AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

MİNİMAL SUPERSİMMETRİK STANDART MODELDƏ HİQQS BOZONLARININ PARÇALANMA KANALLARI

İxtisas: 2212.01 – Nəzəri fizika

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: Emilya Şakir qızı Ömərova

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin "Nəzəri fizika "kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:



- fizika-riyaziyyat elmlər doktoru, professor
 Sərhəddin Qubaddin oğlu Abdullayev
- -fizika elmləri doktoru, professor Mirteymur Mirkazım oğlu Mirabutalıbov,
- fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
 Mais Kazım oğlu Süleymanov,
- fizika-riyaziyyat elmləri namizədi
 Nərminə Əli qızı Əliyeva

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

fizika elmləri doktoru, dosent Hüseyn Mikayıl oğlu Məmmədov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

fizika üzrə fəlsəfə doktoru Şəhla Nəbi qızı Hacıyeva

Elmi seminarın sədri:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru. professor DOV Sakir Məmməd oğlu Nağıyev SCIENT/FIC SECRETARY Imzani tas DI

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Müasir fizikanın ən maraqlı və sürətlə inkişaf edən sahələrindən biri yüksək enerjili elementar zərrəciklər fizikasıdır. Lokal kalibrləmə $SU_C(3) \times SU_L(2) \times$ $U_Y(1)$ simmetriya qrupuna əsaslanan Standart Model (SM) fundamental zərrəcikləri (kvarkları, leptonları) və onlar arasında təsir göstərən güclü, zəif və elektromaqnit qüvvələri təsvir edir. Bu model həmçinin lokal kalibrləmə $SU_L(2)$ simmetriyasının spontan pozulması nəticəsində skalyar Hiqqs bozon sahəsinin yaranmasını və Hiqqs mexanizmi nəticəsində zərrəciklərin kütlə qazanmasını izah edir.

Kütləsi 125 GeV tərtibində olan Hiqqs bozonunun LHC-də (Large Hadron Collider) ATLAS və CMS kollaborasiyaları tərəfindən kəşf olunması ilə elementar zərrəciklər fizikasında yeni bir səhifə açıldı və son onilliklərin ən parlaq hadisəsi kimi tarixə düşdü. Ona görə yüksək enerjilər fizikasında Hiqqs bozonunun iştirakı ilə gedən proseslərin araşdırılması və təcrübələrdə ölçmələrin daha dəqiq şəkildə aparılması sonrakı onilliklər ərzində aktuallığını saxlayacaqdır.

SM-in mövcudluğunu əvvəlcədən söylədiyi W^{\pm} , Z^0 və H-bozonlarının təcrübələrdə kəşf edilməsi bu nəzəriyyənin parlaq qələbəsi idi. Lakin SM-in elementar zərrəciklərlə bağlı hadisələrin təsvirində böyük nailiyyətlər qazanmasına baxmayaraq, bu nəzəriyyənin də özünəməxsus çatışmayan cəhətləri vardır. Lepton və kvarkların kütlələrinin geniş intervalda qeyri-müntəzəm paylanması (ən kiçik kütləli elektron, ən böyük kütləli top kvarkdan 340000 dəfə yüngüldür), virtual vakuum zərrəciklərinin Hiqqs bozonunun kütləsinə göstərdiyi böyük təsir, neytrinoların kütləyə malik olması və onların qarışması, təbiətdə maddə ilə antimaddənin balansının pozulması, qara (gizli) materiya zərrəciklərinə heç bir namizədin olmaması SM-in çatışmayan cəhətləridir. Bütün bu məsələlərin həlli SM-in arxasında yeni fizikanın olmasından xəbər verir və bununla əlaqədar olaraq, ən çox müzakirə olunan fiziki model Minimal Supersimmetrik Standart Modeldir (MSSM).

LHC-nin və gələcəkdə qurulması nəzərdə tutulan elektron-pozitron və müon-antimüon kollayderlərinin (ILC, CLIC, FCC-ee, CEPC, MC) əsas məqsədi H, h, A, H^{\pm} Hiqqs bozonlarını aşkar etmək və onların fiziki xarakteristikalarını – kütlələrini, parsial enlərini, tam enini, onların W^{\pm} və Z^{0} -bozonlarla, lepton və kvarklarla, çarcino, neytralino və skalyar fermionlarla, həmçinin də Hiqqs bozonlarının özlərinin bir-biri ilə qarşılıqlı təsir sabitlərini böyük dəqiqliklə ölçməkdir. Belə aktual məsələlərin həllində Hiqqs bozonlarının iştirakı ilə baş verən proseslərin, zərrəciklərin polyarlaşma halları nəzərə alınmaqla, tədqiq edilməsi böyük maraq kəsb edir. Neytral *H*, *h*, *A* və yüklü H^{\pm} Hiqqs bozonlarının parçalanma kanallarında yaranan fermionların uzununa və eninə polyarlaşma dərəcələrinin, γ -kvantların dairəvi və xətti polyarlaşma dərəcələrinin, həm də son zərrəciklərin enerji və bucaqlara görə paylanmalarının nəzəri öyrənilməsi Hiqqs bozonlarının CP-cütlüyü, parsial və tam parçalanma enləri, kütlələri, digər zərrəciklərlə və bir-birilə qarşılıqlı təsir sabitləri haqqında informasiya almağa imkan verə bilər.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. Dissertasiya işində tədqiqat obyekti olaraq MSSM-in H, h, A və H^{\pm} Hiqqs bozonlarının parçalanma kanalları üzrə baş verən proseslər götürülmüşdür. Tədqiqatın əsas predmetini isə zərrəciklərin mümkün polyarizasiya hallarının nəzərə alınması hesabına bu proseslərdə yaranan spin effektləri təşkil edir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin əsas məqsədi MSSM-in neytral H, h, A və yüklü H^{\pm} Hiqqs bozonlarının bir sıra parçalanma kanallarını nəzəri olaraq tədqiq etmək və bu proseslərdə müxtəlif spin effektlərinin təhlilini aparmaqdır. Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifələr qarşıya qoyulmuşdur:

1. Fermion və antifermionun ixtiyari polyarlaşma hallarını nəzərə almaqla $H(h, A) \rightarrow f\bar{f}$ və $H^{\pm} \rightarrow f\bar{f}'$ parçalanma proseslərinin diferensial və tam enlərini hesablamaq, Hiqqs bozonlarının CP-cütlüyü haqqında informasiya verə bilən xarakteristikaları müəyyən etmək.

2. $H \rightarrow Zf\bar{f}$ və $H^{\pm} \rightarrow W^{-}f\bar{f}'$ parçalanma kanallarının spiral amplitudlarını, diferensial və tam enlərini təyin etmək, tam ehtimalların Hiqqs bozonunun kütləsindən asılılığını tədqiq etmək.

3. H və A bozonların $H(A) \rightarrow t\bar{t}^* \rightarrow t\bar{b}W^-$, $H(A) \rightarrow \bar{t}t^* \rightarrow \bar{t}bW^+$ parçalanma kanallarını tədqiq etmək, t- və b-kvarkların uzununa polyarlaşma dərəcələrinin kvarkların enerjisindən asılılıqlarını öyrənmək.

4. Hiqqs bozonların $H \to ZZ^*$, $H \to WW^*$, $H \to AZ^*$, $A \to hZ^*$, $H^{\pm} \to H(h; A)W^{\pm}(Z^* \to ff, W^* \to ff^{-})$ parçalanma kanallarının tam ehtimallarının düsturlarını almaq, ehtimalların Hiqqs bozonlarının kütlələrindən və $tg\beta$ parametrindən asılılıqlarını öyrənmək.

