

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI NAXÇIVAN
BÖLMƏSİ BATABAT ASTROFİZİKA RƏSƏDXANASI**

əlyazması hüququnda

MİRHƏSƏN MƏMMƏD OĞLU TAHİROV

İxtisas: 2108.01–Astrofizika və ulduz astronomiyası

**YÜKSƏK DISPERSİYALI ULDUZ SPEKTRLƏRİNDƏ
ZƏİF FRAUNHOFER XƏTLƏRİNİN PROFİLLƏRİNİN
İNCƏ QURULUŞUNUN TƏDQIQI**

**Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim
olunan dissertasiyanın**

AVTOREFERATI

Bakı – 2014

Dissertasiya işi AMEA Naxçıvan Bölməsi Batabat Astrofizika
Rəsədxanasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Fizika- riyaziyyat elmlər
doktoru, professor **C.M.Quluzadə**

Rəsmi opponentlər: Fizika- riyaziyyat elmlər doktoru
N.Z. İsmayılov
Fizika- riyaziyyat elmlər namizədi
K.İ. Alışeva

Aparıcı təşkilat: Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika
İnstitutunun Kosmik şüa mənbələri fizikası
laboratoriyası

Dissertasdiyanın müdafiəsi "28" "fevral" 2014-cü ildə saat 11⁰⁰-da
N. Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanasının nəzdində olan
FD.01.241 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ1141,Bakı,Yasamal, Hüseyn Cavid,31.

Dissertasiya ilə N.Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanasının elmi
kitabxanasında tanış olmaq olar.

Aftoreferat "27" "yanvar" 2014-cü ildə göndərilmişdir

**FD.01.241 Dissertasiya Şurasının
Elmi katibi:**

f.r.e.n. Ə.R. Həsənoa

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

1. Problemin aktuallığı

Məlum olduğu kimi ulduzların spektri, xüsusilə udulma (Fraunhofer) xətləri ulduz atmosferinin ən həssas göstəricisidir. Ulduz atmosferində baş verən bütün fiziki proseslər onun spektral xətlərində özünü açıq göstərir. Ulduz atmosferlərinin tədqiqində ayrı-ayrı spektral xətlərin müşahidə olunmuş profillərinin öyrənilməsinə əsaslanan tədqiqat üsulu “incə tədqiqat üsulu” adlanır və əsas tədqiqat üsuludur. Ona görə ulduz spektrində ayrı-ayrı spektral xətlərinin kifayət qədər dəqiq profillərinin qurulması və onların əsas spektrofotometrik xarakteristikalarının təyini ulduz atmosferlərinin dəqiq analizi üçün çox mühümdür.

Ulduz atmosferlərinin dəqiq analizində udulma xətlərinin profillərinin incə quruluşunun öyrənilməsi xüsusilə vacibdir. Lakin ayrı-ayrı udulma xətlərinin profillərinin incə quruluşunun öyrənilməsi yüksək spektral ayırmalı və yüksək dispersiyalı spektrlər tələb edir. Yalnız yüksək dispersiya və yüksək spektral ayırmalı ikiqat monoxromatorların spektroskopiyada tətbiqi Günəş spektrində Fraunhofer xətlərinin profillərinin incə quruluşunu öyrənməyə imkan vermişdir. Kiçik dispersiyalı spektral cihazlar spektral xətlərin profillərinin incə quruluşunu öyrənməyə imkan vermir.

Hələlilik spektri kifayət qədər böyük dispersiya ilə alınmış yeganə ulduz Kiçik Köpək bürcünün α -sı olan Prosiyon (α CMi) ulduzudur. Bu ulduzun yüksək dispersiyalı rəqəmsal spektri özü tez skan edən ikiqat monoxromatorun köməyi ilə R.F. Qriffin və R.Qriffin tərəfindən alınmışdır. Bu rəqəmsal spektral material spektrin $\lambda\lambda 3140\div 7470\text{\AA}$ bölgəsini əhatə edir. Materialda qalıq intensivliyi $5\text{m}\text{\AA}$ addımı ilə verilir. Bu da zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xətlərinin kifayət qədər dəqiq profillərini qurmağa və onların incə quruluşunu öyrənməyə imkan verir.

2. İşin məqsədi

Tədqiqat işində əsas məqsəd α CMi ulduzunun spektrində yüksək dispersiyalı ikiqat monoxromatorlarda alınmış rəqəmsal spektral materiallar əsasında 130-a yaxın blendlənməmiş zəif və orta in-

tensivlikli xətlərinin profillərinin spektrofotometrik xarakteristikalarının, asimmetriya, fundamental, təkamül parametrlərinin və kimyəvi tərkibin təyininəndən ibarətdir.

İşdə əsas aşağıdakı məsələlər qoyulur:

1. α CMi ulduzunun ikiqat monoxromatorların köməyi ilə alınmış yüksək dispersiyalı spektrində hidrogenin Balmer seriyasının H_β, H_γ və H_δ xətlərinin; NaI-in D_1 və D_2 rezonans xətlərinin, MgI-in b_1, b_2 və b_4 kvazirezonans xətlərinin və 130-a qədər zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xətlərinin profillərinin qurulması, onların əsas spektrofotometrik xarakteristikalarının təyini,
2. Yüksək dispersiyalı rəqəmsal spektral materiallar əsasında α CMi ulduzunun atmosferində mikroturbulent hərəkət sürətlərinin, bəzi kimyəvi elementlərin miqdarının model üsulu ilə təyini, Prosiyonun fundamental və təkamül parametrlərinin təyini,
3. Yüksək dispersiyalı rəqəmsal spektral materiallar əsasında α CMi ulduzunun spektrində 130 –a yaxın zəif və orta intensivlikli xətlərin profillərinin incə quruluşunun tədqiqi, asimmetriya parametrlərinin (differensial asimmetriya, integral asimmetriya, qalıq asimmetriya və nisbi asimmetriya) təyini və α CMi ulduzunun spektrində Fraunhofer xətlərinin asimmetriya xarakterinə görə təsnifatı,
4. Integral, qalıq və nisbi asimmetriyanın spektral xətlərin intensivliyindən və həyəcanlaşma potensialında asılılığının tədqiqi,

3. İşin elmi yeniliyi

α CMi ulduzunun yüksək dispersiyalı tezyazan ikiqat monoxromatorlarda alınmış rəqəmsal spektral materiallar əsasında aşağıdakı yeni elmi nəticələr alınmışdır:

1. İlk dəfə olaraq α CMi ulduzunun spektrində hidrogenin Balmer seriyasının $H_\beta(\lambda 4861,32 E)$, $H_\gamma(\lambda 4340,46 E)$ və xətlərinin, Na-in $D_1(\lambda 5895.940 E)$ və $D_2(\lambda 5889.973 E)$ güclü rezonans xətlərinin və $b_1(\lambda 5183.640 E)$, $b_2(\lambda 5172,698 E)$ və $b_4(\lambda 5167,340 E)$ kvazirezonans xətlərinin etibarlı profilləri qurulmuş və onların spektrofotometrik xarakteristikaları təyin olunmuşdur.

