3 \cdot 10^{16}$ eV olan əksər kosmik şüalara aid edilməlidir. Sayca daha az olan daha yüksək enerjili zərrəciklər qalaktikanın maqnit sahəsində daha az meyl edirlər və Qalaktikanı daha tez tərk edirlər.

Kosmik şüaların tərkibini öyrənməklə onların qalaktikanı tərk etmə müddəti haqqında daha etibarlı nəticə almaq olar. Kosmik şüaların tərkibində Li, Be, B kimi yüngül nüvələr üstünlük təşkil edir. Onlar əsasən daha ağır nüvəli kosmik şüaların ulduzlararası qazla, xüsusilə də hidrogenlə toqquşması nəticəsində yaranır. Yüngül nüvələrin müşahidə olunan miqdarda yaranması üçün kosmik şüalar ulduzlararası mühitdə 3 q/sm qalınlığında maddədən keçməlidir. Ulduzlararası qazın paylanması haqqında və ifratyeni ulduzların qalıqlarına görə kosmik şüaların müəyyən olunan yaşı 30 milyon ildən çox deyildir.

Kosmik şüalanmanın əsas mənbəyinin ifratyeni ulduzlar olmasını radio, rentgen və qamma-astronomiya da təsdiq edir. Bundan başqa, ifratyenilərin alışıması zamanı baş verən enerji ayrılması da bunu təsdiq edir. İfratyeni ulduz alışarkən atılan böyük miqdarda qazşəkilli maddə partlayan ulduz ətrafında çox böyük sürətlə genişlənən parlaq örtük yaradır. Şüalanma enerjisi və atılan qazın kinetik enerjisi

şəklində alışmanın tam enerjisi $10^{51} - 10^{52}$ erqə çata bilər. Son məlumatlara görə bizim Qalaktikada hər 100 ildə yalnız bir ifratyeni ulduz alışma verir. Ayrılan 10^{51} erq enerjisini həmin vaxta görə paylaşaq onda alışmaların orta gücü $3 \cdot 10^{41}$ erq/san təşkil edir. Digər tərəfdən, komik şüaların hazırda müşahidə olunan sıxlığını ($1 \text{ eV/sm}^3 = 1.6 \cdot 10^{-12}$ erq/ sm^3) almaq üçün kosmik şüaların qalaktikadakı gözlənilən yaşı $3 \cdot 10^7$ il ərzində kosmik şüaların gücü 10^{40} erq/san olmalıdır. Buradan alınır ki, kosmik şüaların hazırkı enerjisi sıxlığını saxlamaq üçün ona ifratyeni ulduzun alışma enerjisinin cəmi bir neçə faizini vermək kifayətdir.

Bununla bərabər, qeyd etmək lazımdır ki, radioastronomiya yalnız radioşüalanı elektronları aşkar etməyə imkan verir. Ona görə də ifratyenilərin alışması zamanı kifayət qədər proton və digər ağır nüvələrin yaranmasını birqiyəmətli təsdiq etmək olmaz. Ona görə də digər mümkün kosmik şüa mənbələrinin axtarılması hələ də aktualdır. Bu mənada pulsarlar və qalaktikanın nüvəsi böyük maraq kəsb edir. Hesab olunur ki, pulsarlarda zərrəciklər ifratyüksək enerjiyə qədər sürətləndirilə bilər. Qalaktika nüvələrində isə alışmaların miqyası ifratyeni ulduzların alışmasındakından da böyükdür. Buna baxmayaraq, hal-hazırda ifratyeni ulduzların alışması kosmik şüaların əsas mənbəyi hesab edilir.

6.5. Kosmik şüaların sürətlənmə mexanizmi

Kosmik şüanı təşkil edən zərrəciklərin $\sim 10^{21}$ eV enerjiyə qədər sürətləndirilmə mexanizmi hələ indiyədək tam detallarına qədər aydın deyil. Lakin sürətlənmə prosesinin ümumi mənzərəsi artıq elmə

bəllidir. Adi ionlaşmamış qazlarda zərrəciklər arasında enerjisi paylanması onların öz aralarında toqquşması nəticəsində yaranır. Seyrəkləşmiş kosmik plazmada zərrəciklər arasında toqquşmalar çox az rol oynayır. Belə zərrəciyin enerjisinin dəyişməsi onu əhatə edən digər plazma zərrəciklərinin yaratdığı elektromaqnit sahələri ilə həmin kosmik zərrəciyin qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranır.

Adi şəraitdə plazmanın orta istilik enerjisindən çox enerjisi olan zərrəciklərin sayı çox az olur. Ona görə də komik zərrəciyin sürətlənməsi praktiki olaraq istilik enerjisindən başlayır. Elektrik cəhətdən neytral olan kosmik plazmada verilən sahənin bütün nöqtələrində potensiallar fərqi sıfır olduğundan orada zərrəcikləri sürətləndirə bilən hər hansı sabit elektrostatik sahənin olması istisna edilir. Lakin plazmada impulsiv və ya induksiya xarakterli elektrik sahəsi yarana bilər. Məsələn, impulsiv elektrik sahəsi neytral cərəyan təbəqəsinin əksqütblü maqnit sahəsi ilə toxunan hissəsində dağıdılması nəticəsində yaranır. İnduksiya elektrik sahəsi maqnit sahəsinin zamana görə artması nəticəsində baş verir (betatron effekti). İmpulsiv sahələrdən başqa sürətlənmənin başlanğıc mərhələsi sürətləndirilən zərrəciklərin intensiv turbulent hərəkəti oblastlarında plazma dalğaları ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranır.

İmpulsiv və induksiya xarakterli elektrik sahələrindən fərqli olaraq plazma dalğaları ilə sürətləndirmə statistik xarakter daşıyır. Turbulentli plazmada müxtəlif faza sürətlərinə malik çoxlu sayda dalğa vardır. Belə plazmada həmişə sürətləri elektronların istilik hərəkəti sürəti v_t ilə $v > v_t$ kimi münasibətdə olan kifayət sayda dalğa vardır ki, belə zərrəciklərlə aktiv qarşılıqlı təsirdə olur. Plazma dalğalarının effektiv temperaturu plazma zərrəciklərinin temperaturundan bir neçə tərtib çoxdur. Ona görə də belə zərrəciklərin plazma dalğaları ilə qarşılıqlı təsirindən temperaturların

bərabərləşməsi üçün kosmik zərrəciklərin sürəti çox böyük qiymətə qədər artmalıdır.

Ümumiyyətlə, kosmosda, çox güman ki, konkret şəraitdən asılı olaraq müxtəlif ardıcılıqla, müxtəlif kombinasiyalarda işləyən sürətləndirmə mexanizmləri vardır. İmpulsiv elektrik sahəsi və ya plazma turbulentiyyə mexanizmləri sonradan induksiya (betatron) mexanizmi və ya Fermi mexanizmi ilə sürətləndirməyə şərait yaradır.

Zərrəciklərin kosmosda sürətlənməsi mexanizmlərinin bəzi cəhətləri plazmanın maqnit sahəsində xassələri ilə bağlıdır. Kosmik maqnit sahələri fəzanın çox böyük bir həcmində yayılmışdır. Yüku Ze və impulsu p olan zərrəcik H maqnit sahəsində ani əyrilik radiusu

$$\rho = cp / (300H \cdot Ze \cdot c \sin \theta) = R / (300Hc \sin \theta) \quad (6.5.1)$$

olan əyrixətli trayektoriya ilə hərəkət edir. Burada

$$R = cp / Ze$$

- (voltlarla ölçülür) zərrəciyin maqnit sərtliyi, θ - zərrəciyin pitç-bucağıdır. Əgər sahə ρ ilə müqayisə olunacaq məsafələrdə az dəyişirsə, onda zərrəciyin trayektoriyası maqnit sahəsinin qüvvə xətlərinə dolanan spiral şəklində olar. Bu halda qüvvə xətləri sanki plazmaya «bərkidilmiş» olur və nəticədə plazmanın istənilən hissəsinin yerdəyişməsi maqnit sahəsinin qüvvə xətlərinin deformasiyasına və yerdəyişməsinə gətirib çıxarır. Əgər plazmada, məsələn, ifratyeni ulduzların alışması kimi, kifayət qədər güclü hərəkət baş verərsə, onda belə pərakəndə hərəkətdə olan hissələrin sayı çox olacaqdır. Əyanilik üçün onları bir-birinə nisbətən böyük sürətlərlə hərəkət edən buludlar kimi təsvir etmək olar. Plazmanın

əsas kütləsi buludla birlikdə hərəkət edir. Lakin əyrilik radiusu buludun ölçüsü ilə müqayisə oluna bilən az sayda enerjisi böyük olan zərrəciklər buludda qala bilmirlər. Bu zərrəciklər buludun maqnit sahəsində yalnız meyli edir, onların sanki buludla toqquşması və səpilməsi baş verir. Belə şəraitdə zərrəcik effektiv şəkildə bütöv buludla enerji mübadiləsi edir. Lakin buludun kinetik enerjisi olduqca böyükdür, ona görə zərrəcik buludu tərk edəndə qədər çox böyük enerji əldə edə bilər. Bu statistik sürətlənmə mexanizmi 1949-cu ilə E.Fermi tərəfindən verilmişdir.

Analoji olaraq zərrəciklərin güclü zərbə dalğası ilə qarşılıqlı təsiri zamanı (planetlərarası mühətdə) da sürətlənmə yarana bilər. Məsələn, xüsusi halda, iki zərbə dalğasının yaxınlaşması zamanı əksətirici maqnit «güzgüsünün» yaranması zərrəciklərin sürətlənməsini təmin edə bilər.

Bütün sürətləndirmə mexanizmləri kosmik şüaların elə spektrini yaradır ki, zərrəciklərin enerjisinin artması ilə onların sayı azalır. Sürətləndirmə mexanizmlərinin oxşar cəhəti elə yalnız bundan ibarətdir. Uzun müddət intensiv nəzəri və təcrübi tədqiqatlar aparılmasına baxmayaraq, hələlik kosmik zərrəciklərin yük tərkibini və spektrinin bütün xüsusiyyətlərini izah edən universal mexanizm və ya kombinə olunmuş mexanizm tapılmamışdır. Məsələn, impulsiv E elektrik sahəsi mexanizmində R sərtliyinin artım sürəti $dR/dt = cE$ kimi təyin olunur, başqa sözlə, zərrəciyin ilkin maqnit sərtliyindən asılı deyildir. Bu halda E elektrik sahəsinin təsir oblastındakı bütün zərrəciklər sürətlənər, və onların tərkibi çıxdıqları plazmanın tərkibi ilə təyin olunacaqdır. Spektr isə $D(R) \sim \exp(-R/R_0)$ şəklində olar. Burada R_0 spektrin xarakteristik sərtliyidir.

Plazma dalğaları ilə sürətlənmədə yalnız istilik enerjisindən bir neçə dəfə böyük enerjili zərrəciklər sürətlənə bilər. Belə zərrəciklərin

sayı elə də az deyil, lakin sürətlənmə şərti güclü sürətdə zərrəciklərin növündən asılı olacaqdır. Bu da sonda ilkin plazmaya nisbətən zərrəciklərin tərkibinin çox fərqlənməsinə gətirir. Sürətlənmiş prtonların spektri bu zaman yenə də $\exp(-R/R_0)$ kimi təsvir oluna bilər.

Əsas prinsipi hərəkətin adiabatik invariantını saxlamaq olan betatron mexanizmində

$$p^2 \sin \theta / H = \text{const} \quad (6.5.2)$$

olduğundan spektr

$$D(R) \sim R^{-\gamma} \quad (6.5.3)$$

üstlü funksiyası ilə təyin olunur. Bu mexanizm zərrəciklərin növünə görə həssas deyil, lakin onun effektivliyi zərrəciyin maqnit sərtliyi ilə mütənasibdir ($dR/dt \sim R$), yəni bu mexanizmin işə düşməsi üçün ilkin sürətləndirilmə zəruridir.

Fermi sürətləndirmə mexanizmi

$$D(\varepsilon_k) \sim \varepsilon_k^{-\gamma} \quad (6.5.4)$$

tərtibli energetik spektr verir, lakin bu mexanizm zərrəciklərin növünə görə həssasdır. Kosmik plazmada zərbə dalğaları ilə sürətləndirmə də tərtibli energetik spektrə gətirib çıxarır və bu zaman $\gamma=2.5$ olur. Bu da kosmik şüalar üçün müşahidə olunan spektrlə çox yaxşı üst-üstə düşür. Beləliklə, kosmik zərrəciklərin sürətləndirilməsi

nəzəriyyəsi müşahidə olunan spektrlərin birmənalı izahını verə bilmir.