5. Hiqqs bozonlarının $H(h; A) \rightarrow \gamma \gamma$, $H(h; A) \rightarrow \gamma Z$, $H^{\pm} \rightarrow \gamma W^{\pm}$,

 $H(h; A) \rightarrow gg$ parçalanmalarının tam enlərinə pay verən *t*-kvark və *W*-bozon ilgək diaqramlarını hesablamaq.

6. Hiqqs bozonlarının $H \rightarrow hb\bar{b}$, $A \rightarrow Zhh$, $H^{\pm} \rightarrow W^{\pm}hh$, $H^{\pm} \rightarrow W^{\pm}b\bar{b}$ parçalanması proseslərinin ehtimallarını hesablamaq və Hiqqs bozonlarının kütləsindən asılılıqlarını tədqiq etmək.

7. Hiqqs bozonlarının fermion-antifermion cütünə radiasiya parçalanmalarında $H(h; A) \rightarrow f \bar{f} \gamma \gamma$ -kvantın dairəvi və xətti polyarlaşma dərəcələrini hesablamaq.

8. Hiqqs bozonlarının $H(h; A) \rightarrow \tilde{\chi}_i^- \tilde{\chi}_j^+$, $H(h; A) \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0$, $H^{\pm} \rightarrow \tilde{\chi}_i^{\pm} \tilde{\chi}_j^0$ parçalanma kanallarının ehtimallarının düsturlarını almaq, proseslərdə müəyyən spin effektlərinin təhlilini aparmaq.

Tədqiqatın metodları. Dissertasiya işində Feynman diaqram texnikasından, kvant sahə nəzəriyyəsinin, nəzəri və riyazi fizikanın, elementar zərrəciklər fizikasının uzun illər sınaqdan keçmiş ən etibarlı tədqiqat metodlarından istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. CP-cüt (tək) Hiqqs bozonunun eninə polyarlaşmış fermion-antifermion cütünə parçalanması yalnız o halda mümkündür ki, onların eninə spin vektorları paralel $(\vec{\eta}_1 \vec{\eta}_2) = 1$ (antiparalel $(\vec{\eta}_1 \vec{\eta}_2) = -1$) olsun.

2. $H(h; A) \rightarrow f\bar{f}$ parçalanmasında yaranan fermion və antifermion eyni spirallığa malik olmalıdır: $f_R\bar{f}_R$ və ya $f_L\bar{f}_L$. Fermionun uzununa polyarlaşma dərəcəsi P_f parçalanan Hiqqs bozonunun CP-cütlüyü haqqında müəyyən informasiya verə bilər.

3. $M_H(M_A)$ kütləsinin artması ilə $H(A) \rightarrow \tau^- \tau^+$ parçalanmasının eni artır, lakin $h \rightarrow \tau^- \tau^+$ parçalanmasının tam eni isə M_h kütləsinin artması ilə azalır.

4. Hiqqs bozonunun $H \rightarrow hh^* \rightarrow hb\bar{b}$ kanalı üzrə parçalanmasının tam eni M_H kütləsinin artması ilə əvvəlcə artır və $M_H = 144.62$ GeV olduqda maksimum qiymətini alır, kütlənin sonrakı artmasında parçalanmanın eni azalmağa başlayır.

5. $H(A) \rightarrow t\bar{b}W^{-}$ parçalanmasında *t*-kvarkın uzununa polyarlaşma dərəcəsi onun $x_t = 2E_t/M_H (2E_t/M_A)$ enerjisinin artması ilə əvvəlcə azalır, sonra isə tədricən artır.

6. $H(h; A) \rightarrow \gamma \gamma$ parçalanmalarında yaranan γ -kvantlar ya sağ $(l_1 = l_2 = +1)$, ya da sol $(l_1 = l_2 = -1)$ dairəvi polyarlaşmalıdır.

7. $H(A) \rightarrow \gamma \gamma$ parçalanma prosesinə *t*-kvarkın ilgək diaqramlarının verdiyi pay Hiqqs bozonunun kütləsinin artması ilə artır. $H \rightarrow \gamma \gamma$ parçalanmasının eni $A \rightarrow \gamma \gamma$ parçalanmsının enindən üstündür. $H \rightarrow \gamma Z$ prosesində M_H kütləsinin artması ilə ehtimal əvvəlcə zəif azalır, $M_H \sim$ 315 GeV-dən sonra sürətlə artmağa başlayır. $A \rightarrow \gamma Z$ parçalanmasının eni M_A kütləsinin artması ilə artır. $H^+ \rightarrow \gamma W^+$ parçalanmasının eni də M_{H^+} kütləsinin artması ilə müntəzəm artır.

 $H \rightarrow gg \text{ v} \Rightarrow A \rightarrow gg$ parçalanmalarının enləri Hiqqs bozonunun kütləsinin artması ilə artır, Hiqqs bozonunun kütləsinin kiçik qiymətlərində $(M_{\phi} < 270 \text{ GeV}) H \rightarrow gg$ parçalanmasının eni, böyük qiymətlərində $(M_{\phi} > 270 \text{ GeV})$ isə $A \rightarrow gg$ parçalanmasının eni üstünlük təşkil edir.

8. $h \rightarrow \tau^- \tau^+ \gamma$ parçalanmasında leptonların şüalandırdığı γ -kvantın dairəvi polyarlaşma dərəcəsi lepton cütünün invariant x kütləsinin artması ilə (fotonun enerjisinin azalması ilə) azalır, xətti polyarlaşma dərəcəsi isə artır.

9. Top kvark və *W*-bozon ilgək diaqramlarının hesabına baş verən $h \rightarrow e^-e^+\gamma$ parçalanmasında γ -kvantın dairəvi polyarlaşma dərəcəsi mənfidir, e^-e^+ -cütünün enerjisinin artması (fotonun enerjisinin azalması) ilə azalır və enerji 80 GeV olduqda minimuma çatır, enerjinin sonrakı artmasında dairəvi polyarlaşma dərəcəsi sıfıra qədər artır. Fotonun xətti polyarlaşma dərəcəsi isə, demək olar ki, sabitdir və 58%-ə yaxındır.

10. Hiqqs bozonlarının $H(h; A) \rightarrow \tilde{\chi}_i^- \tilde{\chi}_j^+$, $H(h; A) \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0$, $H^{\pm} \rightarrow \tilde{\chi}_i^{\pm} \tilde{\chi}_j^0$ parçalanma kanallarında yaranan çarcino cütü, neytralino cütü və çarcino-neytralino cütü ya sağ, ya da sol spirallıqlara malik olmalıdır. Hiqqs bozonunun kütləsinin artması ilə $H(A) \rightarrow \tilde{\chi}_1^- \tilde{\chi}_2^+$, $H \rightarrow \tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_3^0$, $A \rightarrow \tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_3^0$, $H^- \rightarrow \tilde{\chi}_2^- \tilde{\chi}_1^0$ parçalanmalarının ehtimalları artır.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Tədqiqat nəticəsində əldə edilən elmi yeniliklər aşağıdakılardan ibarətdir:

1. İlk dəfə olaraq fermion-antifermion cütünün ixtiyari polyarlaşma hallarını nəzərə almaqla, $H(h; A) \rightarrow f\bar{f}$, $H^{\pm} \rightarrow f\bar{f}'$ parçalanması proseslərinin diferensial və tam enləri hesablanmışdır.