2. İlk dəfə olaraq yüksək dispersiyalı rəqəmsal spektral materiallar əsasında model üsulu ilə α CMi ulduzunun atmosferində mikroturbulent hərəkət sürəti, bir çox kimyəvi elementlərin miqdarı, Prosiyonun fundamental və təkamül parametrləri təyin olunmuşdur.

3. İlk dəfə olaraq yüksək dispersiya ilə alınmış α CMi ulduzunun spektrində 130-a yaxın zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xəttinin profilləri qurulmuş, onların spektrofotometrik xarakteristikaları (ekvivalent enlikləri W , yarımənlikləri $\Delta\lambda_{1/2}$, dördübir enlikləri $\Delta\lambda_{1/4}$ və mərkəzi dərinlikləri R_0) təyin olunmuş, asimmetriya parametrləri (differensial asimmetriya $\delta(R_i)$, inteqral asimmetriya

$$\Lambda = \sum_i |\delta(R_i)| \Delta R_i, \text{ qalıq asimmetriya}$$

$$\Delta\Lambda = \sum_{\delta(R)>0} |\delta(R_i)| \Delta R_i - \sum_{\delta(R)<0} |\delta(R_i)| \Delta R_i,$$

nisbi asimmetriya

$$\Lambda_0 = \frac{\sum_i |\delta(R_i)| \Delta R_i}{W} 100\%$$

təyin olunmuş və zəif Fraunhofer xətlərinin profillərinin daxilində differensial asimmetriyanın qiymət və işarə (bənövşəyi və qırmızı) dəyişməsi (profillərin asimmetriyasının incə quruluşu) aşkar edilmiş və öyrənilmişdir.

4. İlk dəfə olaraq α CMi-nin spektrində inteqral, qalıq və nisbi asimmetriyanın atom və atmosfer xarakteristikalarından asılılığı öyrənilmiş və Fraunhofer xətlərinin asimmetriya xarakterlərinə görə təsnifatı aparılmışdır.

4. İşin praktiki əhəmiyyəti

İşdə alınmış elmi nəticələr aşağıdakı problemlərin həllində istifadə oluna bilər:

1. Ulduz atmosferlərinin modellərinin dəqiqləşdirilməsində,
2. Ulduz atmosferlərində gedən fiziki proseslərin təhlilində,
3. Ulduz atmosferlərində Fraunhofer xətlərinin profillərinin asimmetrik olmasına səbəb olan dinamik proseslərin öyrənilməsində

4. Ulduz atmosferlərində müxtəlif elementlərin kəmiyyət miqdarının dəqiqləşdirilməsində

5. Ulduz atmosferlərində yayılan müxtəlif növ dalğaların təbiətinin öyrənilməsində.

5. İşin aprobasiyası

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı yerli və beynəlxalq konfranslarda məruzə edilmişdir.

1. Fizika və Astronomiya problemləri, Respublika elmi konfransı, Bakı 19 may, 2007.
2. Fizikanın aktual problemləri, VI Respublika elmi konfransı, Bakı, 20 noyabr, 2010.
3. Физика Солнца и 25-й цикл, Крымская Астрофизическая Обсерватория, 2-8 сентября, 2012 г.
4. Fizikanın aktual problemləri, VII Respublika elmi konfransı, Bakı, 26 noyabr, 2012.
5. Космические магнитные поля: наследие А.Б. Северного, Крымская Астрофизическая Обсерватория, 2-6 сентября, 2013.
6. Fizikanın aktual problemləri, beynəlxalq elmi konfransı, Bakı, 6 dekabr, 2013.

6. Müdafiəyə çıxarılır:

1. Özü tezyazan ikiqat monoxromatorlarda alınmış rəqəmsal spektral materiallar əsasında α CMi ulduzunun spektrində hidrogenin Balmer seriyasının $H_\beta (\lambda 4861,342 E)$, $H_\gamma (\lambda 4340,475 E)$ və $H_\delta (\lambda 4101,743 E)$, NaI-in rezonans dubleti $D_1 NaI (\lambda 5895.940 \text{ \AA})$, $D_2 NaI (\lambda 5899.730 \text{ \AA})$ xətlərinin və MgI-in yaşıl triplet xətləri $b_1 (\lambda 5167.340 \text{ \AA})$, $b_2 (\lambda 5172.340698 \text{ \AA})$ və $b_4 (\lambda 5183,640 \text{ \AA})$ kvazirezonans xətlərinin və 130-a yaxın zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xəttinin əsas spektrofotometrik xarakteristikaları, asimmetriya (inteqral asimmetriya, qalıq asimmetriya, nisbi asimmetriya) parametrlərinin təyini,

2. Model üsulu ilə α CMI-nin atmosferində bəzi kimyəvi elementlərin miqdarının, mikroturbulent hərəkət sürətlərinin və Prosiyon ulduzunun fundamental və təkamül parametrlərinin təyini,
3. α CMI spektrində Fraunhofer xətlərinin profillərinin asimmetriyasının atom və fotosfer parametrlərindən asılılığının tədqiqi və asimmetriya xarakterinə görə təsnifatı.

7. Publikasiya

Dissertasiyanın mövzusu üzrə 8 məqalə çap olunmuşdur. Onlardan yeddisi ölkə daxilində biri xaricdə yayımlanmışdır.