Maqnit sahəsinin sıfır xətləri yaxınlığında impulsiv elektrik sahələri ilə sürətləndirmə prosesləri Günəş alışmaları zamanı müşahidə olunur. Bu zaman bir neçə dəqiqə ərzində bir neçə QeV enerşiyə qədər sürətlənən zərrəciklər müşahidə olunur. Pulsarların yaxınlığında, ifratyeni ulduzların örtüyündə, Qalaktikada və qalaktikadankənar obyektlərdə bu proses zərrəciklərin əsas sürətləndirici mexanizm rolunu oynaya bilər.

Müxtəlif müşahidələr göstərir ki, kosmik plazmada zərrəciklərin sürətləndirilməsi qeyri-bircins hərəkət və maqnit sahəsinin olduğu hər yerdə mümkündür. Lakin həm sayca çox, həm də daha yüksək enerşili zərrəciklər yalnız o zaman yaranar ki, orada plazmaya çox böyük kinetik enerşi verilsin. Bu da məhz ifratyeni ulduzlarda alışma zamanı, və ya kvazarlarda və radioqalaktikalarda aktivlik zamanı baş verə bilər.

FƏSİL 7. FON ŞÜALANMASI

7.1. Kainatın fon şüalanması

Kainatın fon şüalanması (KFŞ) Yerə yaxın mənbələr (Yer atmosferi, Qalaktika şüalanması və s.) tərəfindən təhrif olunmayan elektromaqnit şüalanmalardır. Geniş görüş sahəsinə malik cihazlar kosmosa – qalaktikalararası mühitə çıxarıla bilsəydi, fon şüalanmasını qeyd edə bilərdi. Bu iş praktikada mümkün olmadığı üçün astronomlar KFŞ-nı yerüstü və atmosferdənkənar cihazlarla

müşahidə edirlər. Ona görə də fon şüalanmasının onun diffuz (səpilən) komponentindən ayrılması çox çətin bir məsələdir.

Çox hallarda hər hansı konkret obyektədən gələn siqnalı ayırarkən siqnalı təhrif edən bütün maneələr fon adlanır. Bunlar qəbuledicinin məxsusi küyləri, kosmik şüalanma nəticəsində rentgen sayğaclarında yaranan siqnallar, kiçik bucaq ölçülü KFŞ mənbələri və i.a. ola bilər. KFŞ bu mənada ümumiyyətlə fondan prinsipial şəkildə fərqlənir.

KFŞ tədqiq olunması böyük elmi əhəmiyyət daşıyır, çünki o bütün Kainatı dolduran şüalanmadır. Bundan başqa, KFŞ bir çox ayrılmaz diskret mənbələrin şüalanması haqqında informasiya verə bilər, bu da belə mənbələrin xassələrini öyrənməyə imkan yaradır.

KFŞ-nın tədqiqində ilk problem optik diapazonda gecə səmasının parlaqlığının öyrənilməsi olmuşdur. Bununla əlaqədar olaraq elm tarixinə «Olbers paradoksu» (1826-cı il) kimi daxil olan sadə kosmoloji test formalaşmışdır: sonsuz bircins qərarlaşmış Kainatda istənilən görüş şüası bizə ulduzun səthini göstərməlidir. Başqa sözlə, bütün səma Günəş diskinin parlaqlığı qədər parlaqlığa malik olmalıdır. Aydın ki, bu təsəvvürlər bizim gündəlik həyatda rastlaşdığımız hadisələrlə ziddiyyət təşkil edir – səmanın parlaqlığı optik diapazonda çox kiçikdir. Olbers paradoksu müasir Kainat modellərində öz həllini tapmışdır. Qalaktikalar təxminən 10 milyard il əvvəl yaranmışdır. Kainatda ulduzların sayına görə sıxlığı o qədər azdır ki, kosmoloji üfüqdə ($c \cdot t \sim 10^{28}$ sm) səmanın ulduzlarla örtülən hissəsinin payı çox azdır. Bundan başqa, böyük məsafələrdə qırmızı sürüşmə nəticəsində ulduzların spektri İQ diapazona doğru sürüşür, nəticədə ulduzlar optik diapazonda səma parlaqlığına heç bir şüalanma verə bilmirlər.

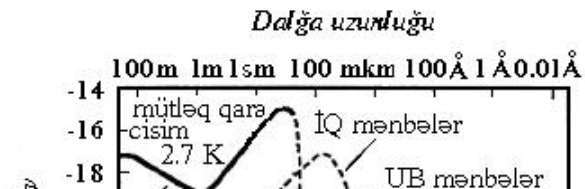
Gecə səmasının parlaqlığının dəqiq öyrənilməsi qalaktikaların təkamül nəzəriyyələrinə, onların parlaqlığının dəyişməsinə, xüsusilə

onların «cavanlıq» mərhələlərinə çox sərt məhdudiyyətlər qoyur. Əslində burada intensivliyi ən azı 100 dəfə gecə səmasından az olan KFŞ-ndan danışmaq lazımdır.

Astronomiyada nəinki elektromaqnit şüalanma spektrinin müxtəlif diapazonlarda gecə səmasının parlaqlığı, həm də bu şüalanmanın bucaq fluktuasiyaları öyrənilir. İzotrop genişlənən Kainatda fon şüalanması izotrop olmalıdır, yəni onun intensivliyi bütün istiqamətlərdə eyni olmalıdır. KFŞ izotropluğu diskret şüalanma yaradan lokal mənbələri aşkar etməyə kömək edə bilər. Bununla bərabər, əgər əsas fon şüalanması diskret şüalanma mənbələri tərəfindən yaradılsa, onda görüş sahəsinə təxminən bir mənbənin yerləşə biləcəyi kiçik bucaqlarda səma fonu ciddi şəkildə dəyişəcəkdir. Belə fluktuasiyalara görə mənbələrin fəzada paylanması və habelə, onların intensivliyə görə paylanması öyrənilə bilər.

KFŞ təbiətinin öyrənilməsi göstərmişdir ki, əksər spektral diapazonlarda onun intensivliyi çoxsaylı uzaq diskret mənbələrin şüalanmasından asılıdır. Bəzi diapazonlarda KFŞ diskret mənbələrin şüalanmasından asılı deyil. Onun mövcud olması ya bütöv Kainatın xassəsidir (buna relikt şüalanma da deyilir), ya da qalaktikalararası mühitdə şüalandıran materiyanın mövcudluğu ilə əlaqədardır (qalaktikalararası isti qaz və kosmik şüalar).

7.1.1-ci şəkildə və 7.1.1-ci cədvəldə KFŞ haqqında ölçmələrin nəticələri verilir. Yalnız optik və radiodiapazonda Yer səthində KFŞ müşahidə oluna bilər. UB, rentgen və qamma-diapazonlar atmosferdənkənar müşahidələrdən alınmışdır.



Şəkil 7.1.1. Kainatın elektromaqnit fon şüalanması spektri. Bütöv qara xətt - müşahidə ölçmələri, ştrixli xətt-nəzəri qiymətləndirmə, enerşi $\text{erq}/\text{sm}^2\text{sr}$ –lə verilir.

cədvəl 7.1.1. Fon şüalanmasının müxtəlif diapazonlarında fotonların enerşi sıxlığı və say sıxlığı.

Sərt Diapazon ($e > 1 \text{ keV}$)	Enerşi şüalanma sıxlığı, eV/sm^3	Fotonların say sıxlığı $\approx 3 \cdot 10^9$
Uzun dalğalı radioşüalanma	$\sim 10^{-7}$	~ 1
γ -şüalanma (relik) ($e \sim 1-6 \text{ MeV}$)	$\approx 3 \cdot 10^{-5}$ ≈ 0.25	$\sim 10^{11}$ ≈ 400
Sərt İnfraqırmızı γ -şüalanma (Optik) ($e > 10 \text{ MeV}$)	$\sim 10^{-2}$ $< 10^{-5}$ $\approx 10^{-3}$	~ 1 $< 10^{-12}$ $\sim 10^{-3}$
Yumşaq rentgen ($e < 1 \text{ keV}$)	$\sim 10^{-4}-10^{-5}$	$\approx 3 \cdot (10^{-7}-10^{-8})$

Müxtəlif diapazonlarda KFŞ

Radiodiapazonda uzun dalğalı oblastda ($\nu < 600 \text{ Hz}$; $\lambda > 50 \text{ m}$) radioteleskoplar eyni zamanda həm KFŞ-nı, həm də ulduzlararası mühitdə relyativistik elektronlardan yaranan sinxrotron şüalanmanı qəbul edir. Bu da KFŞ ayırmağı çətinləşdirir. Qalaktikanın sinxrotron şüalanması səmada çox qeyri-bircins paylanmışdır. Səmada 178 Mhz tezlikdə parlaqlıq temperaturu minimal $80 \text{ }^\circ\text{K}$ olan oblastı öyrənmək daha maraqlıdır. Qalaktikadan kənar fon şüalanmasını ayırmaq o zaman mümkündür ki, Qalaktikanın şüalanma spektri KFŞ-dan fərqlənsin. Çox təəssüf ki, onlar kifayət qədər bir-birinə yaxındırlar. Dəqiq analiz göstərir ki, fonun 178 Mhz tezlikdə parlaqlıq temperaturu $30 \text{ }^\circ\text{K}$ -ə yaxındır, spektral indeksi isə radioqalaktikanın spektral indeksinə təxminən bərabərdir, $\alpha \approx 0.75$. Bu da metrlik diapazonda KFŞ parlaqlıq temperaturunu təyin etməyə imkan verir. Radioqalaktikaların və KFŞ-n spektral indekslərinin eyni olması belə bir fikrə gətirdi ki, uzun dalğalı KFŞ çox güclü diskret radioqalaktikaların və kvazarların şüalanmasının nəticəsidir. Lakin bizim Qalaktikanın və ətraf radioqalaktikaların fəza sıxlığının və radioşüalanmasının müşahidəsi göstərdi ki, onların işıqlığı KFŞ intensivliyini izah edə bilmir. Bu məsələni yalnız daha uzaq qalaktikaların şüalanmasını nəzərə almaqla izah etmək mümkün olmuşdur. Gözlənilməyən əksinə olaraq, mənbələrin sayının enerşi selindən asılılığı daha yüksək tərtib ilə müəyyən olunur. Bu da onu göstərir ki, Kainatın yeni yarandığı dövrlərdə güclü radioşüalanma mənbələrinin sayı indikindən çox olmuşdur, başqa sözlə, qalaktikaların sayına görə radiomənbələr daha çox olmuşdur. Uzaq radioqalaktika və kvazarlar indi zəif radiomənbə kimi müşahidə olunurlar. Kosmik radiomənbələr təkamül nəticəsində azalmışlar.

Bununla da belə bir nəticə alındı ki, uzundalğalı oblastda KFS yaradan, əsasən bu cür çoxsaylı mənbələrdir.

Mikrodalğalı fon şüalanması ($6 \cdot 10^8 \text{ hs} < \nu < 10^{12} \text{ hs}$; $300 \text{ mkm} < \lambda < 50 \text{ sm}$). 1965-ci ildə sm-lik və mm-lik diapazonda aparılmış ölçmələr göstərdi ki, fon şüalanması izotropdur və $\sim 2.7 \text{ }^\circ\text{K}$ temperaturu mütəlak qara cisim şüalanması ilə təsvir oluna bilər. Bu kəşf Habbl kəşfindən sonra kosmologiyada ən mühüm hesab edilə bilər. Bu nəticə 1948-ci ildə amerika fiziki Q.Qamov tərəfindən verilmiş isti kainat modelini təsdiq etmiş oldu. Bu şüalanma KFS enerjisi sıxlığının əsas hissəsini təşkil edir.

İnfraqırmızı diapazon ($10^{12} \text{ hs} < \nu < 3 \cdot 10^{14} \text{ hs}$; $1 \text{ mkm} < \lambda < 300 \text{ mkm}$). Bu dalğa uzunluğu oblastı üçün yalnız şüalanmanın yuxarı sərhəddi qiymətləndirilir, çünki atmosferin yuxarı qatlarında olan molekullar buna mane olur. Yəni müşahidələr yalnız $\lambda < 25 \text{ mkm}$ intervalında mümkündür. Göy cisimlərinin $25 \text{ mkm} < \lambda < 300 \text{ mkm}$ intervalında müşahidəsi raket, balon və yüksəklik təyyarələri ilə aparılır. Məsələn, ABŞ, Hollandiya və Böyük Britaniyanın IRAS peyki vasitəsilə $2.5 \cdot 10^5$ İQ mənbə aşkar olunmuşdur. Hazırda bir çox diskret şüalanma mənbələrinin spektrində İQ artıqlıq müşahidə olunmaqdadır. Bir çox qalaktikalar, bir çox ulduz növləri, habelə planetar dumanlıqlar yaxın İQ diapazonda anomal parlaqlıq göstərir. Əksər hallarda temperaturu 2000 K –dən az olan protoulduzlar, soyuq nəhəng ulduzlar və cavan isti ulduzların şüalanmasını yenidən şüalandıran qaz-toz dumanlıqları belə şüalanma artıqlığı göstərir. Lakin bütün bu obyektlərin şüalanması çox da yüksək deyil və başqa qalaktikalarda olan belə obyektlərin birlikdə şüalanması KFS –na əsas payı verə bilməz. Gözlənilmədən, qalaktikadankənar obyektlərin müşahidəsi göstərdi ki, aktiv nüvəli qalaktika və kvazarların şüalanması İQ diapazonda digər

diapazonlara nisbətən çox böyükdür. Hesablamalar göstərdi ki, məhz bu obyektlərin şüalanması fon şüalanmasının əsas hissəsini təşkil edir. Qalaktikaların yaranmasının müasir modellərində göstərilir ki, ilkin mərhələdə, məsələn, qırmızı sürüşmənin $z \approx 5 - 10$ qiymətində onlar İQ oblastda çox parlaq olmalıdırlar. Ona görə hesab olunur ki, məhz belə obyektlərin şüalanması KFS-əsasını təşkil edir. Hazırda müasir cihazların həssaslığı İQ fon şüalanmasını birbaşa təyin etməyə imkan vermir.