2. Müəyyən edilmişdir ki, skalyar (pevdoskalyar) H(A) Hiqqs bozonunun parçalanmasında $H \rightarrow t\bar{b}W^-$ ($A \rightarrow t\bar{b}W^-$) *t*-kvarkın uzununa polyarlaşma dərəcəsi mənfidir (müsbətdir) və top kvarkın enerjisinin artması ilə azalır (artır) və spektrin sonunda -0.7 (0.95) qiymətinə yaxınlaşır. **3.** Yüklü Hiqqs bozonunun $H^+ \rightarrow b\bar{b}W^+$ kanalı üzrə parçalanmasının tam ehtimalı hesablanmışdır, göstərilmişdir ki, Hiqqs bozonunun kütləsinin artması ilə parçalanmanın eni əvvəlcə 5.838 MeV-dən 6.415 MeVə qədər artır, sonra isə tədricən azalaraq spektrin sonunda 0.675 MeV olur.

4. Göstərilmişdir ki, $H \to Af\bar{f}$, $A \to hf\bar{f}$, $H^+ \to H(h; A)f\bar{f}'$ parçalanma proseslərində fermionla-antifermion əks spirallıqlara malik olmalıdır: $h_1 = -h_2 = \pm 1$. Hiqqs bozonunun kütləsinin artması ilə $H \to AZ^*$ parçalanmasının tam eni azalır, $A \to hZ^*$ parçalanmasının tam eni isə əvvəlcə azalır, minimuma çatdıqdan sonra artmağa başlayır. $H^- \to HW^{-*}$ parçalanmasının tam eni əvvəlcə artır, maksimuma çatır, sonra isə azalmağa başlayır.

5. Hiqqs bozonunun $H \to hh$ və $H \to hh^* \to hb\bar{b}$ kanalları üzrə parçalanmaların tam ehtimalları üçün ifadələr alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, $H \to hb\bar{b}$ parçalanmasında *b*-kvark və \bar{b} -antikvarkın spirallıqları eyni olmalıdır: $\lambda_1 = \lambda_2 = \pm 1$. Hiqqs bozonunun kütləsinin artması ilə $H \to hb\bar{b}$ parçalanmasının tam eni əvvəlcə artır və $M_H \cong 148$ GeV olduqda maksimuma çatır, sonra isə azalmağa başlayır, $H \to hh$ parçalanma prosesinin tam eni isə tədricən azalır.

6. Skalyar H və psevdoskalyar A Hiqqs bozonlarının $H(A) \rightarrow H^{+*}W^{-} \rightarrow t\bar{b}W^{-}$ kanalı üzrə parçalanmasının tam ehtimalları hesablanmış, top kvarkın uzununa polyarlaşma dərəcəsinin ifadəsi alınmışdır. Göstərilmişdir ki, top kvarkın enerjisinin artması ilə onun uzununa polyarlaşma dərəcəsi əvvəlcə sürətlə azalır, sonra isə tədricən artır.

7. Hiqqs bozonlarının $H(h; A) \rightarrow \gamma \gamma$, $H(h; A) \rightarrow \gamma Z$ və $H^{\pm} \rightarrow \gamma W^{\pm}$ parçalanmalarına pay verən ilgək diaqramları hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, $H(h; A) \rightarrow \gamma \gamma$ parçalanmasında γ -kvantlar ya sağ $(l_1 = l_2 = +1)$, ya da sol $(l_1 = l_2 = -1)$ dairəvi polyarlaşmalıdır. $H \rightarrow \gamma \gamma$ parçalanmasının eni $A \rightarrow \gamma \gamma$ parçalanmasının enindən böyükdür və hər iki parçalanmanın eni $M_H(M_A)$ kütləsinin artması ilə artır.

8. $H(h; A) \rightarrow f\bar{f}\gamma$ parçalanmalarında yaranmış γ -kvantın dairəvi və xətti polyarlaşma dərəcələri üçün analitik ifadələr alınmışdır. Göstərilmişdir ki, $H(h; A) \rightarrow \tau^- \tau^+ \gamma$ prosesində lepton cütünün invariant kütləsinin artması (fotonun enerjisinin azalması) ilə γ -kvantın dairəvi polyarlaşma dərəcəsi azalır, xətti polyarlaşma dərəcəsi isə artır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiya işinin elmi nəticələrindən yüksək enerjili elementar zərrəciklər fizikasında

nəzəri tədqiqatlar apararkən, həmçinin də Hiqqs bozonu ilə bağlı təcrübələrin qoyuluşunda və aparılmış təcrübələrin nəticələrinin müzakirəsində istifadə edilə bilər (Bakı Dövlət Universiteti, Azərbaycan Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu, Moskva Dövlət Universiteti, Dubna Nüvə Tədqiqatlarının Birləşmiş İnstitutu, Avropa Nüvə Tədqiqatları Mərkəzi, LHC).

Dissertasiyada alınmış nəticələr Hiqqs bozonunun müxtəlif fiziki xarakteristikaları haqqında daha dolğun informasiya almağa, yüksək enerjilərdə MSSM-in müddəalarını təcrübələrdə yoxlamağa imkan verə bilər. İşdə Hiqqs bozonlarının müxtəlif parçalanma proseslərində bir sıra effektlər irəli sürülmüşdür, onların təcrübələrdə öyrənilməsi Hiqqs bozonlarına aid fiziki parametrləri təyin etməyə imkan verir.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas müddəaları və alınmış elmi nəticələr aşağıdakı elmi iclas, seminar və konfranslarda geniş müzakirə olunmuşdur:

– Magistrantların və gənc tədqiqatçıların "Fizika və Astronomiya problemləri" adlı Beynəlxalq elmi konfransı (24-25 may 2018-ci il, Bakı);

International Conference Modern Trends in Physics (01-03 May, 2019, Baku);

- The XIV International Scientific Symposium "A PERSON IN HISTORY" dedicated to the 140th anniversary of the founder of modern Turkey, Mustafa Kemal Ataturk (26 May, 2021, Ankara, Turkey);

 Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXIII Respublika elmi konfransı (03-04 dekabr 2019-cu il, Bakı);

 Magistrantların və gənc tədqiqatçıların "Fizika və Astronomiya problemləri" adlı Beynəlxalq elmi konfransı (21 may 2021-ci il, Bakı);

- 1st International Congress on Natural Sciences (ICNAS – 2021)
 (10 September 2021, Erzurum, Turkey);

- Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsinin elmi seminarları.

Dissertasiyanın işinin mövzusu üzrə ümumilikdə 23 elmi əsər, o cümlədən 7-si Web of Science bazasına daxil olan jurnallarda olmaqla 16 elmi məqalə və 9 konfrans materialı dərc olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Təqdim edilən dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin "Nəzəri fizika" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işi girişdən, dörd

fəsildən, nəticələrdən, əlavələrdən və 120 adda istinad edilmiş ədəbiyyat siyahısından ibarət olmaqla, 218 səhifədə şərh olunmuşdur. Dissertasiya işinin ümumi həcmi (şəkillər, cədvəllər, qrafiklər və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə) 176 683 (o cümlədən, Giriş – 13004, I fəsil – 28117, II fəsil – 25028, III fəsil – 57717, IV fəsil – 23016, Əlavələr – 236, Nəticələr – 3446) işarədən ibarətdir. Dissertasiyada nəticələri əks etdirən 103 şəkil verilmişdir.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, dissertasiya işinin əsas məqsədi, elmi və praktiki əhəmiyyəti müəyyən edilmişdir. Nəşrlər göstərilmiş və dissertasiyanın məzmunu qısa şərh edilmişdir.