8. İşin strukturu və həcmi

Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, əsas nəticələrdən və 74 sayda ədəbiyyat siyahısı da daxil olmaqla 125 səhifədən ibarətdir. İşdə 17 cədvəl, 57 grafik vardır.

İşin qısa məzmunu

Dissertasiya işinin girişində mövzunun aktuallığı, işdəki elmi yeniliklər, alınmış nəticələrin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti, işin məqsədi, işin aprobasiyası, dissertasiya işinə aid çap olunmuş məqalələr, müdafiəyə çıxarılan müddəalar, dissertasiyanı həcmi və strukturu geniş təsvir olunur.

Dissertasiyanın I fəsili işdə istifadə olunan müşahidə materiallarına və onların işlənmə metodikasına həsr olunmuşdur.

Fəslin 1.1 bəndində Prosiyonu Herşprunq-Ressel diaqramında yeri, ulduz ölçüsü, parallaksı, spektral sinifi, rəng göstəricisi, kütləsi, radiusu, işıqlığı, qravitasiya sahəsinin intensivliyi, temperaturu, atmosferində turbulent hərəkətlərin sürəti və s. verilmişdir.

Fəslin 1.2 bəndində istifadə olunan müşahidə materialı təsvir olunur. İşdə R.F. Grifflin və R. Qriffinin özü tez qeyd edən ikiqat monoxromatorda aldığı yüksək dispersiyalı rəqəmsal spektral materiallardan istifadə edilmişdir. Spektr Maunt Vilson rəsədxanasının 1000 millimetrlik refraktorunun kude fokusunda alınmışdır. Spektrin $\lambda\lambda 3140 \div 5400 \text{ \AA}$ bölgəsi spektroqrafın *IV* və *III* tərtiblərində, $\lambda\lambda 5400 \div 7470 \text{ \AA}$ bölgəsi isə spektrin *II* tərtibində alınmışdır. Spektrdə qalıq intensivliyi $0 \div 100$ intervalında dəyişir. Qalıq intensivlikləri $5m \text{ \AA}$ addımı ilə verilir. Bu da zəif Fraunhofer xətlərinin profillərini

qurmağa və onların spektrofotometrik xarakteristikalarını böyük dəqiqliklə təyin etməyə imkan verir.

Fəslin 1.3 bəndində tədqiq olunan zəif və orta intensivlikli spektral xətlərin profillərinin qurulması təsvir olunur. Tədqiq üçün 130-a yaxın Fraunhofer xətti seçilmişdir. Bu xətlərin dalğa uzunluqları, mənsub olduqları kimyəvi elementlər, xətlərin aşağı və yuxarı enerji səviyyələrinin həyəcanlaşma potensialı və Mur cədvəlinə görə multipletlikləri cədvəl şəklində verilmişdir. İşdə istifadə olunan xətlər spektrin $\lambda\lambda 4100 \div 6500 \text{ \AA}$ bölgəsini əhatə edir. Onların aşağı səviyyələrinin həyəcanlaşma potensialı 0.00 ev -la 5.9 ev arasında dəyişir. Xətlərin ekvivalent enləri $W = 20m \text{ \AA}$ ilə $W = 580m \text{ \AA}$ arasında dəyişir.

Spektral xətlərin profillərinin qurulması və onların spektrofotometrik xarakteristikalarının təyini origin proqramı ilə kompyuterdə aparılmışdır. Bu proses işdə geniş təsvir olunmuşdur.

Fəslin 1.4 bəndində origin proqramı ilə müşahidədən alınmış profillər nəzəri sintez olunmuş profillərlə müqayisə olunur. Müqayisə göstərir ki, sintez olunmuş spektr müşahidə olunmuş spektri ümumi olaraq yaxşı təsvir etsə də spektral xəttin spektrofotometrik xarakteristikaları nəzərə alınacaq dərəcədə fərqlənir. Belə ki, müşahidə olunmuş profilin ekvivalent eni, yarıməni, dördübir eni və mərkəzi dərinliyi sintez olunmuş profilinkindən böyükdür.

Fəslin 1.5 və 1.6 bəndləri origin proqramı ilə zəif və güclü Fraunhofer xətlərinin spektrofotometrik xarakteristikalarının təyininə və bu zaman yol verilə bilən xətlərin təsvirinə həsr olunmuşdur.

Dissertasiyanın **II fəsli** Prosiyon spektrində Fraunhofer xətlərinin profillərinin tədqiqinə həsr edilmişdir. Bu fəslə hidrogenin Balmer seriyasının H_β , H_γ və H_δ xətləri, *NaI*-in D_1 və D_2 xətləri, *MgI*-in b_1 , b_2 və b_4 xətləri və 130-a qədər zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xətlərinin profilləri daxildir.

Fəslin 2.1 bəndində Prosiyon spektrində Balmer seriyasının H_β , H_γ və H_δ xətlərinin dəqiq profilləri qurulur və onların spektrofotometrik xarakteristikaları böyük dəqiqliklə təyin olunur. Alınmış nəticələr Günəş ulduz kimi spektrində alınmış nəticələrlə

müqayisə olunur. Alınmışdır ki, Prosiyon spektrində Balmer xətləri daha geniş və daha dərin profillərlə xarakterizə olunurlar.

Fəslin 2.2 bəndində Prosiyon spektrində Balmer xətlərinin genişlənmə mexanizmləri müzakirə olunur. Bu məqsədlə Quluzadənin təklif etdiyi üsuldən istifadə olunur.