Optik diapazon ($3 \cdot 10^{14} \text{ hs} < \nu < 3 \cdot 10^{15} \text{ hs}$; $3000 \text{ \AA} < \lambda < 1 \text{ mkm}$). Optik diapazonda KFS ayırd etmək üçün qeyd olunan diffuz şüalanmanın tərkibindən atmosferdə yaranan yaxın mənbələrin şüalanmasını, zodiakal işıqlanmanı (planetlərarası mühitdə Günəş işığının səpilməsi) və Qalaktika ilə ulduzların inteqral şüalanmasını təmizləmək lazımdır. Yer atmosferindən kənarda atmosfer şüalanması çox az olur. Yəni müşahidələrdə fondan atmosfer şüalanmasını təmizləmək üçün atmosferin müxtəlif zenit məsafələrində müşahidəsinə görə alınmış düzəlişlərdən istifadə edilir. Zodiakal işıqlanmanı nəzərə almaq üçün ekliptika müstəvisinə perpendikulyar istiqamətdə təxminən 1 a.v. məsafəyə qədər kosmik aparat göndərmək olar. Bu oblastda praktiki olaraq planetlərarası toz yoxdur. Hazırda bundan daha asan üsul zodiakal işıqlanma modelindən istifadə etmək və ya optik oblastda KFS-ni zodiakal şüalanmanın az olduğu Fraunhofer spektral xətlərində müşahidə etməkdir. Bundan başqa optik fon şüalanmasını ayırmaq üçün raket və peyklərlə zodiakal işıqlanmanın xassələri öyrənilməkdədir. Üçüncü nəzərə alınacaq faktor, Qalaktika və ulduzların parlaqlıq funksiyasına görə onların fon şüalanmasını ayırmaqdır. Bu faktor bir çox hallarda əslində qeri-müəyyəndir və optik diapazon fon şüalanmasında onun payını təyin etmək çətinlik törədir.

Yerüstü müşahidələr zamanı optik oblastda KFŞ-nin heç bir izotrop komponenti müşahidə olunmamışdır. Bu şüalanmanın yuxarı sərhəddi səmanın tam optik parlaqlığından təxminən 100 dəfə azdır. Ayrı-ayrı qalaktikaların şüalanma spektri, onlara qədər olan məsafəni öyrənməklə qalaktikaların inteqral şüalanmasını hesablamaq olar. Məlum olmuşdur ki, KFŞ-na əsas payı normal qalaktikalar, daha doğrusu, onlara daxil olan ulduzlar verir.

Qeyd etmək lazımdır ki, qalaktikalararası mühit ulduzlarla, ulduz topaları və cırıtdan qalaktikalarla doludursa, müasir müşahidə texnikası ilə onu aşkar etmək mümkün deyil. Ona görə də bu işıq saçan obyektlərin Kainatın maddə sıxlığını verdiyi payı təyin etmək çətindir. Bu zaman optik diapazonda KFŞ-ın yuxarı sərhəddini bilməklə bu problemi çözmək olar. Əgər bu görünməyən obyektlərin kütlə-ışıqlıq münasibətləri orta hesabla qalaktikalarınki ilə eynidirsə, onda göstərmək olar ki, işıq saçan cisimlərin kütləsi Kainatın qapalı olması üçün azlıq təşkil edir.

Ultrabənövşəyi diapazon şərti olaraq 2 yerə bölünə bilər. Birincisi, yalnız peyk və raketlərdən müşahidə oluna bilən oblast, ikincisi, ümumiyyətlə Günəş sistemindən müşahidə oluna bilməyən diapazon.

Müşahidəsi mümkün olan diapazon $10^{15} \text{ hs} < \nu < 3.3 \cdot 10^{15} \text{ hs}$; $912 \text{ \AA} < \lambda < 3000 \text{ \AA}$ oblastını əhatə edir. UB spektral oblastda səmanın parlaqlığı, bizim Qalaktikaya daxil olan parlaq ulduzların şüalanması hesabına yaranır. Məlumdur ki, ulduzun səth temperaturu T nə qədər yüksək olarsa, o UB oblastda bir o qədər çox foton şüalandırır. Lakin temperaturu daha yüksək olan ulduzların sayı sürətlə azalır. Bundan başqa, dalğa uzunluğu azaldıqca, Qalaktika ulduzlarının birgə şüalanması da azalır. Məsələn, «Venera» kosmik stansiyasının ölçmələrinə görə bizim Qalaktikanın inteqral işıqlığı (onun görünməyən nüvəsinin işıqlığını nəzərə almadan) 1225-1340 Å

zolağında 10^{40} - 10^{41} erq/san –dir, bu da onun optik şüalanmasının 10^3 - 10^4 hissəsini təşkil edir. Ona görə də hesab olunurdu ki, UB diapazonda fon şüalanmasının qalaktikadankənar komponentini ayırmaq optik diapazona nisbətən elə də çətin olmaz, həm də bu komponent əsasən ulduz olmayan mənbələrin – qalaktika nüvələrinin, kvazarların, ulduzlararası qazın şüalanması haqqında informasiya daşıyacaqdır. Əslində isə müşahidə oluna bilən UB diapazonda fona planetlərarası hidrogenin Günəş şüalanmasındakı L_{α} xəttinin enerjisi hesabına yaratdığı güclü şüalanma əlavə olunur. Lakin bu şüalanmanı süzgəclərlə kəsmək olar. Lakin bütün bu cəhdlərə baxmayaraq hələlik UB oblastda qalaktikalararası fon şüalanmasını ayırmaq mümkün olmamışdır. Təcrübədən səma parlaqlığının minimumuna görə və kosmik hissəciklərin cihazda yaratdığı minimal siqnalın səviyyəsinə görə yalnız fon şüalanmasının maksimal həddi qiymətləndirilmişdir.

Bundan başqa bizim Qalaktikaya analoşi olaraq hesab olunurdu ki, digər qalaktikaların da UB oblastda şüalanması bir o qədər güclü deyil, ona görə də KFŞ bu oblastda elə də böyük deyil. Lakin gözlənilmədən Andromeda Dumanlığında (M31 qalaktikası) qalaktika mərkəzində və digər aktiv qalaktika nüvələrində güclü UB şüalanma aşkar olundu. Peyk müşahidələrinin nəticələrinə görə, UB oblastda KFŞ əsas payı kvazarlar verir. UB oblastda KFŞ-ni öyrənməklə qalaktikalararası qazın xassələrini, və deməli, Kainatda maddənin paylanmasını müəyyən etmək olar. Məsələn, xüsusi süzgəclərlə ayrılmış 1225-1340 Å zolağında 600 kpk –dən böyük olmayan məsafələrdə yerləşən bütün obyektlərin qırmızı sürüşmə nəticəsində şüalandırdığı hidrogenin L_{α} xətti müşahidə olunur. Uzaq kvazarlarda ($z \approx 2$) L_{α} udulma xəttinin müşahidə olunmaması göstərir ki, orada qalaktikalararası neytral hidrogenin sıxlığı çox azdır, başqa sözlə, qalaktikalararası qaz yüksək dərəcədə ionlaşmışdır: n_H/n_p

$< 3 \cdot 10^{-8}$, burada n_H və n_p qalaktikalararası mühitdə 1 sm^3 həcmdə olan hidrogen və proton atomlarının sayılır.

Müşahidə oluna bilməyən UB diapazon $3.3 \cdot 10^{15} \text{ hs} < \nu < 3 \cdot 10^{15} \text{ hs}$; $100 \text{ \AA} < \lambda < 912 \text{ \AA}$ oblastını əhatə edir. Bu diapazonda şüalanma ulduzlararası mühitdəki neytral hidrogen tərəfindən udulduğu üçün prinsipial olaraq Günəş sistemi həddlərində müşahidə oluna bilməz. Yalnız dolayı üsulla bu KFS-n intensivliyini qiymətləndirmək mümkündür. UB oblastda KFS-sı qalaktikalar ətrafında isti ulduzların ətrafındakı HII zonasına bənzər zonalar yaradacaqdır. Aydın ki, fon çox güclüdirsə, onda UB diapazonda fotonlar ulduzlararası qazı ionlaşdıracaqdır. Həqiqətən də, 21 sm dalğa uzunluğunda radiomüşahidələr göstərir ki, qalaktikaların optik sərhəddindən xeyli uzaqda neytral qaz müşahidə olunur. Orada hidrogenin sıxlığı olduqca azdır və hidrogenin neytral şəkildə olması göstərir ki, KFS intensivliyi çox azdır. Onun yuxarı sərhəddi təxminən 100 dəfə qonşu müşahidə oluna bilən diapazona nisbətən azdır. Qalaktikaların yaxın ətrafında olan neytral hidrogen 100 dəfə peyklərə qurulmuş sayğaclardan həssas detektor rolunu oynamışdır. Alınan qiymətləndirmə elə də az deyil. Hər 1 sm^2 səthə 1 saniyədə 10000 ionlaşdırıcı foton düşür.

Rentgen diapazonu ($3 \cdot 10^{16} \text{ hs} < \nu < 10^{20} \text{ hs}$; $0.1 \text{ \AA} < \lambda < 100 \text{ \AA}$). Raket, peyk və balonlarla müşahidələr göstərdi ki, klassik rentgen oblastında ($\lambda \sim 1-10 \text{ \AA}$) şüalanma yüksək dərəcədə izotropdur, yəni qalaktikadankənar təbiətə malikdir. Yalnız yumşaq rentgen oblastında (fotonların enerjisi $\epsilon > 250 \text{ eV}$) diffuz şüalanmanın qalaktik koordinatlardan asılılığı müşahidə olunur. KFS rentgen oblastda qüvvət funksiyası xarakterlidir. Praktiki olaraq bütün səmanın peyklərdə qoyulmuş cihazlarla tədqiqi KFS amplitudunun kiçik miqyaslı (3%-li) fluktuasiyasını $\sim 20^\circ$ bucaq intervalı üçün müəyyən

etmək mümkün olmuşdur. Bu tədqiqatlar kosmologiya üçün çox vacibdir. Ümumiyyətlə, rentgen fonunun anizotropiyası Günəş sisteminin fonun izotrop olduğu sistemə nəzərən hərəkət sürətini təyin etməyə imkan verir.

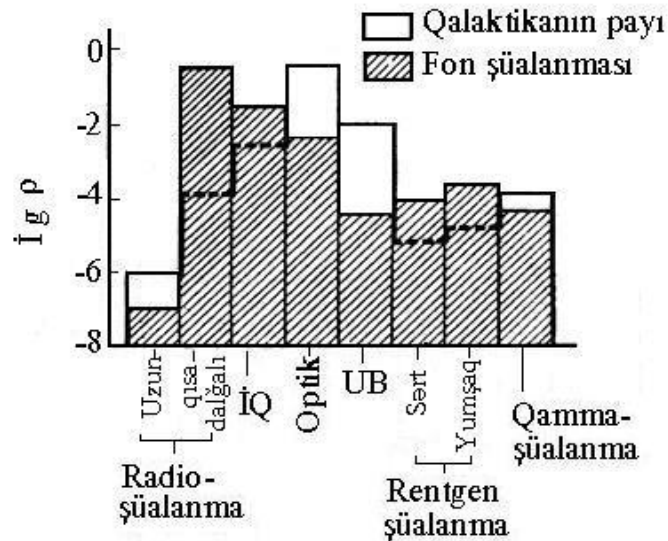
Rentgen oblastında KFS-n əsas mənbəyi dəqiq məlum deyil. Çox güman ki, bu mənbə qalaktika nüvələri, qalaktika topalarında və kvazarlarda olan qızmar ulduzlararası qazdır. Peyklərdə qurulmuş müxtəlif rentgen rəsədxanalarının müşahidələri göstərmişdir ki, səmanın hər bir dərəcə kvadratı oblastında 10-a qədər rentgen mənbəyi müşahidə olunur. Bunlardan 20-30%-i kvazarlar, 20-30 %-i uzaq qalaktikalar, 20-30 %-i bizim Qalaktikadır. Lakin bu obyektlərin birgə şüalanması KFS-n 50 %-ni də təmin edə bilmir. Bir çox zəif rentgen mənbələrini heç bir optik və radiomənbələrlə eyniləşdirmək olmur. Bu istiqamətdə tədqiqatlar davam edir.