Dissertasiya işinin **I fəslində** Standart Modelin Hiqqs bozonu və onun kəşfi, Standart Modelin çətinlikləri, eləcə də, MSSM-də Hiqqs bozonları və Hiqqs bozonlarının digər zərrəciklərlə qarşılıqlı təsirləri haqqında məlumat verilmişdir.

Hiqqs bozonu məlum zərrəciklər arasında heç bir oxşarı olmayan SM-in fundamental obyektlərindən biri olub, müasir dünyanın fiziki mənzərəsində mühüm yer tutan zərrəcikdir. Artıq təcrübələrdə müəyyən edilmişdir ki, Hiqqs bozonu elektrik cəhətdən neytraldır, spini yoxdur, P və C cütlükləri müsbətdir ($J^{PC} = 0^{++}$), qeyri-stabil olub, müxtəlif kanallar üzrə parçalanır. LHC-də aparılan təcrübələrdə onu iki fotona parçalanması $H_{SM} \rightarrow \gamma\gamma$, iki cüt elektron-pozitrona və ya müon-antimüona parçalanması $H_{SM} \rightarrow e^-e^+e^-e^+$, $H_{SM} \rightarrow e^-e^+\mu^-\mu^+$, $H_{SM} \rightarrow \mu^-\mu^+\mu^-\mu^+$ proseslərinə görə aşkarlamışlar.

MSSM-də beş Hiqqs bozonu mövcuddur: H, h, A, H^{\pm} -bozonları. Supersimmetriya yeni növ simmetriya olub, 1/2 spinli fermionları və spini 0, 1 olan bozonları özündə birləşdirir. Burada iddia olunur ki, hər bir fermionun özünəməxsus bozonu və hər bir bozonun da özünəməxsus fermionu vardır. SM-dən fərqli olaraq, MSSM-də iki dublet skalyar sahə daxil edilir, supersimmetriyanın spontan pozulmasından sonra beş Hiqqs bozon sahəsi yaranır: CP-cüt H və h bozonları, CP-tək A-bozonu və yüklü H^{\pm} bozonları.

MSSM-də Hiqqs bozon sektoru altı parametrlə xarakterizə olunur: bozonların $M_H, M_h, M_A, M_{H^{\pm}}$ kütlələri və sahələrin α ilə β – qarışma bucaqları. *H* və *h* Hiqqs bozonların kütlələri M_A və M_Z kütlələri ilə β qarışma bucağına görə birqiymətli təyin olunur, yüklü H^{\pm} -bozonun kütləsi isə M_A və M_W kütlələrindən asılıdır¹:

$$M_{h(H)}^{2} = \frac{1}{2} \bigg[M_{A}^{2} + M_{Z}^{2} \mp \sqrt{(M_{A}^{2} + M_{Z}^{2})^{2} - 4M_{A}^{2}M_{Z}^{2}\cos^{2}2\beta} \bigg],$$
(1)
$$M_{H^{\pm}}^{2} = M_{A}^{2} + M_{W}^{2}.$$

Qarışma α və β bucaqları arasında da müəyyən əlaqə mövcuddur:

$$tg2\alpha = tg2\beta \frac{M_A^2 + M_Z^2}{M_A^2 - M_Z^2}, \quad \left(-\frac{\pi}{2} \le \alpha < 0\right)$$
 (2)

Beləliklə, Hiqqs bozon sektorunu müəyyən edən altı parametrdən yalnız iki parametr sərbəstdir. Sərbəst parametrləri M_A kütləsi ilə $tg\beta$ parametri hesab edirlər.

 $tg\beta$ parametri Hiqqs bozonların vakuum qiymətlərinin nisbətinə bərabər olub ($tg\beta = v_2/v_1$), $1 \le tg\beta \le m_t/m_b = 35,5$ aralığında dəyişir, burada $m_t = 173,2$ GeV və $m_b = 4,88$ GeV – t- və b-kvarkların kütlələridir.

Hiqqs bozonlarının M_H , M_h və $M_{H^{\pm}}$ kütlələri də müəyyən şərtləri ödəyirlər:

 $M_H > max(M_A, M_Z), M_h \le min(M_A, M_Z) \le M_Z, M_{H^{\pm}} > M_W.$

MSSM-də Hiqqs bozonlarının aralıq bozonlarla və digər zərrəciklərlə qarşılıqlı təsir sabitləri cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Φ	$g_{\Phi u u}$	$g_{\Phi dd}$	$g_{\Phi VV}$	$g_{\Phi AZ}$	$g_{{\Phi}H^{\pm}W^{\mp}}$
H _{SM}	1	1	1	0	0
Н	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$	$\frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$	$cos(\beta - \alpha)$	$-\sin(\beta-\alpha)$	$\pm sin(\beta - \alpha)$
h	$\frac{\cos \alpha}{\sin \beta}$	$\frac{-\sin\alpha}{\cos\beta}$	$sin(\beta - \alpha)$	$cos(\beta - \alpha)$	$\mp cos(\beta - \alpha)$
Α	ctgβ	tgβ	0	0	1

Cədvəl 1. MSSM-də Hiqqs bozonlarının zərrəciklərlə qarşılıqlı təsir sabitləri

¹Djouadi, A. The Anatomy of Electro-weak Symmetry Breaking. The Higgs boson in the Supersymmetric Model / A. Djouadi. – Tome II. – 2003. – 303 p, arXiv: hep-ph / 0503173v2.

H, *h*, *A* və H^{\pm} Hiqqs bozonlarını H_k (k = 1, 2, 3, 4) ilə işarə edək, onda onların çarcino-neytralino cütü ilə sol və sağ qarşılıqlı təsir sabitlərini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\chi_{i}^{+}\chi_{j}^{-}H_{k}:g_{ijk} = \frac{1}{\sqrt{2}} [V_{i1}U_{j2}e_{k} - V_{i2}U_{j1}d_{k}],$$

$$\chi_{i}^{0}\chi_{j}^{0}H_{k}:g_{ijk} = \frac{1}{2} (Z_{j2} - tg\theta_{W}Z_{j1})(Z_{i3}e_{k} + Z_{i4}d_{k}) + (i \leftrightarrow j),$$

$$\chi_{i}^{\pm}\chi_{j}^{0}H^{\mp}:g_{ij4} = \cos\beta \left[V_{i1}Z_{j4} + \frac{1}{\sqrt{2}} (Z_{j2} + tg\theta_{W}Z_{j1}) \right],$$

$$g_{ji4} = \sin\beta \left[U_{i1}Z_{j3} - \frac{1}{\sqrt{2}} (Z_{j2} + tg\theta_{W}Z_{j1}) \right].$$

Z və U, V – 4 × 4 və 2 × 2 ölçülü matrislər olub, neytralino və çarcinonun kütlə matrislərini diaqonallaşdırır, e_k və d_k əmsalları α və β qarışma bucaqlarından asılıdır:

$$e_1 = \cos \alpha, e_2 = \sin \alpha, e_3 = -\sin \beta,$$

$$d_1 = -\sin \alpha, d_2 = \cos \alpha, d_3 = \cos \beta.$$

II fəsildə MSSM-də Hiqqs bozonlarının fermionlara parçalanma kanalları tədqiq edilmişdir. Hiqqs bozonlarının bu cür parçalanma kanallarının tam enləri fermion cütünün polyarlaşma halları nəzərə alınmadan bir neçə müəllif tərəfindən hesablanmışdır. Apardığımız tədqiqatlar göstərir ki, fermionların polyarlaşma hallarının nəzərə alınması Hiqqs bozonlarının təbiəti haqqında müəyyən məlumat verə bilər. Fermion cütünün ixtiyari polyarlaşma hallarını nəzərə alınaqla, göstərilən parçalanma kanallarının enləri üçün ifadələr tərəfimizdən alınmışdır².