Spektral xətlər spektro- fotometrik xarakteristikalar	H_{δ}		H_{γ}		H_{β}	
	Prosiyon	Günəş ulduz kimi	Prosiyon	Günəş ulduz kimi	Prosiyon	Günəş ulduz kimi
$W, \text{\AA}$	6.38	3.95	6.63	3.54	6.04	3.56
R_0	0.848	0.788	0.850	0.828	0.862	0.850
$\Delta\lambda_{1/2}, \text{\AA}$	2.80	1.32	2.68	1.12	2.20	1.10
$\Delta\lambda_{1/4}, \text{\AA}$	4.41	4.40	9.62	3.82	8.21	3.43

Cədvəl 1. Prosiyon spektrində Balmer xətlərinin müşahidədən alınmış spektrofotometrik xarakteristikaları

Profilin qanadlarının müxtəlif bölgələrində qalıq intensivliyinin $\Delta\lambda$ -dan (xəttin mərkəzindən olan məsafədən) asılılıq qanununu təyin edən “ n ” göstəricisi təyin olunur. Göstərilir ki, Balmer xətlərinin qanadlarında genişlənmə mexanizmləri dəyişir. Alınmışdır ki, H_{β} xətti üçün isə $\Delta\lambda = 21.4 \text{\AA}$ olduqda Ştark effekti əsas rol oynamağa başlayır. H_{δ} xətti üçün isə Ştark effekti profilin xəttin mərkəzinə daha yaxın yerlərindən, yəni $\Delta\lambda \geq 12.8 \text{\AA}$ olduqda, əsas rol oynamağa başlayır. Cədvəl 1-də Prosiyon spektrində Balmer xətlərinin müşahidədən alınmış spektrofotometrik xarakteristikaları verilmişdir.

Fəslin 2.3 bəndində Prosiyon spektrində NaI -in D_1 və D_2 rezonans xətlərinin profilləri öyrənilir. Yüksək dispersiyalı materiallar əsasında ilk dəfə olaraq Prosiyon spektrində bu xətlərin spektrofotometrik xarakteristikaları təyin olunur və alınmış nəticələr Günəş ulduz kimi

spektrində alınmış nəticələrlə müqayisə olunur. Balmer xətlərindən fərqli olaraq D_1 və D_2 xətləri Prosiyon spektrində Günəş ulduz kimi spektrindəkinə nisbətən xeyli zəifdir. Bu xətlərin mərkəzi dərinliklərində daha açıq görünür. Belə ki, D_1 və D_2 xətlərinin mərkəzi qalıq intensivlikləri Günəş ulduz kimi spektrində olduğundan təxminən beş dəfə böyükdür. Profillərin Günəş ulduz kimi və

Spektrofotometrik xarakteristikalar	D_1NaI		D_2NaI	
	Günəş ulduz kimi	Prosiyon	Günəş ulduz kimi	Prosiyon
$W, \text{\AA}$	0.59	0.46	0.81	0.67
$\Delta\lambda_{1/2}, \text{\AA}$	0.35	0.34	0.38	0.37
$\Delta\lambda_{1/4}, \text{\AA}$	0.68	0.52	0.74	0.53
r_0	0.055	0.22	0.022	0.176

cədvəl 2. NaI -in D_1 və D_2 xətlərinin müşahidə olunmuş profillərinin spektrofotometrik xarakteristikaları

Prosiyon spektrlərinin belə fərqli olması onların atmosferlərində Na atomların həyəcanlaşma şəraitinin fərqli olması ilə əlaqədardır. NaI -in D_1 və D_2 xətlərinin müşahidə olunmuş profillərinin spektrofotometrik xarakteristikaları cədvəl 2-də verilmişdir.

Fəslin 2.4, 2.5 və 2.6 bəndləri MgI -in güclü b_1 , b_2 və b_4 xətlərinin profillərinin tədqiqinə həsr olunub. Bu bəndlərdə “ b ” xətlərinin yüksək dispersiyalı rəqəmsal spektral materiallar əsasında profilləri qurulur və onların spektrofotometrik xarakteristikaları təyin olunur. Alınmış nəticələr Günəş ulduz kimi ilə müqayisədə cədvəl 3- də verilmişdir.

$\lambda, \text{\AA}$	Spektrofotometrik xarakteristikaları	Prosiyon	Günəş ulduz kimi	Δ
5183.619	$W, \text{\AA}$	0.58	1.66	1.08
	$\lambda_{1/2}, \text{\AA}$	0.48	1.20	0.72
	$\lambda_{1/4}, \text{\AA}$	0.87	2.30	1.43
	R_0	0.829	0.928	0.099
5172.698	$W, \text{\AA}$	0.42	1.31	0.89
	$\lambda_{1/2}, \text{\AA}$	0.41	0.90	0.49
	$\lambda_{1/4}, \text{\AA}$	0.69	1.74	1.05
	R_0	0.802	0.924	0.122
5167.328	$W, \text{\AA}$	0.39	0.83	0.44
	$\lambda_{1/2}, \text{\AA}$	0.36	0.62	0.26
	$\lambda_{1/4}, \text{\AA}$	0.56	1.14	0.58
	R_0	0.764	0.900	0.136

cədvəl 3 MgI -in güclü b_1, b_2 və b_4 xətlərinin spektrofotometrik xarakteristikaları

MgI -in “b” xətləri Prosiyon spektrində Günəş ulduz kimi spektrdəkinə nisbətən xeyli zəifdir. Beləki xətlərin ekvivalent enləri və yarımənələri Günəşdəkinə nisbətən 3 dəfə azdır. Profillərin mərkəzi, dərinlikləri isə çox fərqlənir. Bu fərq hər üç xətt üçün təxminən $\Delta R = R_0^\ominus - R_0^{pr} \approx 0.12$.

Fəsilin 2.7 bəndində Günəş və Prosiyon spektrində “b” xətlərinin profillərinin özəlliyindən bəhs edilir. Əvvəllər Quluzadə göstərilməmişdir ki, b_1 və b_2 xətlərinin profillərinin nüvəsindən qanadlara keçid digər güclü xətlərdə olduğu kimi, tədricən yox, kəskin baş verir. Özü də bu effekt xətlərin intensivliyindən asılıdır. Belə ki, b_1 xəttində bu daha aydın və daha kəskindir, b_2 xəttində bu bir qədər zəifləyir, b_4 xəttində isə demək olar ki, müşahidə olunmur.

Günəş ulduz kimi spektrində bu effekt bir qədər zəifləyir. Dəqiq ölçmələr göstərmişdir ki, yüksək dispersiyalı Prosiyon spektrində “b”

xətlərinin profillərində Dopler nüvəsinin qanadlardan kəskin ayrılması müşahidə olunmur.

İşdə güman edilir ki, Günəş spektrində “b” xətlərinin profilində müşahidə olunan bu effekt profilin nüvə və uzaq qanadlarının effektiv oluşma dərinliklərinin kəskin fərqli olması ilə əlaqədardır.