Rentgen oblastında ola bilsin ki, KFS aşağı tezlikli fotonların kosmik şüadək relyativistik elektronlardan səpilməsi hesabına baş verə bilər (tərs Kompton səpilmə). Belə səpilmədə fotonun enerjisi kəskin artır və o rentgen oblastına düşür. Ola bilsin ki, qalaktikaların nüvəsində sərt rentgen şüalanması yarıdan da bu səpilmədir. Rentgen şüalanma yaranmasının daha bir mexanizmi qızmar qazda olan tormoz şüalanmasıdır.

Qamma diapazon ($\nu > 10^{20} \text{ hs}$, $\epsilon > 0.5 \text{ MeV}$). Rentgen şüalanması kimi qamma-şüalanma da tərs Kompton effekti və isti qazla qarşılıqlı təsirdə olan relyativistik elektronlardan tormoz şüalanması nəticəsində yaranır. Bundan başqa γ -fotonlar başqa səbəblərdən də yarana bilər. Bunlardan ən önəmlisi kosmik şüalanma tərkibindəki protonların ulduzlararası qaz atomları ilə toqquşması, proton və antiprotonun annihilyasiyası və π^0 -mezonların yaranmasıdır. Bundan sonra π^0 -mezonlar parçalanaraq iki γ - kvant əmələ gətirir. Bu

proseslərin nəzəriyyəsi fiziklərə yaxşı məlum olduğundan nəzəri olaraq diskret mənbələrin verdiyi qamma-şüalanma hesablanmışdır. 4.2.1-ci şəkildə KFS-n müxtəlif diapazonlarda enerjisi sıxlığının paylanma diaqramı verilmişdir.

Kainat sərt qamma-şüalarda qırmızı sürüşmənin $z \sim 100$ qiymətinə qədər şəffafdır. Ona görə də Kainatda maddə miqdarı haqqında vacib bir nəticə vermək olar: Kainatda olan antimaddənin miqdarının maddə miqdarı ilə bərabər olma ehtimalı azdır. z qırmızı sürüşmənin 0-dan 100-ə qədər dəyişməsi müddətində relikt şüalanma $300 \text{ }^\circ\text{K}$ -dən $2.7 \text{ }^\circ\text{K}$ -ə düşür və bu müddətə Kainatın maddəsinin milyonda biri annihilasiya edir. Əks halda qamma-şüalanmanın müşahidə olunan fonu müşahidə olunan qiymətdən çox böyük olmalı idi. Bu istiqamətdə tədqiqatlar gələcəkdə qamma-astronomiyanın Kainatın təkamülünün tədqiqində böyük rol oynayacağına zəmin yaradır.



Şəkil 7.2.1. Kainatın fon şüalanmasında enerjisi sıxlığının və Qalaktikanın diffuz şüalanmasının payını təsvir edən diaqram. Enerjisi sıxlığı $\rho \text{ eV/sm}^3$ -lə verilir.

ƏLAVƏLƏR

1. MÜXTƏLİF ATMOSFERDƏNKƏNAR RƏSƏDXANALAR

1.1. Atmosferdənkənar astronomiya üçün bəzi konstruksiyalar

Tipik astronomik tədqiqatlar üçün yaradılmış peyklərdə enerjisi mənbəyi kimi günəş batareyalarından istifadə olunur, stabilləşmə peykin özünün dönməsi ilə və ya çoxlu stabilləşmə yaradan Şiroskoplarla həyata keçirilir. Belə sistem fəzada istiqamətə görə yönəltməni idarə etməyə imkan verir. Peykin Yerlə əlaqəsi birbaşa radorabitə vasitəsilə və ya geostasionar orbitdə yerləşən çevirici peyklə həyata keçirilir. Bəzi hallarda müşahidə peykləri orbitdə istiqaməti dəyişmək üçün zəruri olan raket mühərriki ilə təmin olunmuşlar.

Müasir kosmik astronomik rəsədxanalarda obyektədən gələn şüalanmanı toplamaq və fokuslamaq üçün teleskop, spektral və ya fotometrik şəkildə alınan siqnalları rəqəmsal və ya təsvir formasında qeyd edən cihazlar yerləşdirilir. Bundan başqa, müasir orbital rəsədxana, əsas qəbuledici sistemi yönəldən və lazımi obyekt

istiqamətində saxlaya bilən köməkçi teleskop sistemləri ilə də təmin olunmuşdur.

Astronomik peyklər əsasən iki rəşimdə işləyir. Bunlardan *birincisi*, sistemaik olaraq səmanın müxtəlif oblastlarını qeyd etməklə göyün həmin hissələrində bütün obyektlərin xülasəsini yaratmaqdır. Belə müşahidələr əksər hallarda müəyyən tip obyektlərin axtarışını həyata keçirmək, və ya kompleks şəkildə ulduz topalarının, qalaktikaların xassələrini öyrənmək üçün çox vacibdir.

Kosmik rəsədxana müşahidələrinin *ikinci* tip iş rəşimi, seçilmiş müəyyən obyektlərin uzun bir müddət ərzində (bəzən bir neçə saat ərzində) ardıcıl şəkildə müşahidə olunmasından ibarətdir. Əvvəllər müşahidə obyektlərinin seçilməsini elə peyki yaradan kollektivlər həyata keçirirdi. 1970-ci ildən başlayaraq müşahidə proqramları professional astronomlar tərəfindən tərtib olunur.

Əksər peyklərin orbiti Yer səthindən bir neçə yüz km-dən, bir neçə on min km məsafədən keçir. Orbitin belə seçilməsinin əsas məqsədi Yeri əhatə edən güclü kosmik şüalanma qurşaqlarının intensiv oblastlarının təsirindən qaçmaqdır. Peykdə qurulmuş qəbuledici detektorlar kosmik şüalanma zərrəciklərinə çox həssas olduğundan peyk bu hissədən keçərkən həmin detektorlar söndürülür. Aşağı orbitlərdə hərəkət edən peyklər üçün əsas problem cənubi Atlantik anomaliya qurşağında Yer səthinə ən yaxın güclü kosmik şüalanmanın olmasıdır.

Kosmik rəsədxananın orbitinin seçilməsində deyilənlərdən başqa daha bir neçə amili nəzərə almaq lazımdır. Aşağı orbitlərdə peyki idarə etmək daha çətindir, çünki Yer bəzən öz səthiylə müşahidə olunan obyektin qarşısını kəsir. Lakin yaxın məsafədən onu təmir etmək daha asandır. Peykləri yüksək orbitə çıxarmaq üçün isə daha güclü raket texnikası tələb olunur. Bununla yanaşı, uzaqda yerləşən

peykləri təmir etmək çətindir və onları kosmik daşıyıcılarla Yerə qaytarmaq mümkün deyil.

Aşağıdakı şəkillərdə kosmik orbital stansiyalardan bir neçəsinin nümunəsi və onlara uyğun izahatlar, habelə bir neçə maraqlı təsvirlər verilmişdir.



Şəkil 1.1. Avropa kosmik agentliyinin buraxdığı çoxgüzlü rentqen peyki (ingiliscə qısaldılmışı - XMM). Üç nəhəng teleskopdan hər biri özündə 58 konsentrik formada yerləşən silindrik güzgüdən ibarətdir. Güzgülərin ümumi sahəsi bir tennis meydançası qədər sahə tutur. Hər bir güzgünün səthi qalınlığı 1 mm-dən az olan qızıl təbəqə ilə örtülmüşdür. Peykdə kiçik optik və UF teleskop yerləşdirilmişdir. Onun orbiti Aydan olan məsafənin 1/3 –i qədər uzanır. Peyklə qara çuxurlar, qalaktikaların mərkəzləri, rentgen fonu və digər məsələlər öyrənilir.



Şəkil 1.2. c.F.Kennedi adına kosmik mərkəz, ABŞ MAKA (NASA). Şəkildə «Delta» raketini təsvir olunur. Bu tip raketlər 1960-cı ildən istifadəyə verilmişdir. Həmin dövrdən başlayaraq raket Ultrabənövşəyi kosmik peyki, kosmik fonu müşahidə peykini, Rusiyanın «Venera» rentgen peykini və digər oblastlarda işləyən peykləri kosmosa çıxarmış, 250-dən çox kosmik layihəni yerinə yetirmişdir. Raket ABŞ-ın hərbi hava qüvvələri tərəfindən yaradılmışdır və «Navstar» Qlobal yönəltmə sistemini həyata keçirən peykləri orbitə çıxarmışdır.



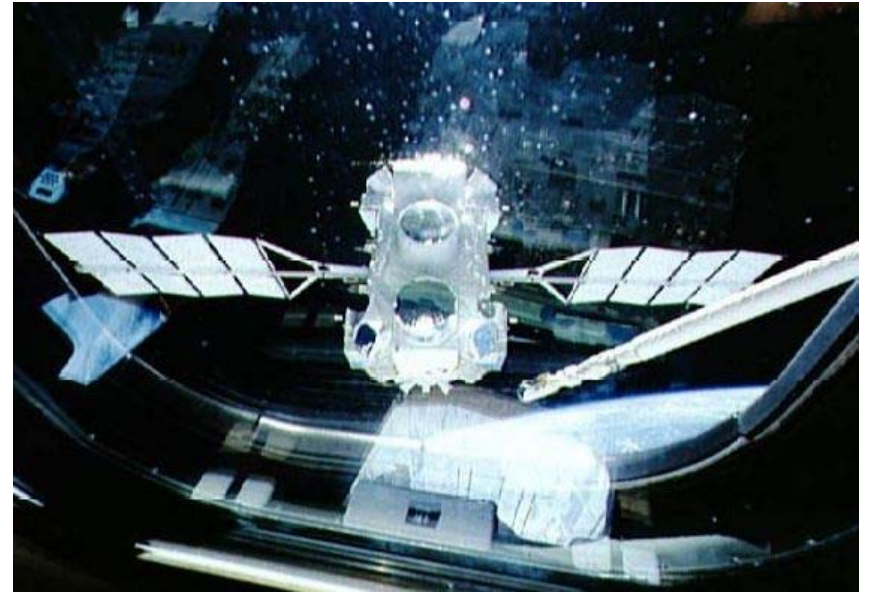
Şəkil 1.3. Diskaveri daşıyıcısının köməyi ilə kosmosa çıxarılan Spartalı 201 kosmik aparatı Günəş tacını öyrənir. Bu peykin heyətində olan cihazlar tacda olan elektronların sıxlığını təyin edir,

Günəş fəallığının dəyişməsinə öyrənir. Bu şəkildə daşıyıcının Spartalı 201 peykini buraxan avtomatik qolu görünür. Sağda daşıyıcının nazik quyruğu görünür. Təsvir Yerə fonunda verilir.



Şəkil 1.4. Şəkildə təsvir olunan orbital Skayleb laboratoriyası 1973-cü ilin mayında Saturn-5 raketini vasitəsilə orbitə çıxarılmışdır. ABŞ-ın MAKA astronautları orada üç dəfə olmuş, ümumilikdə 2.5 ay vaxt ərzində orbitdə çalışmışlar. Skaylabda bir çox elmi təcrübələr və ultrabənövşəyi və rentgen oblastlarda müşahidələr aparılmışdır.

Skayleb stansiyası Koqouteka kometi, Günəş haqqında, eləcə də kosmik fon şüalanması haqqında qiymətli məlumatlar toplamışdır. Skayleb 1979-cu il iyulun 11-də Yerə düşmüşdür.