Belə ki, xüsusi halda, Hiqqs bozonlarının $f\bar{f}$ -cütünə parçalanmalarının matris elementi yazılmış, fermion cütünün polyarlaşma halları nəzərə almaqla, parçalanma eni üçün ifadələr alınmışdır. $\Phi \rightarrow f\bar{f}$ parçalanmasının eni aşağıdakı ifadəyə bərabərdir (β_f – fermionun sürətidir):

$$\frac{d\Gamma(\vec{\eta}_1,\vec{\eta}_2)}{d\Omega} = \frac{N_C \beta_f}{64\pi^2 M_{\Phi}} g_{\Phi ff}^2 \times$$

²Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Decays of Higgs bosons into fermion-antifermion pair // Russian Physics Journal, – 2018. V 61, №9, – p. 1603-1612

$$\times \left\{ |a|^2 \left[\frac{1}{2} M_{\phi}^2 - m_f^2 \right] (1 + \vec{\eta}_1 \vec{\eta}_2) + |b|^2 \frac{1}{2} M_{\phi}^2 (1 - \vec{\eta}_1 \vec{\eta}_2) \right\}.$$
(3)

Buradan görünür ki, fermion və antifermion cütünün eninə polyarlaşma vektorları paralel olduqda, ($\vec{\eta}_1 \vec{\eta}_2 = 1$), Φ bozonun parçalanması yalnız CP-cüt qarşılıqlı təsir nəticəsində baş verə bilər:

$$\frac{d\Gamma(\vec{\eta}_1\vec{\eta}_2=1)}{d\Omega} \sim \beta_f |a|^2 (M_{\Phi}^2 - 4m_f^2) \sim \beta_f^3 |a|^2.$$
(4)

 Φ bozonun CP-tək qarşılıqlı təsirə görə parçalanması, yalnız fermion cütünün eninə polyarlaşma vektorları antiparalel olduqda ($\vec{\eta}_1 \vec{\eta}_2 = -1$) mümkündür:

$$\frac{d\Gamma(\vec{\eta}_1\vec{\eta}_2 = -1)}{d\Omega} \sim \beta_f |b|^2.$$
(5)

Əgər fermion cütünün eninə polyarlaşma vektorları $\vec{\eta}_1$ və $\vec{\eta}_2$ arasındakı bucaq φ olarsa, onda $\Phi \rightarrow f \overline{f}$ parçalanmasının eni üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$\frac{d\Gamma(\varphi)}{d\Omega} = \frac{N_C \beta_f}{128\pi^2} g_{\Phi ff}^2 M_{\Phi}\{|a|^2 \beta_f^2 (1 + \eta_1 \eta_2 \cos \varphi) + |b|^2 (1 - \eta_1 \eta_2 \cos \varphi) + 2 Im(ab^*) \beta_f \eta_1 \eta_2 \sin \varphi\}.$$
(6)

Bu halda iki cür eninə spin asimmetriyası yaranır²:

$$A_{1} = \frac{\frac{d\Gamma(\varphi = \pi/2)}{d\Omega} - \frac{d\Gamma(\varphi = -\pi/2)}{d\Omega}}{\frac{d\Gamma(\varphi = \pi/2)}{d\Omega} + \frac{d\Gamma(\varphi = -\pi/2)}{d\Omega}} = \eta_{1}\eta_{2}\frac{2Im(ab^{*})}{|a|^{2} + |b|^{2}}, \quad (7)$$

$$A_2 = \frac{d\Gamma(\varphi=0)/d\Omega - d\Gamma(\varphi=\pi)/d\Omega}{d\Gamma(\varphi=0)/d\Omega + d\Gamma(\varphi=\pi)/d\Omega} = \eta_1 \eta_2 \frac{|a|^2 - |b|^2}{|a|^2 + |b|^2}.$$
 (8)

Əgər Φ-bozon CP-cüt və CP-tək halların qarışığından ibarət olarsa, A₁ asimmetriyası sıfırdan fərqli olar və bu asimmetriya vahidə yaxın qiymət ala bilər (əgər *a* və *b* parametrləri eyni tərtibdə olarsa və fermion cütü tam eninə polyarlaşmışdırsa $\eta_1 = \eta_2 = 1$). Təmiz CP halında *a* və *b* parametrlərindən biri sıfıra bərabər olur, onda Hiqqs bozonun CP- cüt və ya tək halda olmasından asılı olaraq, A₂ asimmetriyası ya +1, ya da -1 qiymətini alır. Φ-bozonun uzununa polyarlaşmış fermion cütünə parçalanmasının tam eni üçün aşağıdakı ifadə alınmışdır:

$$\Gamma(h_1, h_2) = \frac{N_C \beta_f}{16\pi M_{\Phi}} g_{\Phi ff}^2 \left\{ [|a|^2 + |b|^2] \left(\frac{1}{2} M_{\Phi}^2 - m_f^2 \right) (1 + h_1 h_2) - \frac{1}{2} [|a|^2 - |b|^2] m_f^2 (1 + h_1 h_2) + Re(ab^*) M_{\Phi}^2 \beta_f(h_1 + h_2) \right\}.$$
 (9)

Bu ifadədən görünür ki, $\Phi \to f\overline{f}$ parçalanmasında fermion və antifermion eyni spirallığa malik olmalıdır ($\Phi \to f_R\overline{f}_R$ və ya $\Phi \to f_L\overline{f}_L$, burada f_R və f_L sağ və sol polyarlaşmış fermionu göstərir). $\Phi \to f\overline{f}$ parçalanmasında fermionun uzununa polyarlaşma dərəcəsinin ifadəsini aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$P_{f} = \frac{\Gamma(\Phi \to f_{R}\overline{f}_{R}) - \Gamma(\Phi \to f_{L}\overline{f}_{L})}{\Gamma(\Phi \to f_{R}\overline{f}_{R}) + \Gamma(\Phi \to f_{L}\overline{f}_{L})} \cong \frac{2\operatorname{Re}(ab^{*})}{|a|^{2} + |b|^{2}}$$
(10)

və bu ifadə Hiqqs bozonların CP-cüt və CP-tək parçalannma amplitudlarının interferensiyası haqqında məlumat verə bilər.

Eninə spin asimmetriyaları A_1 və A_2 , eləcə də fermionun uzununa polyarlaşma dərəcəsi P_f Hiqqs bozonun $h(H; A) \rightarrow \tau^- \tau^+$ parçalanmasında müəyyən edilməsi daha əlverişlidir, çünki $\pi^-(K^-, \rho^-)$ mezonların $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau$ ($\tau^- \rightarrow K^- \nu_\tau$, $\tau^- \rightarrow \rho^- \nu_\tau$) parçalanmasında bucaqlara görə paylanması τ^- leptonun spininə həssasdır və bu bizə imkan verir ki, τ leptonun polyarlaşmasını təcrübədə müəyyən edək.

Şəkil 1-də $\Gamma(H \to t\bar{t})$ və $\Gamma(A \to t\bar{t})$ parçalanma enlərinin Hiqqs bozonun kütləsindən asılılığı göstərilmişdir. Şəkildən görünür ki, $A \to t\bar{t}$ parçalanması $H \to t\bar{t}$ parçalanmasından daha ehtimallıdır. Təcrübələrdə $H(A) \to t\bar{t}$ parçalanma kanallarının tam enlərini ölçməklə, həm Hiqqs bozonların kütlələri, həm də $g_{\Phi ff}$ sabitləri dəqiq tətin edilə bilər.