Prosiyon atmosferində təzyiq və sıxlıq Günəş atmosferindəkindən xeyli azdır. Bundan başqa Prosiyon üçün ortalaşdırma daha böyük fəza üzrə baş verir. Ona görə Prosiyon spektrində bu effekt müşahidə olunmur.

Fəsilin 2.8 bəndində Prosiyonun yüksək dispersiyalı rəqəmsal spektrində 130-a qədər zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xəttinin profilləri qurulur və spektrometrik xarakteristikaları təyin olunur. Bu xətlərin təxminən 83%-i normal elementlərə, 17%-i isə ionlaşmış atomlara aiddir.

İlk dəfə olaraq yüksək dispersiyalı Prosiyon spektrində zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xətlərinin profillərinin spektrofotometrik xarakteristikaları (ekvivalent enləri W , yarımənələri $\Delta\lambda_{1/2}$, dördəbir enləri $\Delta\lambda_{1/4}$ və mərkəzi dərinlikləri R_0) böyük dəqiqliklə təyin olunur.

Fəsilin 2.9 və 2.10 bəndlərində Fraunhofer xəttinin profillərinin müxtəlif xarakteristikaları arasında əlaqə öyrənilir və Günəşlə müqayisə olunur. Alınmışdır ki, $W \leq 175 \text{\AA}$ bölgəsində mərkəzi dərinliyin R_0 , yarımənənin $\Delta\lambda_{1/2}$ və dördəbir eni $\Delta\lambda_{1/4}$ ekvivalent endən xətti asılı olaraq artır, $W \geq 175 \text{\AA}$ -dən başlayaraq xətlilik pozulur və sanki doyma baş verir.

Daha sonra Prosiyon və Günəş spektrində ekvivalent enlərin fərqi $\Delta W = W_{pr} - W_G$ dalğa uzunluğundan asılılığı öyrənilir. Aydın olmuşdur ki, $\lambda < 5000 \text{\AA}$ olduqda $\Delta W > 0$, $\lambda > 5000 \text{\AA}$ olduqda isə $\Delta W < 0$. Bu fərq $\lambda = 5500 \text{\AA}$ olduqda maksimal mənfi qiymət alır, $\lambda \rightarrow 6000 \text{\AA}$ olduqda bu fərq sıfıra yaxınlaşır.

Prosiyon və Günəş spektrlərində xətlərin ekvivalent enlərinin fərqi $\Delta W = W_{pr} - W_G$ intensivlikdən asılılığı göstərir ki,

$W = 510 \text{ mE}$ bölgəsində $\Delta W < 0$, $W > 510 \text{ mE}$ olduqda isə $\Delta W > 0$. Bu o deməkdir ki, zəif xətlər Günəşdə Prosiyondakına nisbətən daha zəifdir. Xətlərin ekvivalent eni artdıqca bu fərq azalır və $W \geq 510 \text{ mE}$ olduqda xətlər Prosiyonda daha güclü olur.

Prosiyon və Günəş ulduz kimi spektrində Fraunhofer xətlərinin yarımənələrinin fərqi üçün aşağıdakı mənzərə alınmışdır. Xətlərin ekvivalent enləri $\Delta W \leq 125 \text{ mÅ}$ olduqda

$$\delta\left(\Delta\lambda_{\frac{1}{2}}\right) = \Delta\lambda_{\frac{1}{2}}^{p_r} - \Delta\lambda_{\frac{1}{2}}^G > 0$$

olur. Yəni bu bölgədə xətlər Prosiyon spektrində daha genişdirlər. $W \geq 125 \text{ mÅ}$ olduqda bu fərq $\delta\left(\Delta\lambda_{\frac{1}{2}}\right) < 0$ olur, $W = 540 \text{ mÅ}$

olduqda fərq sıfıra çatır və $W > 540 \text{ mÅ}$ olduqda $\delta\left(\Delta\lambda_{\frac{1}{2}}\right) > 0$ olur.

Xətlərin dördəbir enləri üçün demək olar ki, eyni mənzərə alınır: $W \approx 125 \text{ mÅ}$ olduqda dördəbir enlərin fərqi

$\delta\left(\Delta\lambda_{\frac{1}{4}}\right) = \Delta\lambda_{\frac{1}{4}}^{p_r} - \Delta\lambda_{\frac{1}{4}}^G = 0$ olur. $125 < W < 550 \text{ mÅ}$ olduqda

$\delta\left(\Delta\lambda_{\frac{1}{4}}\right) < 0$ olur. $W \geq 550 \text{ mÅ}$ olduqda $\delta\left(\Delta\lambda_{\frac{1}{4}}\right) > 0$ olur.

Prosiyon və Günəş ulduz kimi spektrlərində Fraunhofer xətlərinin mərkəzi dərinliklərinin fərqi $\Delta R_0 = R_0^{p_r} - R_0^G$ demək olar ki, bütün zəif xətlər üçün mənfidir. Yəni xətlər Günəş ulduz kimi spektrində daha dərindirlər.

Dissertasiya işinin **III fəsl** Prosiyonun fundamental və təkamül parametrlərinin təyininə həsr olunmuşdur.

Fəslin 3.1 bəndində Prosiyonun əsas xarakteristikaları haqqında məlumat verilir və onun hazırda qəbul edilmiş xarakteristikaları: HD kataloqunda nömrəsi, spektral sinifi (F5IV), görünən ulduz ölçüsü ($m_r = 0.5$), ulduzlararası fəzada udulma ($A = 0.0$), parallaks ($\pi \approx 0,288$) və ulduza qədər məsafə ($d = 3.47 \text{ pk}$) verilmişdir.