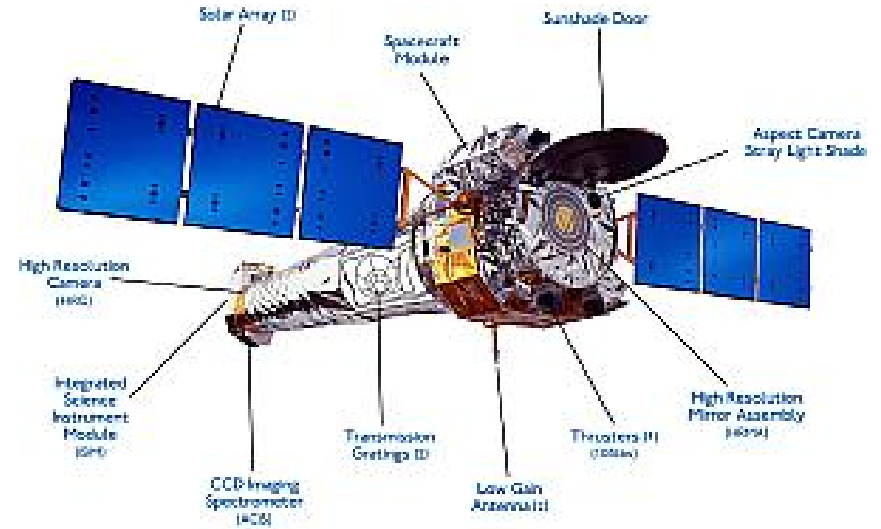


Şəkil 1.5. 17 il əvvəl aşağı Yer orbiti ilə hərəkət edən Kompton Qamma rəsədxanası orbitə çıxarıldı. Bu şəkildə illüminatorlardan Yerin kənarı və daşıyıcıdan ayrılmış parıldayan rəsədxana görünür. Rəsədxanada qurulmuş alətlər atmosferdən kənarında olduğundan yüksək enerjili qamma şüaları müşahidə edə bilər. Əsas qamma-rəsədxana 2-5 il ərzində qoyulmuş planı artığı ilə yerinə yetirmişdir. Lakin bu yaxınlarda yönəldici qurğunun işində pozulma baş verdiyindən ABŞ MAKА (NASA) mütəxəssisləri peyki atmosfərə qaytarmağı qərara almışlar. Kompton rəsədxanası indiyədək 400-dən çox mənbənin qamma-şüalanmasını ölçmüş, 2500 - qamma parıltını qeyd etmişdir.



Şəkil 1.6. Orbital «Rentgen» rəsədxanası və orbital «Kvant» modulu. XX əsrin 80-ci illərində keçmiş SSRİ-də Moskvadakı Kosmik

Tədqiqatlar İnstitutunda sovet kosmik orbital stansiyası «Salyut-7» hazırlanması təşəbbüsü irəli sürüldü. Kvant Modulu 31 mart 1987-ci ildə orbitə çıxarıldı. Modul iki hissədən ibarətdir: laboratoriya bölməsi və havasız qapalı bölmədə olan cihazlar. Bu 11 tonluq modul astrofiziki cihazlar, kosmonavtların həyat şəraitini təmin edən alət və vasitələrlə təmin olunmuşdur. Kvant modulu həm də antiviruslar sahəsində biotexnoloji təcrübələr aparmağa imkan verirdi.

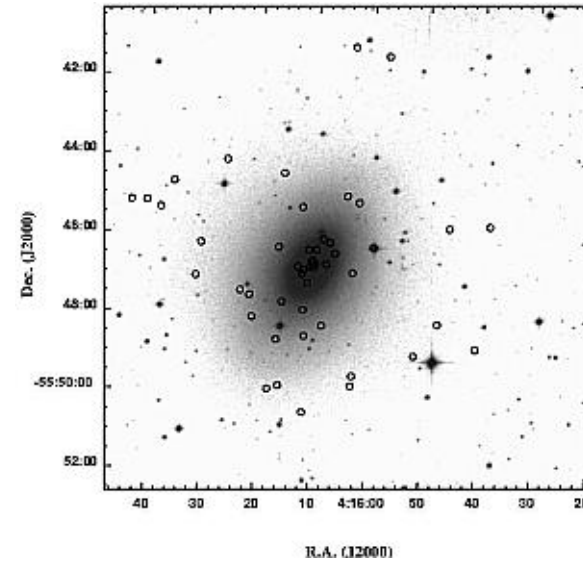


Şəkil 1.7. «Çandra» kosmik rəsədxanası. Peyk 0.1-10 KeV standart rentgen diapazonunda müşahidələr aparmaqdadır. Bu rəsədxananın

əsas üstünlüyü 1"-dən kiçik bucaq ayırdetməsinə malik olmasıdır. Müqayisə üçün deyək ki, bu ayırdetmə «XMM» peykindəkindən 6 dəfə yüksəkdir.



Şəkil 1.8. ABŞ Milli Aerokosmik agentliyinin və Avropa kosmik agentliyinin atmosferdənkənar rəsədxanası. 25 aprel 1990-cı ildə Diskoveri kosmik gəmisi ilə hündürlüyü 600 km, periodu 100 dəqiqə olan yer orbitinə çıxarılmışdır. Teleskopun uzunluğu 13.3 m, çəkisi 11000 kq-dır. Onun 2.4 m diametrlı teleskopu 0."1 ayırdetməsinə malikdir. Teleskopun işi yerdən idarə olunur. Onun aldığı müşahidə materialı bütün dünya mütəxəssisləri tərəfindən tədqiq olunur. Rəsədxanada cihaz və avadanlıqları dəyişmək üçün bir neçə ildən bir onun heyətinə astronavtlar gəlir. İlk 3 heyətin gəlişi uğurlu nəticələnmişdi. Lakin «Kolumbiya» daşıyıcısının qəzasından sonra MAKA oraya heyət göndərməməyə qərar vermişdir.



Şəkil 1.9. Linzaşəkilli NGc 1553 qalaktikası. Qalaktikanın optik diapazondakı fotoqrafiyası üzərinə «Çandra» rəsədxanasının müşahidə etdiyi rentgen şüalanma mənbələrinin yeri də qeyd edilmişdir. Təsvir Blanton və b. Astrophysical J. 2001, v.552, p.106-da nəşr olunan işindən götürülmüşdür.



Şəkil 1.10. Elliptik NGc 4697 qalaktikası. Təsvirdə diffuz şüalanma mənbəyi ilə yanaşı Çandra rəsədxanası vasitəsi ilə müşahidə olunan rentgen mənbələrinin yeri də aydın görünür.

2. ASTRONOMİYADA YENİ TƏDQIQAT İSTIQAMƏTLƏRİ VƏ PROBLEMLƏR

1. Müasir astronomiya

Astronomiya ifadəsi, əsasən, göy cisimləri haqqında elm kimi başa düşülməkdədir. Bununla bərabər, çox zaman *astrofizika* termini də istifadə olunur. Bu sözün hərfi mənası yunancadan *ulduz fizikası* mənasına gəlir. Bununla bərabər, son dövrlərdə bu söz daha geniş mənada işlədilməkdədir. Astrofizika – Kainatda olan fiziki hadisələr

haqqında elmdir. Burada nəinki ulduzlarda gedən fiziki proseslər, həmçinin ulduzlararası və qalaktikalararası mühit, habelə maddənin atom, molekul və digər elementar zərrəcikləri öyrənilir. Buna səbəb kosmik obyektlərin və bütövlükdə Kainatın bir çox xassələrinin bu zərrəciklərdən asılı olmasıdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, hazırki dövrdə *astrofizika* və *astronomiya* terminləri arasında fərq aradan qalxmaqdadır. Məsələn, müasir astrofizikanın bir çox bölmələrini «Radioastronomiya», «Optik astronomiya», «Rentgen astronomiyası», «Neytrino astronomiyası» və s. kimi adlandırırırlar. Buna səbəb son bir neçə on il ərzində astronomiyada baş vermiş çox ciddi inkişafdır. Bu inkişafın da əsas mahiyyəti bəşəriyyətin təkcə yaxın kosmik fəzanı öyrənib, onu müasir elmi işlərdə istifadə etmək deyil, başlıcası, müasir astrofizikanın çoxdalğalı bir elmi tədqiqat sahəsinə çevrilməsidir. Bu o deməkdir ki, hazırki dövrdə alimlər göy cisimlərini çox geniş bir elektromaqnit dalğaları diapazonunda tədqiq edirlər. Buraya ən uzun radiodalğalı diapazondan tutmuş, enerjisi 10^{16} eV olan ən yüksək enerjili fotonlara qədər bir diapazon aiddir.

Astrofizikada iki konseptual yanaşma üsulu mövcuddur. Bunlardan birincisi, ayrı-ayrı göy cisimlərinin – *planetlərin, ulduzların, pulsarların, kvazarların, qalaktikaların* və s. fərdi xüsusiyyətlərini öyrənir. İkincisi, bu obyektlərdə olan xüsusiyyətləri ümumiləşdirməklə Kainatda materiyanın ümumi inkişaf qanunauyğunluqlarını öyrənməkdir.

Astrofizika üçün ən ümdə məsələlərdən biri göy cisimlərindən hansı üsulla informasiya almaqdır. Hazırda informasiya almanın dörd üsulu mövcuddur:

1. *Elektromaqnit şüalanma*: qamma-şüalanma, rentgen şüalanma, görünən, infraqırmızı və radioşüalanma.

2. *Kosmik şüalanma*: Yer in ətrafına qədər gəlib çıxan bilən və atmosferlə qarşılıqlı təsirdə olan zərrəciklər seli. Bu şüalanmanın tərkibi əsasən yüksəkenerjili elektronlardan, proton və ağır nüvələrdən, habelə dayanıqsız neytron və mezonlardan ibarətdir. Bundan başqa, kosmik şüalanmanın ilkin tərkibində antiprotonlar, pozitronlar – başqa sözlə, antimateriya müşahidə olunur. Lakin bunların əksəriyyəti protonlarla ulduzlararası və planetlərarası maddənin qarşılıqlı təsirindən yaranır.
3. Neytrino və antineytrino. Hazırda üç tip neytrino məlumdur, bunlardan ikisi elektronlarla və μ -mezonlarla, üçüncüsü isə τ -mezonlarla bağlıdır.
4. Qravitasiya dalğaları: böyük kütləli ulduzların partlaması zamanı yaranır və ulduzların hərəkəti haqqında informasiya daşıyır. Bu dalğalar birbaşa detektə olunmasa da, onların mövcudluğunu sübut edən çoxlu müşahidə məlumatları vardır.

Astrofizikanın ən uğurlu kəşflərindən biri isə çox qərribə fiziki xassələri olan obyektlərin aşkar olunmasıdır. Bunlardan, *birincisi*, neytron ulduzları misal göstərmək olar. Onların radiusu 10 km-ə yaxındır, belə ulduzlarda maqnit sahəsi 10^{13} Gs-a çatır, belə bir sahəni yer şəraitində heç bir laboratoriyada almaq mümkün deyil. Belə bir şəraitdə maddənin strukturu və xassələri tamamilə dəyişir. *İkincisi*, qara deşiklər – bu obyektlərdə ikinci kosmik sürət işıq sürətinə bərabərdir. *Üçüncüsü*, ifratböyük qara deşik olan və qalaktikanın nüvəsində yerləşən kvazarları qeyd etmək olar. Müasir astrofizikanın vacib bölmələrindən olan kosmologiya Kainatın necə yarandığını və onun inkişaf mərhələlərini, həmçinin, Kainatın irimiqyaslı quruluşunu öyrənən bir elm sahəsidir.

2. Metaqalaktikanın tərkibi.

Metaqalaktika – Kainatın müşahidə oluna bilən hissəsinə deyilir. Metaqalaktikanın irimiqyaslı əsas elementləri qalaktikalar və qalaktika toparıdır. Qalaktikalar bir-birilə qravitasiya əlaqəsi ilə bağlı ulduzlar sistemidir. Bizim Günəşin də daxil olduğu Qalaktika təxminən 10^{11} ulduza malikdir, kütləsi $2 \cdot 10^{44}$ q, yaxud $10^{11} M_{\odot}$, tam şüalanma enerjisi $3 \cdot 10^{43}$ erq/san-dir.

Qalaktikalar da ulduzlar kimi, müxtəlif toparlarda qruplaşmışlar, bu qruplarda bir neçə qalaktikadan, onlarla qalaktikaya qədər üzv ola bilər. Ulduzlardan çox az bir hissə kürəvi, yaxud səpgin toparlarda və ya ulduz assosiasiyalarında qruplaşdığı halda, əksər hissəsi Qalaktikanın ümumi sahəsinə daxildir. Bunun əksinə olaraq, əksər qalaktikalar qruplara daxildir, yalnız az bir hissə heç bir qrupa daxil olmadan bütöv Metaqalaktikanın ümumi cazibə sahəsində yerləşir.

Qalaktika qruplarında onlarla qalaktika toplanmışdır. Məsələn, bizim Qalaktika bizə yaxın ətrafda 20-ə qədər üzvü olan topaya daxildir. Bu qalaktikalar qrupu Yerli qalaktikalar sistemini təşkil edir. Öz növbəsində, Yerli sistem mərkəzi Qız bürcünə proyeksiya olunan toparların tərkibinə daxildir. Topalarda adətən yüzlərlə və minlərlə üzv ola bilər. Belə toparlardan biri 10^4 üzvü olan və Koma bürcündə yerləşən topadır. Bu topa radiusu təxminən 4 Mpk olan sfera formasındadır.