Qeyd etmək lazımdır ki, $H^+ \Rightarrow f\bar{f}'$ ($f\bar{f}'$ cütü lepton cütü $l^+\nu_l$ və ya kvark cütü $q\bar{q}'$ ola bilər) və $H^+ \Rightarrow t\bar{b}$ parçalanmalarında fermion cütünün eninə spin asimmetriyası və uzununa polyarlaşma dərəcəsi müəyyən edilmiş, eləcə də, parçalanma enləri üçün analitik ifadələr alınmışdır və onların Hiqqs bozonunun kütləsindən asılılıq qrafikləri qurulmuşdur. Burada bu xarakteristikaları ölçməklə, Hiqqs bozonunun M_{H^+} kütləsi təyin edilə bilər.



Şəkil 1. $H \rightarrow t\bar{t}$ və $A \rightarrow t\bar{t}$ parçalanma enlərinin Hiqqs bozonun kütləsindən asılılığı

Şəkil 2-də $tg\beta = 3$ və $tg\beta = 30$ olduqda $H^+ \rightarrow t\overline{b}$ parçalanma eninin Hiqqs bozonun kütləsindən M_{H^+} asılılıq qrafikləri verilmişdir. Hiqqs bozonun kütləsinin artması ilə parçalanmanın tam eni $tg\beta$ parametrinin hər iki qiymətində müntəzəm olaraq artır. Parametrin $tg\beta = 30$ qiymətində $H^+ \rightarrow t\overline{b}$ parçalanmasının eni daha böyükdür³.



Şəkil 2. H⁺ → tb̄ parçalanma eninin Hiqqs bozonun kütləsindən asılılığı

Şəkil 3-də $H^+ \rightarrow t\overline{b}$ parçalanmasında yüklü Hiqqs bozonunun kütləsi $M_{H^+} = 125$ GeV və 150 GeV olduqda, top kvarkın eninə spin asimmetriyası A_t və b-kvarkın uzununa polyarlaşma dərəcəsi P_b -nin $tg\beta$ -dan asılılığı göstərilmişdir. $10 \le tg\beta \le 30$ olduqda, spin asim-

³Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Decays of supersymmetric Higgs bosons into fermions // Azerbaijan Journal of Physics, Fizika, – 2018. V XXIV, №4, – p. 22-34.

metriyası və polyarlaşma dərəcəsi mənfi qiymət alır və $tg\beta$ parametrinin qiymətinin artması ilə azalır⁴.



Uyğun olaraq, $H \Rightarrow Zf\bar{f} (H \to Wf\bar{f'})$ və $H(A) \to t\bar{b}W^- (H^{\pm} \to b\bar{b}W^+)$ parçalanma prosesləri tədqiq edilmiş və parçalanma enləri üçün və həmçinin $H(A) \to t\bar{b}W^-$ parçalanmasında *t*-kvarkın uzununa polyarlaşma dərəcəsinin ifadəsi alınmış və müvafiq olaraq Hiqqs bozonun kütləsindən və enerjidən asılılıqlar öyrənilmişdir (şəkil 4, 5).



⁴Abdullayev S. K., Omarova E. Sh. The decay of a top quark via the channel $t \Rightarrow H^+b$ // Magistrantların və gənc tədqiqatçıların XXI "Fizika və Atronomiya problemləri" ümumrespublika elmi konfransı – Bakı: – 21 may, – 2021, – s. 16-17.



Şəkil 5. t-kvarkın uzununa polyarlaşma dərəcəsinin enerji asılılığı

III fəsildə Hiqqs bozonlarının Hiqqs və vektor bozonlara parçalanmaları tədqiq edilmişdir. Burada $H(h) \Rightarrow VV$, $H \Rightarrow hh$, $H \Rightarrow hb\bar{b}$, $A \Rightarrow hZ^0$ və $H^{\pm} \Rightarrow hW^{\pm}$ proseslərinin matris elementləri yazılmış, hər bir proses üçün parçalanma eninin ifadəsi alınmışdır. Əgər təcrübələrdən parçalanma eni məlum olarsa, verilən düstur əsasında həm Hiqqs bozonunun kütləsini, həm də $tg\beta$ parametrini təyin etmək mümkündür⁵.

Hiqqs bozonlarının ilgək diaqramlı $H(h; A) \Rightarrow \gamma\gamma(gg), H(h; A) \Rightarrow \gamma Z, H^{\pm} \Rightarrow \gamma W^{\pm}$ parçalanmalarına baxılmışdır. Foton (qlüon) kütləsiz zərrəcik olduğundan Hiqqs bozonları ilə birbaşa qarşılıqlı təsirdə olmur. Ona görə Hiqqs bozonlarının $H(h; A) \Rightarrow \gamma\gamma(gg), H(h; A) \Rightarrow \gamma Z, H^{\pm} \Rightarrow \gamma W^{\pm}$ kanalı üzrə parçalanmalar ilgək zərrəcikli Feynman diaqramları ilə təsvir olunur (şəkil 6). İlgək zərrəcikləri ağır fermionlar (t- və b-kvarklar, τ^{-} -lepton), W^{\pm} -bozonlar, H^{\pm} -Hiqqs bozonlar, skalyar fermionlar \tilde{f} , çarcinolar $\chi_{1,2}^{\pm}$ ola bilər.

H(h) Hiqqs bozonun dairəvi polyarlaşmış fotonlara parçalanma eni üçün aşağıdakı ifadə alınmışdır⁶:

$$\Gamma(\Phi \to \gamma \gamma) = \frac{G_F \alpha_{KED}^2 M_{\Phi}^3}{512\sqrt{2}\pi^3} \cdot (1 + l_1 l_2) \left| \sum_f N_C Q_f^2 g_{\Phi ff} A_{1/2}^{\phi}(\tau_f) \right|^2.$$
(11)

⁵Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Two- and three-particle decay channels of supersymmetric Higgs bosons // Azerbaijan Journal of Physics, Fizika, – 2019. V. XXV, №4, – p. 29-39.

⁶Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Decays of H(h; A) Higgs bosons into two photons (gluons) // Russian Physics Journal, – 2020. V. 62, No. – p. 1623-1634.



Şəkil 6. $H(h; A) \rightarrow \gamma \gamma$ parçalanmasının Feynman ilgək diaqramları

Bu düsturda ilgək fermionları üzrə cəmlənmə aparılmışdır, $A^{\phi}_{1/2}(\tau_f)$ – spini 1/2 olan fermionun formfaktorudur (şəkil 6, *a*, *b*):

$$A_{1/2}^{\phi}(\tau_f) = \frac{2}{\tau_f^2} [\tau_f + (\tau_f - 1)f(\tau_f)].$$
(12)

Fermion formfaktorunun ifadəsində $\tau_f = M_{\Phi}^2/4m_f^2$ nisbətinə bərabərdir.

 $W^\pm\text{-bozon}$ ilgək diaqramlarına uyğun gələn $\Phi \Rightarrow \gamma\gamma$ parçalanmasının eni

$$\Gamma(\Phi \to \gamma \gamma) = \frac{G_F \alpha_{KED}^2 M_{\Phi}^3}{128\sqrt{2}\pi^3} \cdot g_{\Phi WW}^2 \cdot |A_1^{\Phi}(\tau_W)|^2$$
(13)

düsturu ilə verilir (şəkil 6, c, d, e), burada

$$A_1^{\phi}(\tau_W) = -\frac{1}{\tau_W^2} [2\tau_W^2 + 3\tau_W + 3(2\tau_W - 1)f(\tau_W)]$$
(14)

– *W*-bozon formfaktoru, $\tau_W = M_{\Phi}^2/4M_W^2$, $g_{\Phi WW}$ – *W*-bozon cütü ilə Φ -bozonun qarşılıqlı təsir sabiti olub, $g_{H_{SM}WW}$ parçalanma sabitinə normalanmışdır.