Fəslin 3.2 və 3.3 bəndlərində Prosiyonun effektiv temperaturu T_{eff} və səthində ağırlıq qüvvəsinin təcili təyin olunur.

$$Q = (U - B) - 0,72(B - V)$$

və

$$[c_1] = c_1 - 0,2(b - y)$$

Fotometrik indekslərinin atmosfer modelləri əsasında hesablanmış qiymətlərinin müşahidədən alınmış qiymətləri ilə müqayisəsinə əsasən alınmışdır ki, Prosiyonun effektiv temperaturu $T_{eff} = 6680 \text{ K}$, səthində ağırlıq qüvvəsinin təcili $\log g = 4$. Prosiyonun effektiv temperaturunun və səthində ağırlıq qüvvəsinin təyində əvvəlki işlərdən fərqli olaraq ilk dəfə parallaks üsulu tətbiq olunmuşdur. Bu zaman məlum

$$\log g - \lg \frac{M}{M_{\odot}} - 0,4 BC = -10,50 + 4 \log T_{eff} + 2 \log \pi'' + 0,4 m_v - 0,4 A_v$$

ifadəsindən istifadə edilmişdir. Burada M ulduzun kütləsi, $M_{\odot}$ – Günəşin kütləsi və BC bolometrik düzəlişdir.

Fəslin 3.4 bəndində Prosiyonun təkamül parametrləri təyin olunur. Əvvəlcə təkamül ayrılərindən məlum $\log g$ və T_{eff} - ə görə ulduzun nisbi kütləsi $M/M_{\odot}$ təyin olunur. Ondan sonra məlum

$$\lg \frac{R}{R_{\odot}} \approx 2,22 + 0,5 \log \frac{M}{M_{\odot}} - 0,5 \log g$$

ifadəsindən $\lg R/R_{\odot}$ təyin olunur. Daha sonra

$$\lg \frac{L}{L_{\odot}} \approx -15,045 + 2 \log \frac{R}{R_{\odot}} + 4 \log T_{eff}$$

ifadəsindən $\lg L/L_{\odot}$ təyin olunur. Nəticədə alınmışdır ki, Prosiyon

üçün $R/R_{\odot} = 2$, $L/L_{\odot} = 6.3$.

Fəslin 3.5 bəndində Prosiyon atmosferinin kimyəvi tərkibi təyin olunur. Model üsulu ilə 90-a yaxın müxtəlif intensivlikli

Fraunhofer xətlərin müəllif tərəfindən təyin olunmuş ekvivalent enlərinə görə kimyəvi elementlərin miqdarı təyin olunur. Xətlərin assilyator gücləri Boyarçak və Savanovun işindən götürülmüşdür. Prosiyon atmosferində turbulent hərəkət sürətləri əvvəlcədən təyin edilmiş və $\xi_t = 2,3 \text{ km/s}$ qəbul edilmişdir. İşdə bir çox kimyəvi elementlərin nisbi miqdarı

$$\log \varepsilon = \lg \frac{N(\text{element})}{N(\text{Hidrogen})} + 12$$

şkalasında təyin olunmuşdur. Alınmış nəticələr cədvəl 4-də verilmişdir.

Element	Lg ε_*	Xətlərin sayı	Lg $\varepsilon_{\square}$	$\Delta \lg \varepsilon$
Mg I	7.88 ± 0.11	2	7.60	+0.28
Ca I	6.44 ± 0.005	2	6.36	+0.28
Ti I	5.04 ± 0.02	2	4.86	+0.18
Ti II	5.23 ± 0.11	3	4.96	+0.27
Cr I	5.67 ± 0.08	3	5.61	+0.06
Cr II	5.48 ± 0.27	3	5.50	-0.02
Mn I	5.62	1	5.55	+0.07
Fe I	7.64 ± 0.07	63	7.60	+0.04
Fe II	7.82 ± 0.07	6	7.80	+0.02
Ni I	6.38 ± 0.10	5	6.08	+0.30
Zn I	4.48	1	4.42	+0.06

Cədvəl 4 Prosiyon ulduzunda kimyəvi elementlərin miqdarı

Dissertasiyanın sonuncu **IV fəsl**i Prosiyon spektrində Fraunhofer xətlərinin profillərinin incə quruluşunun tədqiqinə həsr olunmuşdur.

Fəslin 4.1 və 4.2 bölmələrində Günəş spektrində Fraunhofer xətlərinin profillərinin asimmetrik olmasının kəşfindən və asimmetriyanı öyrənmək üçün istifadə olunan ilk üsullar (bisektor üsulu, asimmetriya əmsalı üsulu və s.) haqqında məlumat verilir və onların çatışmazlıqları göstərilir.

Fəslin 4.3 bəndində Bakı Dövlət Universitetinin Astrofizika kafedrasında hazırlanmış yeni kəmiyyət üsulu və onun əvvəlki üsullardan üstünlüyü göstərilir.

Fəslin 4.4 və 4.5 bəndlərində dissertasiya işində profilləri təyin olunmuş 130-a qədər zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xətlərinin profillərinin asimmetriyası öyrənilir və onların differensial asimmetriyası

$$\delta(R_i) = \Delta\lambda_{\nu_i} - \Delta\lambda_{\gamma_i},$$

integral asimmetriyası

$$\Lambda = \sum_i |\delta(R_i)| \Delta R_i = \sum_{\delta(R)>0} |\delta(R_i)| \Delta R_i + \sum_{\delta(R)<0} |\delta(R_i)| \Delta R_i,$$

integral asimmetriyanın müsbət

$$\Lambda_+ = \sum_{\delta(R)>0} |\delta(R_i)| \Delta R_i,$$

və mənfi

$$\Lambda_- = \sum_{\delta(R)<0} |\delta(R_i)| \Delta R_i,$$

payları, qalıq asimmetriyası

$$\Delta\Lambda = \sum_{\delta(R)>0} |\delta(R_i)| \Delta R_i - \sum_{\delta(R)<0} |\delta(R_i)| \Delta R_i$$

və nisbi asimmetriyası

$$\Lambda_0 = \frac{\sum_i |\delta(R_i)| \Delta R_i}{W} 100\%$$

təyin olunur.

Asimmetriya parametrləri BDU-nun Astrofizika kafedrasında hazırlanmış sistem proqramla kompyuterdə hesablanmışdır. Nəticələr dissertasiya işində cədvəl şəklində verilmişdir.

Fəslin 4.6 bəndində $\lambda 4515,337 \text{ \AA}$ xətti timsalında differensial asimmetriyanın xəttin daxilində dəyişməsi göstərilmiş və təhlil edilmişdir.