Qeyd edək ki, ulduzların ölçüləri ilə müqayisədə onlar arasında məsafə çox böyükdür. Qalaktikalarda isə onlar arasındakı məsafə qalaktikanın ölçüsündən cəmi bir neçə dəfə böyükdür.

6-10 m-lik optik teleskopların qurulması və onlarda alınan müşahidələr son dövrlərdə göstərmişdir ki, böyük toparlar və topa

qrupları da öz növbəsində daha böyük qruplara daxildir. Bizim Qalaktikanın və Andromeda dumanlığının da daxil olduğu Yerli topa başqa qalaktika sistemləri ilə birgə Yerli ifrattoğa əmələ gətirir. Metaqalaktikada belə ifrattopaların sayı çoxdur. Onların ölçüsü orta hesabla 20-30 Mpk-ə çatır.

Yuxarıda deyildiyi kimi, son illərdə məlum olmuşdur ki, üzvlərinin sayı çox olan qalaktika toparları yüksək temperaturu ionlaşmış qaza malikdirlər və bu qaz güclü rentgen şüalanma mənbəyidir. Rentgen şüalanması verən böyük ölçülü mənbələrin aşkar olunması son illər rentgen astronomiyasının ən uğurlu nəticələrindən biridir. Bunlardan ən güclüsü Koma, Persey və Qız bürcələrində olan mənbələrdir. Ölçüləri ayırd olunan belə mənbələrin xarakterik ölçüsü 0.1- 1 Mpk, işıqlığı isə 10^{43} - 10^{45} erq/san təşkil edir. Onların spektrinin dəqiq tədqiqi göstərmişdir ki, şüalanma bu mənbələri qalaktika toparı tərəfindən qravitasiya çuxuru kimi tutulub saxlanmış və temperaturu 10^7 - 10^8 K olan qızmar qazdır. Bir çox toparlarda bu qazın kütləsi qalaktikaların ümumi kütləsi ilə müqayisə olunacaq qədərdir.

Qalaktika toparları üçün daha bir görkəmli nəticə alınmışdır: toparların əksəriyyətində qalaktikaların məxsusi hərəkətindən alınan ümumi kütlə qalaktikaların ümumi işıqlığına görə hesablanan kütlədən xeyli böyük olur. Birinci hesablama üsulunda kütlənin təyin olunması ona əsaslanır ki, qararlaşmış toparlar bir-biri ilə qravitasiya qüvvəsi ilə bağlı sistemlərdir. Belə sistemin tam mexaniki enerjisi mənfidir, həm də zamana görə orta kinetik enerjisi qravitasiya potensial enerjisinin yarısına bərabərdir, yəni

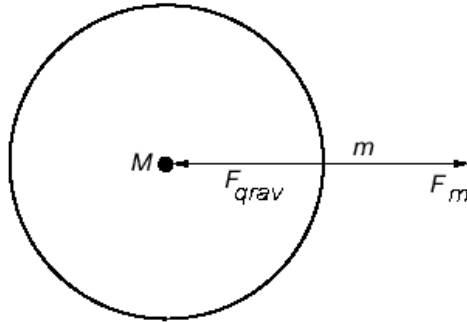
$$E_k = \frac{1}{2} |E_{grav}| \quad (2.1)$$

Bu münasibət klassik mexanikada olan məlum virial teoremini ifadə edir. Bu ifadə sistemin ümumi qərarlaşmış vəziyyətində hərəkət tənliyinin nəticəsi kimi alınır. Məsələn, kütləsi m olan zərrəcik kütləsi $M \gg m$ olan böyük kütlə ətrafında dairəvi orbitdə fırlanırsa, V hərəkət sürəti mərkəzəqaçma və qravitasiya qüvvələrinin tarazlığı şərtindən təyin olunur (şəkil 2.1).

$$F_m = \frac{mV^2}{r} = F_{grav} = \frac{GMm}{r^2} \quad (2.2)$$

Burada r - orbitin radiusudur. Bu bərabərlikdən

Şəkil 2.1. M kütləli mərkəz ətrafında fırlanan m kütləli cismin hərəkətini izah edən sxem.



alınır ki,

$$E_k = \frac{mV^2}{2} = \frac{GMm}{2r} \quad (2.3)$$

Əgər topanın ölçüləri R və qalaktikaların sürət dispersiyası V olarsa, onda (2.2)-yə görə

$$M_{VT} \approx V^2 R G \quad (2.4)$$

olar. Bu üsulla təyin olunan kütlə *virial kütlə* adlanır.

Kütlə təyininin digər üsulu ondan ibarətdir ki, topanın tam müşahidə olunan işıqlığını bilərək, ayrı-ayrı qalaktikalar üçün alınmış kütlə-ışıqlıq münasibətini standart kimi götürüb topa üçün kütlə hesablanır. Kütlə-ışıqlıq münasibəti müxtəlif qalaktikalar üçün müxtəlifdir, lakin əgər topada əksər qalaktikaların hansı eyni tipə məxsus olması məlumdursa, onda topanın ümumi kütləsini bu üsulla qiymətləndirmək olar. Beləliklə də, məlum olmuşdur ki, bu üsulla tapılan ümumi kütləsi virial kütlədən həmişə kiçik alınır:

$$M_{VT} > M_L \quad (2.5)$$

Bu münasibət (buna virial paradoks deyilir) hələ keçən əsrin 30-cu illərində Tvikki tərəfindən müəyyən olunmuşdur. Son illərdə aparılan daha dəqiq ölçmələr bu paradoksu təsdiq etmişdir.

Virial paradoksu o zaman aradan qalxır ki, sistem qərarlaşmış hesab edilməsin, onda sistemə virial teoremini də tətbiq etmək olmaz. Bununla belə, əgər topalar qərarlaşmışdırsa, onda kütlələrin uyğunsuzluğu yalnız bir səbəbdən ola bilər: topalarda işıq şüalandırmayan gizli kütlə mövcuddur. Hesablamalara görə gizli kütlə 3-10 dəfə qalaktikalardakı ümumi kütlədən böyük olmalıdır. Bu fikrin doğruluğunu təsdiq edən bir çox faktlar mövcuddur.

Kosmik strukturun ierarxiyası qalaktika topa və ifrattopalarında bitir. Metaqalaktikanın çoxlu qalaktikadan ibarət 100-300 Mpk

ölçülərdə müxtəlif oblastlarında maddənin orta sıxlığı təxminən bərabərdir. Bu sıxlığın qiyməti $\rho \approx 3 \cdot 10^{-31} \text{ q/sm}^3$ –ə bərabərdir. Gizli kütləni nəzərə alsaq bu kəmiyyət üç dəfə artar. Sıxlığın hər tərəfə bərabər paylanması onu göstərir ki, Metaqalaktika bütövlükdə bircinsdir. Bu da bizi əhatə edən Kainatın fundamental xasələrindən biridir.

Kainatın başqa bir fundamental xasəsi, onun qeyri-stasionar olmasıdır. Şüa sürətlərinin ölçülməsi nəticəsində məlum olmuşdur ki, bir-birindən qeyri-bircinslik sərhəddi ilə ayrılan qalaktikalar və qalaktika toparları bir-birindən uzaqlaşmaqdadır.

İlk dəfə 1912-ci ildə Lovell rəsədxanasında Slayfer tərəfindən spektral xətlərdə Dopler sürüşməsi əsasında qalaktikanın şüa sürəti ölçülmüşdür. Onun ölçmələrinə görə Andromeda bürcündəki qalaktikalardan biri Yerə 200 km/san sürətlə yaxınlaşır. Nəzərə alsaq ki, ulduzların şüa sürəti əksər hallarda 50 km/san-də çox olmur, bu fakt çox təəccüblü görünürdü. Başqa qalaktikaların dopler sürüşməsinə də ölçüldükdən sonra Slayfer müəyyən etdi ki, onların əksəriyyətində spektral xətlər qırmızı sürüşməyə malikdir. Bu sürüşmə çox böyük qiymətlər verir. 1914-cü ildə Slayfer 13 qalaktikanın spektrində xətlərin sürüşməsinə ölçdü, onlardan ikisi istisna olmaqla qalan hamısı 300 km/san tərtibində uzaqlaşma göstərirdi.

Alınan sürətlər astronomiyada ona qədər ölçülən bütün sürətlərdən böyük idi. Lakin sonrakı ölçmələr bunun son hədd olmadığını göstərdi. Bu sürətlərin mənası Habblin kəşfindən sonra anlaşıldı. 1929-cu ildə Habbll göstərdi ki, 6 mln işıq ili məsafəsinə qədər qalaktikaların sürəti onlara qədər olan məsafə ilə mütənasibdir:

$$V = HR \quad (2.6)$$

H -mütənasiblik əmsalı olub Habbll sabiti adlanır, onun qiyməti o qədər də yüksək olmayan dəqiqliklə $H=50-100 \text{ (km/san)/Mpk}$ qədər təyin olunmuşdur. Son zamanlar $H = 75 \text{ (km/san)/Mpk}$ qiyməti ən ehtimallı hesab edilir.

Habbll sabitinin tərs qiyməti ilə bizim Metaqalaktikanın yaşı ölçülür:

$$T = 1/H = 2 \cdot 10^{10} \text{ il} \quad (2.7)$$

H kəmiyyətinin istiqamətdən asılı olmaması o deməkdir ki, Metaqalaktika nəinki bircins, həm də izotropdur.

1965-ci ildə hər istiqamətdən eyni intensivliklə yayılan və Metaqalaktikanı bircins formada dolduran elektromaqnit fon şüalanması kəşf olundu. Bu şüalanmanın 0.3 – 20 sm diapazonunda ölçülməsi göstərdi ki, fon şüalanması temperaturu 2.7 °K olan qərarlaşmış istilik şüalanmalı Plank spektrinə uyğun gəlir. Bu dalğa uzunluğu oblastında şüalanmanın izotropluğu faizin onda biri dəqiqliklə təyin olunmuşdur. Bu Habbll sabitinin izotropluğundan (20%) daha yüksək dəqiqliklə təyin olunmuşdur.

Qalaktikaların bir-birindən uzaqlaşması göstərir ki, bizim Metaqalaktika genişlənməkdədir. Bu genişlənmənin əbədi olması və yaxud bir müddətdən sonra sıxılma ilə əvəz oluna biləcəyi sualı açıq qalır. Bu hər şeydən əvvəl hazırda Metaqalaktikada toplanan maddənin sıxlığından asılıdır. Sıxlıq kiçik olarsa Metaqalaktika daim genişlənəcəkdir, böyük olarsa qravitasiya qüvvəsinin təsiri ilə genişlənmə dayanaraq, sıxılma ilə əvəz olunacaqdır. Sıxlığın elə kritik bir həddi vardır ki, bu iki hadisənin sərhəddini müəyyən edir.

Sıxlığın bu qiymətini belə müəyyən etmək olar. Məlumdur ki, kütləsi M olan kürə üçün ikinci kosmik sürət bu ifadədən təyin olunur:

$$V = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad (2.8)$$

Buraya kürənin kütləsini

$$M = \frac{4\pi}{3} \rho R^3$$

və sürət əvəzinə $V = HR$ münasibətini yazsaq

$$HR = \sqrt{\frac{8\pi G}{3} \rho R^2}$$

alırıq. Buradan da sıxlığın kritik qiymətini

$$\rho_{krit} = \frac{3H^2}{8\pi G} \quad (2.9)$$

kimi alırıq. Deməli, Metaqalaktikanın orta sıxlığı Habbli sabitindən asılıdır. $H=75$ (km/san)/Mps hesab edərək sıxlıq üçün $\rho_{krit} \approx 10^{-29}$ q/sm³ almaq olar. Yuxarıda qeyd etmişdik ki, Metaqalaktikada orta sıxlıq $3 \cdot 10^{-31}$ q/sm³-dür, bu da kritik sıxlıqdan xeyli kiçikdir. Ola bilsin ki, gizli kütlənin hesaba alınması bu qiyməti dəyişdirsin.

3. Materiyanın görünməyən (gizli) kütləsinin təbiəti

Qalaktikalar topalarda çox böyük sürətlə fırlanmasına baxmayaraq topalar uzun müddət ərzində dağılmır. Hətta spiral qalaktikaların lap kənar qollarında duran ulduzlar nəzəriyyənin verdiyi qiymətdən daha sürətlə fırlanırlar, buna baxmayaraq sistemdən uçuş uzaqlaşmırlar. Görünməyən maddənin olması əlavə qravitasiya qüvvəsi yaradar, bu da qalaktika və ulduzları tarazlıqda saxlaya bilər. Protodan tutmuş planetə qədər hər bir cisim qravitasiya qarşılıqlı təsirində iştirak edir, ona görə də görünməyən qara materiya nəzəri baxımdan istənilən şeydən ibarət ola bilər. Əksər astronomların fikrincə, gizli maddə əsasən adi maddədən – çoxlu sayda qəhvəyi cırdandan və ola bilsin, Yupiter kimi planetlərdən ibarət olsun.