 $\Phi \Rightarrow \gamma \gamma$ parçalanmasına həmçinin yüklü Hiqqs bozonu və supersimmetrik zərrəciklərin Feynman ilgək diaqramları da pay verir. Bütün bunları nəzərə alaraq, ümumi halda $\Phi \Rightarrow \gamma \gamma$ parçalanmasının eninin ifadəsini aşağıdakı kimi göstərmək olar⁶:

$$\Gamma(\Phi \to \gamma \gamma) = \frac{G_F \alpha_{KED}^2 M_{\Phi}^3}{128\sqrt{2}\pi^3} \cdot \left| \sum_f N_C Q_f^2 g_{\Phi ff} A_{1/2}^{\Phi}(\tau_f) + \right|$$

$$+ \frac{M_Z^2 \lambda_{\Phi H^+ H^-}}{2M_{H^{\pm}}^2} A_0^{\Phi}(\tau_{H^{\pm}}) + \sum_{\tilde{f}_i} \frac{N_C Q_{\tilde{f}_i}^2}{m_{\tilde{f}_i}} g_{\Phi \tilde{f}_i \tilde{f}_i} A_0^{\Phi}(\tau_{\tilde{f}_i}) + + g_{\Phi WW} A_1^{\Phi}(\tau_W) + \sum_{\tilde{\chi}_i^{\pm}} \frac{2M_W}{m_{\tilde{\chi}_i^{\pm}}} g_{H\tilde{\chi}_i^+ \tilde{\chi}_i^-} A_{1/2}^{\Phi}(\tau_{\tilde{\chi}_i^{\pm}}) \bigg|^2.$$

 $A \Rightarrow \gamma \gamma$ parçalanması fermion ilgək diaqramları ilə yanaşı, çarcino ilgək diaqramları vasitəsilə də təsvir edilir. Ümumi halda, $A \Rightarrow \gamma \gamma$ parçalanmasının eni üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$\Gamma(A \to \gamma \gamma) = \frac{G_F \alpha_{KED}^2 M_{\Phi}^3}{128\sqrt{2}\pi^3} \times \left| \sum_f N_C Q_f^2 g_{Aff} A_{1/2}^A(\tau_f) + \sum_{\tilde{\chi}_i^{\pm}} \frac{2M_W}{m_{\tilde{\chi}_i^{\pm}}} g_{A\tilde{\chi}_i^{\pm} \tilde{\chi}_i^{-}} A_{1/2}^A(\tau_{\tilde{\chi}_i^{\pm}}) \right|^2.$$

MSSM-də *H*, *h* və *A*-bozonlarının *q*-kvark və ya \tilde{q} -skalyar kvark ilgək diaqramları vasitəsilə təsvir edilən iki qlüona parçalanması da mümkündür. $\Phi \Rightarrow gg \ (\Phi = H; h)$ və $A \Rightarrow gg$ parçalanma enləri üçün analitik ifadələr alınır:

$$\Gamma(\Phi \to gg) = \frac{G_F \alpha_s^2 M_{\Phi}^3}{64\sqrt{2}\pi^3} \cdot \left| \sum_q g_{\Phi qq} \cdot A_{\frac{1}{2}}^{\Phi}(\tau_f) \right|^2, \tag{15}$$

$$\Gamma(A \to gg) = \frac{G_F \alpha_s^2 M_A^3}{64\sqrt{2}\pi^3} \cdot \left| \sum_q g_{Aqq} \cdot A_{\frac{1}{2}}^A(\tau_f) \right|^2.$$
(16)

7-ci şəkildə $tg\beta = 3$ olduğu halda, $H \rightarrow \gamma\gamma$ və $A \rightarrow \gamma\gamma$ parçalanma enlərinin Hiqqs bozonun kütləsindən asılılığı göstərilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, *t*-kvark ilgəyi halında $m_t = 173.2$ GeV olduğu nəzərə alınmışdır. Göründüyü kimi, Hiqqs bozonun M_H kütləsi artdıqca, parçalanma enlərinin qiyməti də artır.

Şəkil 8-də $tg\beta = 3$ və $x_W = 0.2315$ olduqda, *t*-kvark ilgək diaqramları vasitəsilə təsvir olunan $H \Rightarrow \gamma Z$ və $A \Rightarrow \gamma Z$ parçalanma enlə-



rinin Hiqqs bozonun kütləsindən asılılıq qrafikləri verilmişdir⁷.

 $H^{\pm} \Rightarrow \gamma W^{\pm}$ parçalanması *t* və *b*-kvark ilgək diaqramları ilə baş verir və parçalanmasının eni üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\Gamma(H^{\pm} \Rightarrow \gamma W^{\pm}) = \frac{\alpha_{KED}^3 N_C^2 M_{H^+}^3}{2^8 \cdot 9\pi^2 \cdot M_W^2} \times \left(1 - \frac{M_W^2}{M_{H^+}^2}\right)^3 x_W \left[ctg^2\beta + \left(\frac{m_b}{m_t}tg\beta\right)^2\right]$$

⁷Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Decays of the Higgs bosons *H*, *h*, *A* and H^{\pm} into a photon and a gauge boson // Russian Physics Journal, – 2020. V. 63, No3, – p. 372-384.

Şəkil 9-da $tg\beta = 3$, $x_W = 0.2315$, $M_W = 80,385$ GeV, $m_t = 173,2$ GeV, $m_b = 4,88$ GeV olduqda, $H^+ \Rightarrow \gamma W^+$ parçalanma eninin Hiqqs bozonun kütləsindən asılılıq qrafiki göstərilmişdir.



Eləcə də, $H \Rightarrow Af\bar{f}$, $A \Rightarrow hf\bar{f}$, $H^{\pm} \Rightarrow Hf\bar{f}'$ və $H^{\pm} \Rightarrow h(A)f\bar{f}'$ parçalanma kanalları tədqiq edilmiş, parçalanma enləri üçün uyğun ifadələr alınmış və parçalanma enlərinin Hiqqs bozonunun kütləsindən asılılıq qrafikləri qurulmuşdur (şəkil 10)⁸.



Bu fəsildə həmçinin Hiqqs bozonlarının $H(h; A) \Rightarrow f \bar{f} \gamma$ parçalanmalarında γ -kvantın dairəvi (xətti) polyarlaşma dərəcəsinə baxılmış-

⁸Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Three particle decays of the Higgs bosons in the Minimal Supersymmetric Standard Model // Russian Physics Journal, – 2019. V 62, №3, – p. 425-435.

dır. Parçalanma eni üçün analitik ifadələr hesablanmış, γ -kvantın dairəvi (xətti) polyarlaşma dərəcəsinin ifadəsi alınmışdır. Həmçinin polyarlaşma dərəcəsinin enerjinin müxtəlif qiymətlərində fermionun çıxış bucağından ($z = \cos \theta$) asılılıq qrafikləri qurulmuşdur^{9,10,11}.

Şəkil 11-də z = 0 və z = 1 olduqda $H \Rightarrow \tau^- \tau^+ \gamma$ parçalanmasında γ -kvantın dairəvi polyarlaşma dərəcəsinin lepton cütünün x invariant kütləsindən asılılıq qrafikləri göstərilmişdir. Qrafikdən görünür ki, invariant kütlənin artması ilə, P_{γ} -nın qiyməti müntəzəm olaraq azalır.