Fəslin 4.7 bəndində integral asimmetriyanın xətlərin ekvivalent enlərindən asılılığı öyrənilir. Göstərilir ki, hər iki növ

asimetriyalı (bənövşəyi asimetriya üstünlük edən, qırmızı asimetriya üstünlük edən) xətlər üçün xətlərin intensivliyi artdıqca inteqral asimetriya artır. Bu da fiziki mülahizələrə uyğundur.

Fəslin 4.8 bəndində bu məsələyə aşağı səviyyəsi cüt və tək termlər olan spektral xətlər üçün ayrıca baxılmışdır. Hər iki halda xətlərin intensivlik artdıqca inteqral asimetriyanın artması müşahidə olunur. Aşağı səviyyələri cüt olan xətlər üçün intensivliyin artması ilə inteqral asimetriyanın artması bir qədər sürətlə baş verir.

Fəslin 4.9 bəndində bəndində inteqral asimetriyanın spektral xətlərin yarımenlərindən və dördübir enlərindən asılılığı öyrənilir. Maraqlıdır ki, inteqral asimetriyanın spektral xətlərin enindən asılılığı ekvivalent enlərdən asılılığından daha aşkar və daha kəskindir. Bu o deməkdir ki, asimetriya əsasən spektral xətlərin eninə təsir edir.

Fəslin 4.10 bəndində inteqral asimetriyanın spektral xətlərin aşağı səviyyələrinin həyəcanlaşma potensialından asılılığı öyrənilir. Tədqiqat göstərir ki, bu asılılıqda səpilmə çox böyükdür və qəti bir fikir söyləmək olmur. Orta hesabla söyləmək olar ki, həyəcanlaşma potensialı artdıqca inteqral asimetriya azalır.

Fəslin 4.11 bəndi Prosiyon spektrində Fraunhofer xətlərinin asimetriya xarakterinə görə təsnifatı aparılır. Göstərilir ki, Quluzadə təsnifatına görə 128 xətdən I sinifə inteqral asimetriyanın neqativ payı ($\Lambda_- = 0$) 12 xətt, II sinifə inteqral asimetriyanın pozitiv payı

($\Lambda_+ = 0$) 7 xətt, III sinifə bənövşəyi asimetriya üstünlük təşkil edən ($\Delta\Lambda > 0$) 55 xətt, IV sinifə qırmızı asimetriya üstünlük təşkil edən ($\Delta\Lambda < 0$) 54 xətt, V sinifə profilləri simmetrik olan ($\Lambda = 0$) 0 xətt və VI sinifə hər iki asimetriyası (bənövşəyi və qırmızı) eyni olan ($\Delta\Lambda = 0$) 0 xətt daxil edilmişdir.

Dissertasiyanın sonunda alınmış əsas nəticələr 5 maddədə sadalanmış və dissertasiya mövzusunda çap olunmuş məqalələrin siyahısı verilmişdir.

Əsas nəticələr

1. İlk dəfə olaraq yüksək dispersiya və yüksək ayırmalı Prosiyon spektrində 130 – a qədər zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xəttinin, *NaI* - in D_1 , D_2 güclü rezonans xətlərinin, *MgI* - in “b” xətlərinin və hidrogenin Balmer seriyasının H_β , H_γ , H_δ xətlərinin spektrofotometrik xarakteristikaları təyin olunmuşdur.
2. Model üsulu ilə Prosiyonun fundamental və təkamül parametrləri $T_e=6680K$, $\log g=4$, $M/M_\odot=1.5$, $R/R_\odot=2$, $L/L_\odot=6.3$, $v_t=2.3km/san$ və bir çox kimyəvi elementin miqdarı təyin olunmuşdur.
3. İlk dəfə olaraq yüksək ayırmalı və yüksək dispersiyalı rəqəmsal spektral materiallar əsasında Prosiyon spektrində 130-a qədər zəif və orta intensivlikli Fraunhofer xətlərinin profillərinin asimetriyası öyrənilmiş, onların asimetriya parametrləri təyin olunmuş, ilk dəfə olaraq Prosiyon spektrində verilmiş xətt daxilində asimetriyanın qiymət və işarəcə bir neçə dəfə dəyişdiyi, başqa sözlə profillərin asimetriyasının incə quruluşu aşkar edilmişdir.
4. Göstərilir ki, istifadə olunan xətlərin intensivliyi artdıqca inteqral asimetriya artır. Bu da fiziki mülahizələrə uyğundur.
5. İlk dəfə olaraq Prosiyon spektrində Fraunhofer xətlərinin asimetriya xarakterinə görə təsnifatı verilmişdir. İstifadə olunan 130-a yaxın Fraunhofer xətti 6 sinfə ayrılmışdır. I sinfə 12 xətt, II sinfə 7 xətt, III sinfə 55 xətt, IV sinfə 54 xətt, V sinfə 0 xətt və VI sinfə 0 xətt daxil edilmişdir.