Bununla yanaşı, əksər fiziklərin fikrincə gizli kütlə elementar zərrəciklərdən ibarətdir (cədvəl 2.3.1). Uzun illər elmi tədqiqatlar aparıldıqdan sonra alimlər belə qərara gəldilər ki, eksperimental

cədvəl 3.1. Gizli maddənin olduğu mənbələr

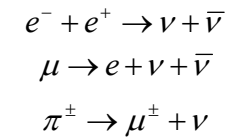
Barion maddələr. Makroskopik obyektlər	Barionsuz maddələr. Elementar zərrəciklər
Qəhvəyi cırdanlar (Brown Dwarfs)	Neytrino. Aksion (axion)
Neytron ulduzlar (Neutron stars)	Fotino
Qara deşiklər (Black holes)	HiqGs Bozonları
Yupiter tipli planetlər	Vimpslər(WIMPs-Weekly Interactive Massive particles) Qəribə zərrəciklər
MAXO (MACHs-Macroscopic	Neytralino (neutralino)

qurğu və cihazlar elə təkmilləşdirilməlidir ki, bir çox gizli kütlə zərrəciklərinə məxsus olan zərrəcikləri öyrənməyə imkan versin. Zəif qarşılıqlı təsir göstərən belə kütləli gizli kütlə zərrəciyi (WIMPs) detektorun yanından 320 km/san sürətlə keçməlidir. Bəzi hesablamalara görə hər bir anda belə kiçik tozcuqlar kosmosun hər bir kvadrat sm-dən keçməlidir. Güman edilir ki, belə bir intensiv zərrəciklər seli germanium və silikon kristallarının yaxınlığından keçərkən zərrəciklərdən biri kristal qəfəsə zərbələr vurur, qəfəs zərbələrdən vibrasiya edər, çünki WIMPs zərrəciklərin kütləsi atom kütləsi tərtibindədir. Zərbədən alınan enerjinin bir hissəsi kristalda olan elektrona verilir və elektronlar hərəkət etməyə məcbur olurlar. Hər bir kristal qurğusunun batareya ilə təmin olunmuşdur, buraya elektrik sahəsi yerləşdirməklə keçən yükün miqdarı ölçülə bilər. Bu metod ionlaşma üsulu ilə aşkar etmə kimi məlumdur. Bütün WIMPs – zərrəciklər, sadəcə, kristaldan ötür keçdikdə ölçmə nəticəsi zəif olacaqdır. 900 q kütləli bir kristal WIMPs zərrəciklə hər gün 1- 1000 ədəd qarşılıqlı təsir yaradır.

Aksion - fizikada atom nüvələrini parçalanmaqdan qoruyub saxlayan güclü qarşılıqlı təsiri modelləşdirərkən istifadə olunan hipotetik zərrəcikdir. Bir aksion bir elektrondan trilyon dəfə yüngüldür, lakin bir kub santimetrdə onların sayı yüz milyard ola bilər. WIMPs zərrəciklər Ağ Yolun qaranlıq qalasında annihilyasiya edərək qamma-şüalar, antiproton və pozitronlar buraxa bilər. Belə bir şüalanmanı ümumiyyətlə, müşahidə etmək olar, lakin onu Qalaktikanın ümumi şüalanmasından ayırmaq çətin bir məsələdir.

Neytrino - gizli kütlə daşıyıcısı ola bilər. Neytrinonun iştirakı ilə kosmik obyektlərdə baş verən fiziki prosesləri neytrino astrofizikası öyrənir. Kainatın yaranmasının ilk anında genişlənmə başladıqdan təxminən 1 saniyə sonra neytrino maddə ilə istilik tarazlığında olmuşdur. Həmin dövrdən bizə çox soyumuş kosmoloji neytrino qazı (reliktiv neytrino) gəlib çatmışdır.

Adi Günəş tipli ulduzlarda neytrino ulduzun işıqlığını təmin edən nüvə reaksiyaları zamanı yaranır. İfratnəhəng ulduzların partlayışı zamanı və ulduzların qravitasiya kollapsı zamanı ulduzun mərkəzində temperatur o qədər qızır ki, neytrino yaradan pozitronlar və hətta π -mezonlar (pionlar) və müonlar əmələ gəlir:



Bu ulduz neytrinolarının enerjisi əsasən MeV-in hissələrindən tutmuş 10-larla MeV-ə qədərdir. Yüksək enerjili protonlar və daha ağır nüvələr atom nüvələri və aşağı enerjili fotonlarla toqquşaraq π və K -mezonlar yaradır, onlar da parçalanaraq yüksək enerjili kosmik neytrino yaradır. Onların enerjisi diapazonu 10^{15} - 10^{16} eV-ə qədər uzanır, bunu da ölçmək mümkündür.

Qəhvəyi cırtdanlar – kiçik kütləli soyuq ulduzlardır. Qoşa sistemlərdə komponentlərin kütləsinin dəqiq təyini ulduzlar üçün kütlə-ışıqlıq münasibətini dəqiqləşdirmək üçün əvəzsiz bir vasitədir. Bu münasibət ulduzların müasir daxili quruluş nəzəriyyəsi əsasında verilmişdir. Bu münasibət ulduzun bolometrik işıqlığına görə

kütləsini təyin etməyə imkan verir. Qəhvəyi cırdanların kütləsi $0.05 M_{\odot}$ qədərdir.

Neytron ulduzlar - əsasən neytronlardan ibarət hidrostatik tarazlıqda olan ulduzlardır. Bu ulduzların mövcudluğu XX əsrin 30-cu illərində neytron kəşf olunduqdan sonra məlum oldu. Lakin yalnız 1967-ci ildə onları pulsarların radioşüalanmasına görə aşkar etmək mümkün olmuşdur. Sonralar göstərildi ki, neytron ulduzlar həm pulsarlarda, həm də rentgen şüalanma mənbələri olan barsterlərdə özünü biruzə verir. Güman olunur ki, təkamülün müəyyən mərhələsində neytron ulduzlar aktiv qamma-şüalanma mənbəyinə çevrilir. Hazırki dövrə qədər 500-dən çox neytron ulduz aşkar olunmuşdur, onlardan 5%-i rentgen pulsarı, 10%-i barster, qalanları isə adi radiopulsarlardır.

Qara dəşiklər – fəzanın elə bir hissəsidir ki, burada cazibə qüvvəsi müdhiş bir qiymətə çatır. Belə cisimlərdə ikinci kosmik sürət işıq sürətindən böyükdür, ona görə ondan heç bir şey, hər hansı bir şüalanma, zərrəcik uzaqlaşmır, çünki heç nə işıq sürətindən böyük sürətlə hərəkət etmir. İşığın çıxma bilmədiyi sərhəddi qara deşiyin üfuku adlandırılır. cazibə qüvvəsi şüalanmanı qapamaqdan ötrü bu sahəni yaradan kütlə qravitasiya radiusu adlanan

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} \quad (3.1)$$

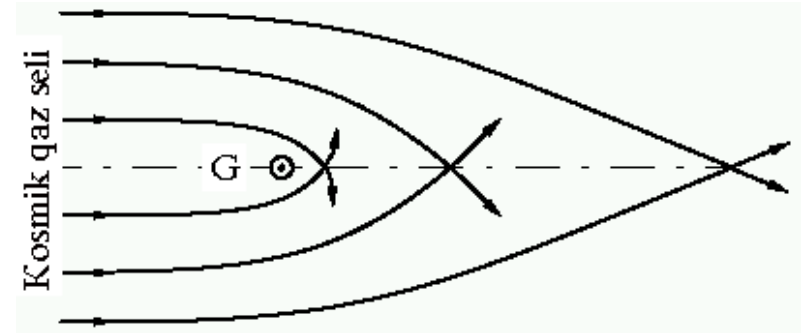
ölçüyə qədər sıxılmalıdır. Böyük kütlələr üçün qravitasiya radiusu çox kiçikdir. Məsələn, Günəş üçün $M_{\odot}=2 \cdot 10^{33}$ q olduğundan $r_g = 3$ km alınır.

Qara deşiklərin sahəsi Eynşteyn nəzəriyyəsi ilə təsvir olunur. Bu nəzəriyyəyə görə qara deşiklərin yaxınlığında fəzanın həndəsi

ölçüləri qeyri-evklid (Riman) həndəsəsi ilə təsvir olunur, zaman isə belə cismin ətrafında daha yavaş sürətlə davam edir. Müasir təsəvvürlərə görə böyük kütləli ulduzlar öz təkamülü nəticəsində sıxılaraq qara deşiyə çevrilə bilər.

Qravitasiya linzası - qravitasiyaetdirici cismin təsiri ilə elektromaqnit şüalanmasını optik linzalara bənzər şəkildə əyən və onu müəyyən fəzada fokuslayan qravitasiya sistemləridir.

Günəş özü də qravitasiya sahəsinin təsiri ilə onun yaxınlığından keçən şüalanmanı əyərək Günəşin hərəkətinin əksi istiqamətində toplayır (şəkil 3.1).



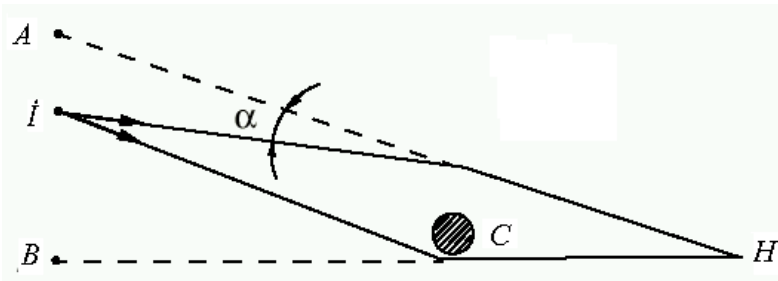
Şəkil 3.1. Böyük kütləli G kosmik cismin (Günəş və ya ulduzun) qarşından gələn zərrəcikləri fokuslaması sxemi.

Fokuslanan şüalar boyunca qazın sıxlaşması heliumun $\lambda = 584$ nm dalğa uzunluqlu xəttində xüsusi kosmik peykdə quraşdırılmış cihazda müşahidə olunur.

İşıq qravitasiyaetdirici cismin yaxınlığından keçərkən onun trayektoriyası əyilir və cismə doğru meyl edir. Adi cisimlər üçün meyl bucağı α kiçik olur ($\alpha \ll 1$) və bu düsturla təyin olunur :

$$\alpha(b) = \frac{4Gm}{bc^2} \quad (3.2)$$

Burada b – istiqamətdən asılı parametr, m – cəzb edən cismin kütləsidir. 3.2-ci şəkildən görüldüyü kimi, şüa işıq verən I nöqtəsindən çıxıb c cismindən əyilərək H müşahidəçisinə çatır.



Şəkil 3.2. Qravitasiya linzasının sxematik təsviri. Böyük kütləli c cismi I mənbəyindən gələn şüanı əyərək H müşahidəçisi üçün A və B nöqtələrində yerləşən iki təsvir yaradır.

Əgər işıq saçan mənbə böyük ölçülüdürsə, onda müşahidəçi mənbənin iki astiqmatik xəyalını görəcəkdir. Şüaları əyən c cismi

qravitasiya linzası adlandırılır. Əgər qravitasiyaetdirici c cisminin kütləsi obyektin mərkəzində deyil, müəyyən həcm boyu toplanmışdırsa və şüa bu həcm boyunca sərbəst keçib gedə bilirsə, onda keçən şüaların trayektoriyası daha mürəkkəb formaya malik olacaqdır. Adətən, belə hallarda müşahidəçi şüalanan obyektin üç xəyalını görəcəkdir.

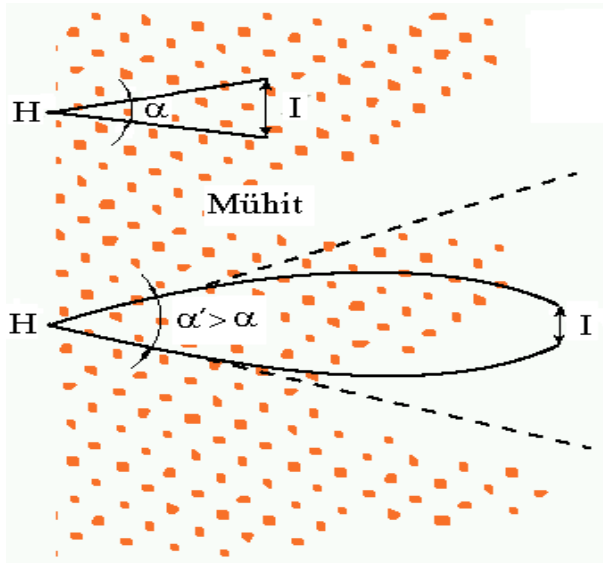
Hazırda bir neçə qravitasiya linzası aşkar edilmişdir. Bunlardan GSQ 0957+561 A, B kvazarı bir-birindən $5''.7$ bucaq məsafəsində yerləşən və identik spektr və $z=1.41$ qırmızı sürüşməyə, həm də təqribən eyni parlaqlığa malik sistemdir. Bu halda qravitasiya linzası kimi Yerlə kvazar arasında yerləşən qalaktika və ya qalaktikalar sistemi iştirak edir, nəticədə kvazarın yerdəki müşahidəçiyə nəzərən iki təsviri alınır.

İşığın qravitasiya fokuslanması ağır maddə ilə dolu mühitdə yayılarkən özünü xüsusi qaydada aparır. Konus daxilindəki materiyanın cazibəsi həmin şüaları 3.4-cü şəkildə göstəriləyi kimi əyir. Obyekt nə qədər uzaqda olarsa, maddə şüa konusu daxilində bir o qədər çox olar və şüalar bir o qədər çox əyilər. Bu da ona gətirib çıxarır ki, Kainatda müəyyən məsafədən başlayaraq daha uzaqda yerləşən obyektin görüş bucağı kiçilmək əvəzinə daha böyük görünür.

4. EROS proqramı

Qalaktikaların fırlanma əyrilərinin öyrənilməsi belə bir nəticəyə gətirmişdir ki, bu qalaktikalarda qalo (qalaktikanın mərkəzi də daxil olan kürəvi hissə) tutqun maddiyadan ibarətdir. İlk hesablamalara görə qalonun kütləsi qalaktikanın görünən maddəsinin kütləsindən on dəfə artıqdır. Bu tutqun maddənin təbiəti axıradək məlum deyildir. O

materiya qarşılıqlı təsirdə olan elementar zərrəciklərdən, yaxud da qəhvəyi cırtdanlardan və qara deşiklərdən ibarət ola bilər. Qalo materiyasının təbiətinin aşkar



Şəkil 3.4. İ mənbəyinin şüalanmasının H müşahidəçisinə qədər olan kosmoloji məsafənin böyüməsində alınan α görünmə bucağının böyüməsi effektini təsvir edən sxem.

edilməsi kosmologiyaya və qalaktikaların əmələ gəlməsi nəzəriyyəsinə mühüm təkan verə bilər.

Paçinskinin fikrincə bizim Qalaktikanın qalasında tutqun astronomik obyektləri öyrənmək üçün Böyük Magellan buludlarında (BMB) ayrı-ayrı ulduzları müşahidə etmək lazımdır. İş burasındadır ki, BMB ulduzlarından gələn şüalar Qalodakı böyük kütlənin yaxınlığından keçərkən müşahidəçinin bu ulduzdan aldığı işıq çoxalır. Bu artım məsafənin funksiyasıdır, zərbə parametri adlanan kəmiyyətdən asılıdır. Elə minimal məsafə var ki, bu zaman şüa hələ əyilmir. Böyüməni normal zərbə parametri ilə belə ifadə etmək olar:

$$A(u = r_0 / R_E) = \frac{u^2 + 2}{u(u^2 + 4)^{1/2}} \quad (4.1)$$

Burada R_E – «Eynşteyn radiusu»dur; M deflektorun kütlə funksiyası, D_d – deflektorla müşahidəçi arasında məsafə, D_s – müşahidəçi ilə ulduz arasında məsafə olarsa,

$$R_E^2 = \frac{4GM}{c^2} D_d \left(1 - \frac{D_d}{D_s}\right) \quad (4.2)$$

yaza bilərik. Əgər zərbə parametri deflektorun Eynşteyn radiusundan kiçikdirsə ($u < 1$), onda artım 0.3 ulduz ölçüsü təşkil edir. Verilən ulduz üçün bu artımın ehtimalı istənilən zaman anında həmin ulduzun ulduzla bizim aramızda yerləşən πR_E^2 sahəli dairənin daxilindəki deflektorda olması ilə eynidir. πR_E^2 kəmiyyəti deflektorun kütləsi ilə mütənasib, qalodakı deflektorların sayı isə onların kütləsi ilə tərs mütənasib olduğu üçün bu ehtimal baxış şüası istiqamətində toplanan

qara materiyanın kütləsi ilə mütənasib olacaqdır. Bu kütlə Qalaktikanın orta fırlanma sürətini müəyyən edir.

Ulduz, müşahidəçi və deflektor nisbi hərəkətdə olduğundan göstərilən artımın müddəti R_E / V_t kimi təyin olunur. Burada V_t – deflektorun en kəsiyin nisbi sürətidir. BMB obyektlərinin linzalanması zamanı bizim qalo 200 km/san sürətə malik olduğundan ən ehtimallı linzalanma vaxtı

$$\tau = 70 \sqrt{\frac{M}{M_{\odot}}} \quad (4.3)$$

gün olar. «Linzalanma müddəti» anlayışı həmin obyektin ulduz ölçüsünün 0.3 ulduz ölçüsü qədər artdığı müddətə deyilir. τ kəmiyyəti \sqrt{M} ilə mütənasib olduğundan, müşahidə ərzində aşkar olunan mikrolinzalama hadisələri \sqrt{M} ilə tərs mütənasib olar. Onda heç olmasa τ xarakterik vaxta malik bir hadisəni müşahidə etmək üçün müşahidə olunan ulduzların sayı ilə müşahidə vaxtının hasili $10^6 \tau$ tərtibində olmalıdır.

Əgər qalo kütləsi $10^{-7} M_{\odot}$ olan görünməyən obyektlərdən ibarətdirsə, onda xarakterik vaxt üçün bir neçə ay və bir neçə saat müddəti alırıq. Belə kütləli obyektlər hidrogendən ibarət ola bilər, bu zaman kütlə kiçik olduğundan termonüvə reaksiyası baş verməz ($M < 0.07 M_{\odot}$), bununla bərabər, uçub dağıla bilməz, bunun üçün bu kifayət qədər böyük kütlədir ($M > 10^{-7} M_{\odot}$). $0^m.3$ artımı qeyd etmək üçün fotometrik ölçmədə dəqiqlik $0^m.1$ -dən kiçik olmalıdır. İşıq əyriləri simmetrik, axromatik olmalı, tək bir ekstremuma malik olmalıdır, təkrarlanma olmamalıdır. Bu tələbləri qoymaqla əyriləri seçmək olar. Bu tələblər əsasında iki qrup müşahidə aparmışdır.

Birinci dəstə Livermor-Berkli-Maunt Stromlo-San Dieqo-Santa Barbara əməkdaşlığı BMB Maunt Stromloda, Avstraliyada işləmişdir. İkinci qrup EROS adlanırdı (Experience de Recherche d'Objets Sombres), 1990-cu ildən BMB –nı Çilidə La Sillada (ESO) izləmişdir.

EROS iki proqrama malik idi. Birincisi, 1-30 günlük xarakterik vaxtla 10^{-4} - $10^{-1} M_{\odot}$ kütləli deflektorları axtarmalı idi. Şmidt fotolövhlərinə 10 milyonlarla BMB ulduzlarının xəyalları bir neçə il ərzində çəkilmişdir. Bu ulduzların yarıdan çoxu parlaqdır və onlar üçün tələb olunan dəqiqliklə $0^m.3$ dəyişməsinə almaq mümkün olmuşdur.

İkinci proqram kütləsi 10^{-7} - $10^{-3} M_{\odot}$ və xarakterik müddəti 1-3 gün olan deflektorları axtarmalı idi. Bunun üçün xüsusi mozaik YƏc-lər vəsitəsi ilə eyni zamanda 150000 ulduzu hər 20 dəqiqədən bir qeyd edən qəbuledicidən istifadə olunmuşdur. Bu proqramın ilkin müsbət nəticələri artıq alınmışdır.

Әдәбиyyат

- Амнуэль П. Р., *Релятивистская астрофизика сегодня и завтра*, М., 1979;
- Бочкарев Н.Г., *Основы физики межзвездной среды*. М., Изд. МГУ, 1992.
- Гинзбург В.Л., Сыроватский С.И., *Происхождение космических лучей*, М., 1963;
- Гнедин Ю.Н., *Новые направления и новые проблемы*. Соросовский образовательный журнал. 1996, №8, с.76-83.
- Гусейнов О.Х., Зельдович Б.Я., *Астрон.ж.* 1966, т.3, с.313.
- Дорман Л.И., *Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей*, М., 1975;
- Засов А.В., Постнов К.А. *Общая астрофизика*. М. Фрязино, 2006.
- Кириллов-Угрюмов В. Г., Гальпер А. М., Лучков Б. И., *Гамма-астрономия*, М., 1978;
- Крат В.А., Котляр Л.М. *Стратосферная астрономия*. Л.: Наука, 1976;
- Курт В. Г., *Перспективы внеатмосферных астрономических исследований*, "Природа", 1972, 5;
- Курт В.Г. *Внеатмосферная астрономия*. 2008, www.astronet.ru/db/msq/1188962/index;
- Мартынов Д.Я. *Курс общей астрофизики*. 4-е изд. М.: Наука, 1988;
- Мирошниченко Л.И., *Космические лучи в межпланетном пространстве*, М., 1973;

- Москаленко Е.И. *Методы внеатмосферной астрономии*. М.: Наука, 1984;
- Современные достижения космонавтики*, М., 1981;
- Сулейманов В.Ф., *Рентгеновская астрономия*. Казань, 1998;
- Топтыгин И. Н., *Космические лучи в межпланетных магнитных полях*, М., 1983. ;
- Фацио Дж., *Инфракрасная астрономия*, в кн.: На переднем крае астрофизики, пер. с англ., М., 1979;
- Физика космоса*. Маленькая энциклопедия, 1986.;
- Черепашук А.М., *Тесные двойные звезды на поздних стадиях эволюции*. Соросовский образовательный журнал. 1996. No 8. с. 84-92.;
- Черепашук А.М., Чернин А.Д., *Вселенная, жизнь, черные дыры*. Фрязино, Век 2, 2003.;
- Шкловский И.С. *Звезды, их рождение, жизнь и смерть*. М.: Наука, 1984.;
- Шоломицкий Г.Б., Прилуцкий О.Ф., *Инфракрасная и субмиллиметровая астрономия*, М., Итоги науки и техники. Сер. исследование космич. пространства, 1979 т. 14.
- Юпитер глазами "Вояджера"*, М., 1981;
- Bleeker с.А.V., *X-Ray and Gamma-Ray Astronomy*. Elsevier Science Pub.Co. 1989, 324 p;
- Skinner G., Ballmoos P., N.Gehrels, C.Krizmanic., *Fresnel lenses for X-Ray and Gamma-Ray Astronomy*, 2003.;

Kitabda istifadə olunan bəzi qısaldılmış sözlər:

APS - Avtomatik Planetlərarası Stansiya

İQ – İnfraqırmızı

BMB – Böyük Maqellan Buludu

UB - Ultrabənövşəyi

YSP - Yer in süni peyki

PAS - Planetlərarası Avtomat stansiyalar

EOÇ - elektron-optik çevirici

KEG - küyün ekvivalent gücü

HR - Herşprung-Ressel (diaqramı)

QŞ - Qamma şüalanma

KFŞ - Kainatın Fon Şüalanması

İRAS - InfraRed Astronomical Satellite

Submm - submillimetrlik

EXTRA-ATMOSPHERIC ASTRONOMY

N.Z.İsmailov

In this textbook, written by phys.-math. dr. of sciences, professor's of Baku State University Ismailov N.Z. widely have presented basic features, methods of researches and some results which had received on the observations in the field of extra-atmospheric astronomy. Besides, the author acquaints of readers with the basic of theoretical representations, about mechanisms of formation separate forms of electromagnetic and radiation in space. Features of cosmic and neutrino radiations also were presented. In addition part of the book some most important problems of modern astrophysics was discussed.

The book is written as the manual for students of universities and scientists who are engaged in the field of astrophysics and may be useful for amateurs of astronomy.

N.Z.İSMAYILOV



ATMOSFERDƏNKƏNAR ASTRONOMİYA

, ab

ВНЕАТМОСФЕРНАЯ АСТРОНОМИЯ

Н.З.Исмаилов

В учебном пособии, написанный д-ром физ.-мат. наук, профессором Бакинского Государственного университета Н.З.Исмаиловым широко изложены основные особенности, методы исследований и некоторые результаты проведенных наблюдений в области внеатмосферной астрономии. Кроме того, автор знакомит читателя основными теоретическими представлениями о механизмах образования отдельных видов электромагнитного излучения в космосе. Изложены также особенности космического и нейтринного излучения. В дополнении приведены некоторые наиболее важные проблемы современной астрофизики.

Книга написана как учебное пособие для студентов университетов, а также полезна для научных работников, занимающихся в области астрофизики, и может быть интересным для любителей астрономии.