DİSSERTASIYA MÖVZUSUNA AİD NƏŞR OLUNMUŞ ELMİ İŞLƏRİN SİYAHISI

1. M. M. Tahirov., Prosion ulduzunun spektrində FeI ($\lambda=5324,185\text{\AA}$) xəttinin tədqiqi // AMEA Naxçıvan Bölməsi Xəbərləri (Təbiət və texniki elmlər seriyası) (İSSN 2218-4791), 2009, № 2, s. 291-293.
2. Д.М.Кули-Заде., М.М.Таиров., З.Ф.Шабанова., Профили Бальмеровских линий водорода в спектре Проциона по высокодисперсионным спектрам // Bakı Universitetinin Xəbərləri (Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası), 2010, № 4, s. 155-160.
3. Д.М.Кули-Заде., М.М.Таиров., З.Ф.Шабанова., О механизме расширение Бальмеровских линий водорода в атмосфере Проциона // Bakı Universitetinin Xəbərləri (Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası), 2011, № 3, s. 189-193.
4. M. M. Tahirov., Ulduzların kimyəvi tərkibinin təyini haqqında // AMEA Naxçıvan Bölməsinin Xəbərləri (Təbiət və texniki elmlər seriyası) (İSSN 2218-4791), 2011, № 2, s. 287-290.
5. D.M.Kuli-Zade., M. M. Tairov., R.Sartibzade., The New Quantitative Method For Analisis Of The Fine Structure Of The Fraunhofer Lines Profiles // International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS (ISSN:2077-1185), 2012, vol: 12, No: 01, pp. 16-21.
6. C.M. Quluzadə., Z. Səmədov., M.Tahirov., Prosionun fundamental parametrlərinin təyini // AMEA Naxçıvan Bölməsinin Xəbərləri (Təbiət və texniki elmlər seriyası) (İSSN 2218-4791), 2012, № 4, s. 274-278.
7. M. M. Tahirov., Günəş spektrində Fraunhofer xətləri // AMEA Naxçıvan Bölməsinin Xəbərləri (Təbiət və texniki elmlər seriyası) (İSSN 2218-4791), 2012, № 2, s. 275-278.
8. Д.М.Кули-Заде., М.М.Таиров., Об особенностях профилей «b» линий триплета MgI в спектрах Проциона и Солнца // Bakı Universitetinin Xəbərləri (Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası), 2012, № 4, s. 155-162.
9. Fizika və Astronomiya problemləri, X Respublika elmi konfransı 19 may, Bakı, 2007.
10. Fizikanın aktual problemləri, VI Respublika elmi konfransı, 20 noyabr, Bakı, 2010.
11. Физика Солнца и 25-й цикл, 2-8 сентября 2012 г.
12. Fizikanın aktual problemləri, VII Respublika elmi konfransı, 26 noyabr, Bakı, 2012.
13. Космические магнитные поля: наследие А.Б. Северного, Крымская Астрофизическая Обсерватория, 2-6 сентября, 2013.
14. Fizikanın aktual problemləri, beynəlxalq elmi konfransı, Bakı, 6 dekabr, 2013.

Миргасан Мамед оглу Таиров

**Исследование тонкой структуры слабых Фраунгоферовых
линий в высокодисперсионных спектрах звезд**

Резюме

Исследуются профили балмеровских линий водорода H_β , H_γ , H_δ ; D линий резонансного дублета NaI и “б” линий зеленого триплета MgI в спектре Проциона на основе цифровых спектральных материалов высокой дисперсии, полученных с пооттошью быстросканирующего двойного монохроматора. Определены спектрофотометрические характеристики с большой точностью. Обсуждается механизмы уширения водородных линий в атмосфере Проциона.

Построены около 130 линий разных химических элементов слабой и средней интенсивности. По полученным результатам определены фундаментальные и эволюционные параметры Проциона. Получено, что эффективная температура $T_{eff} = 6680 K$, ускорение силы тяжести на поверхности $\log g = 4$, масса $M/M_\odot = 1,5$, светимость $L/L_\odot = 6,3$ и скорость микротурбулентных движений $\xi = 2,3 km/s$.

Методом моделей определены содержание ряда химических элементов в атмосфере Проциона.

Впервые методом, предложенном на кафедре Астрофизики Бакинского Государственного Университета новым количественном методом исследуется тонкая структура профилей около 130 слабых и средних фраунгоферовых линий в спектре Проциона.

Впервые определены параметры асимметрии (дифференциальная асимметрия, интегральная асимметрия, остаточная асимметрия и относительная асимметрия) исследуемых линий.

Показано, что с увеличением эквивалентных ширин, полуширин и четверширин профилей линий интегральная асимметрия заметно растет. Явное изменение интегральной асимметрии с ростом потенциала возбуждения нижних уровней исследуемых спектральных линий не обнаружено.

Рассмотрена зависимость асимметрии от интенсивности для четно-нечетных и нечетно-четных переходов отдельно. Получено, что для четно-нечетных переходов зависимость интегральной асимметрии от интенсивности несколько сильнее чем для нечетно-четных переходов.

Впервые проведена классификация фраунгоферовых линий в спектре Проциона по характеру асимметрии. Все исследованные линии разделены на 6 классов.

Mirhasan Mammad Tahirov

Research of fine structure of weak Fraunhofer lines in high-dispersive spectra of stars.

Summary

Balmer lines profiles of hydrogen H_β , H_γ , H_δ ; D lines of resonance doublet NaI and “b” lines of green triplet MgI are investigated in Procyon spectrum on the basis of digital spectral materials of high dispersion, produced by rapid-scanning double monochromator. Spectrophotometric characteristics were determined to a high accuracy. Broadening mechanisms of hydrogen lines in Procyon atmosphere are discussed.

Approximately 130 lines of different chemical elements with weak and average intensity are constructed. According to the results fundamental and evolutionary parameters of Procyon were defined. The result is that effective temperature $T_{eff} = 6680 K$, surface gravity acceleration $\log g = 4$, mass $M/M_\odot = 1,5$, luminosity $L/L_\odot = 6,3$ and rate of microturbulent flows $\xi = 2,3 km/sec$.

Composition of some chemical elements in Procyon atmosphere was determined by model technique.

For the first time fine structure of profiles of nearly 130 weak and average Fraunhofer lines in Procyon spectrum are researched by using new quantitative method proposed in Astrophysics Chair of the Baku State University.

Asymmetry parameters (differential asymmetry, integral asymmetry, residual asymmetry and relative asymmetry) of researched lines were determined for the first time.

It was shown that the increase of equivalent widths, half-widths and quarter widths of line profiles leads to noticeable increase of integral asymmetry. Explicit change of integral asymmetry with growth of excited lower levels potential of investigated spectral lines was not observed.

Dependence of asymmetry on intensity was examined for even – odd and odd – even transitions separately. The result is that for even – odd transitions the dependence of integral asymmetry on intensity is a little stronger than for odd – even transitions.

Classification of Fraunhofer lines in Procyon spectrum was first made on character of asymmetry. All the investigated lines were divided into 6 classes.

НАХИЧИВАНСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА БАТАБАТСКАЯ
АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

На правах рукописи

МИРГАСАН МАМЕД ОГЛУ ТАИРОВ

2108.01 – Астрофизика и звездная астрономия

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СЛАБЫХ
ФРАУНГЕФЕРОВЫХ ЛИНИЙ В ВЫСОКОДИСПЕРСИОННЫХ
СПЕКТРАХ ЗВЕЗД

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Диссертации на соискание ученой степени

доктора философии по физике

Баку - 2014