Şəkil 11. P_{γ} -nın x invariant kütləsindən asılılığı

Şəkil 12-də isə x = 0.1; 0.5; 0.8 olduqda, $h \Rightarrow \tau^- \tau^+ \gamma$ parçalanmasında γ -kvantın xətti polyarlaşma dərəcəsinin θ bucağının kosinusundan asılılığını təsvir edir. Görünür ki, $-1 \le \cos \theta \le -0.5$ (0.5 $\le \cos \theta \le 1$) olduqda, $h \Rightarrow \tau^- \tau^+ \gamma$ parçalanmasında γ -kvantın xətti polyarlaşma dərəcəsinin qiyməti artır (azalır), $-0.5 \le \cos \theta \le 0.5$ olduqda isə γ -kvantın xətti polyarlaşma dərəcəsinin qiyməti sabit qalır¹⁰.

IV fəsil Hiqqs bozonlarının parçalanmalarında supersimmetrik zərrəciklərin doğulması proseslərinə həsr olunmuşdur. Supersimmetrik

¹⁰Omarova, E.Sh. Radiative Higgs boson decays $H(h; A) \Rightarrow f\bar{f}\gamma$ in MSSM // – Baku: Journal of Baku Engineering University, Physics, – 2020. V.4, No1, – p.8-17.

⁹Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Radiative Higgs boson decay $H(h; A) \Rightarrow f\bar{f}\gamma$ in MSSM // – Baku: Bakı Universitetinin Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası, – 2020. No2, – p. 65-80.

¹¹Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. The linear polarization of γ -quanta in the decay $h(H; A) \Rightarrow f \bar{f} \gamma // 1^{\text{st}}$ International Congress on Natural Sciences (ICNAS – 2021), – Erzurum, Turkey: – 10 September, – 2021, – p. 510-513.



Şəkil 12. *x*-ın müxtəlif qiymətlərində $h \Rightarrow \tau^- \tau^+ \gamma$ parçalanmasında $P(x, \cos \theta)$ -nın $\cos \theta$ -dan asılılıq qrafikləri

zərrəciklərə çarcino, neytralino və skalyar fermionları nümunə göstərmək olar.

Kalibriəmə W^{\pm} və Hiqqs H^{\pm} bozonlarının supersimmetrik cütləri kalibrino (vino) \widetilde{W}^{\pm} və hiqqsino \widetilde{H}^{\pm} adlanır. Bu spinor sahələrin kütlə matrisinin ifadəsində çarcıno $\widetilde{\chi}_{1,2}^{\pm}$ 4-komponentlidir. Dirak fermionu olan çarcıno $\widetilde{\chi}_{1,2}^{\pm}$, vino \widetilde{W}^{\pm} və hiqqsino \widetilde{H}^{\pm} bir-biri ilə qarışdığı zaman yaranır.

MSSM-də neytralino isə $\tilde{\chi}_i^0$ (i = 1, 2, 3, 4) neytral vino \tilde{W}^0 və bino \tilde{B}^0 , həmçinin də \tilde{H}_1^0 və \tilde{H}_2^0 hiqqsinoların superpozisiyasından yaranır. Neytralino, Mayarona fermionu olub, antizərrəciyi zərrəciyin üzərinə düşür.

Şəkil 13-də $tg\beta = 30$ və $M_2 = 150$ GeV olduqda, $m_{\tilde{\chi}_1^{\pm}}$ və $m_{\tilde{\chi}_2^{\pm}}$ çarcinoların kütlələrinin μ parametrindən asılılığı göstərilmişdir. Göründüyü kimi, μ parametrinin qiyməti artdıqca, yüngül (ağır) çarcinonun $m_{\tilde{\chi}_1^{\pm}}$ ($m_{\tilde{\chi}_2^{\pm}}$) kütləsi də müntəzəm olaraq artır və $\mu = -500$ GeV olduqda $m_{\tilde{\chi}_1^{\pm}} = 147$ GeV ($m_{\tilde{\chi}_2^{\pm}} = 512$ GeV) və $\mu = 500$ GeV olduqda isə $m_{\tilde{\chi}_1^{\pm}} = 145$ GeV ($m_{\tilde{\chi}_2^{\pm}} = 514$ GeV) qiymətini alır. μ parametrinin sıfır qiymətində çarcinoların kütlələri də minimum qiymət alır¹²:

 $m_{\tilde{\chi}_1^{\pm}}(\mu = 0) = 2.696 \text{ GeV}, m_{\tilde{\chi}_2^{\pm}}(\mu = 0) = 188.192 \text{ GeV}.$

¹²Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Higgs boson decays into a pair of supersymmetric particles // Azerbaijan Journal of Physics, Fizika, – 2020. V. XXVI, №2, – p. 38-50.



 $H_k \Rightarrow \tilde{\chi}_i^- \tilde{\chi}_j^+$ parçalanmasında çarcinonun uzununa polyarlaşdığı halda, parçalanma eni üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\Gamma(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{1}{4} \Gamma_0 \Big(H_k \Rightarrow \tilde{\chi}_i^- \tilde{\chi}_j^+ \Big) [1 + \lambda_1 \lambda_2 + (\lambda_1 + \lambda_2) P].$$
(17)

Burada

$$\Gamma_{0}(H_{k} \Rightarrow \tilde{\chi}_{i}^{-} \tilde{\chi}_{j}^{+}) = \frac{G_{F} M_{W}^{2}}{2\sqrt{2}\pi} M_{H_{k}} \sqrt{(1 - r_{i} - r_{j})^{2} - 4r_{i}r_{j}} \times \\ \times \{ [(g_{ijk}^{L})^{2} + (g_{ijk}^{R})^{2}](1 - r_{i} - r_{j}) - 4g_{ijk}^{L} g_{ijk}^{R} \sqrt{r_{i}r_{j}} \}$$
(18)

 – çarcino cütünün polyarlaşmadığı halda prosesin parçalanma eni, P isə çarcinonun uzununa polyarlaşma dərəcəsidir:

$$P = \frac{[(g_{ijk}^L)^2 - (g_{ijk}^R)^2]\sqrt{(1 - r_i - r_j)^2 - 4r_ir_j}}{[(g_{ijk}^L)^2 + (g_{ijk}^R)^2](1 - r_i - r_j) - 4g_{ijk}^Lg_{ijk}^R\sqrt{r_ir_j}}$$
(19)

(17) ifadəsindən görünür ki, $H_k \Rightarrow \tilde{\chi}_i^- \tilde{\chi}_j^+$ Hiqqs bozonun parçalanmasında çarcinolar eyni spirallığa malik olmalıdır: $\lambda_1 = \lambda_2 = \pm 1$ ($\tilde{\chi}_{iR}^- \tilde{\chi}_{jR}^+$ və ya $\tilde{\chi}_{iL}^- \tilde{\chi}_{jL}^+$). Bu, $H_k \Rightarrow \tilde{\chi}_i^- \tilde{\chi}_j^+$ parçalanmasında tam momentin saxlanma qanunu ilə əlaqədardır.

Çarcinonun eninə polyarlaşma dərəcəsi aşağıdakı ifadə ilə verilir:

$$P_{\perp} = \frac{2g_{ijk}^{L}g_{ijk}^{R}(1 - r_{i} - r_{j}) - 4[(g_{ijk}^{L})^{2} + (g_{ijk}^{R})^{2}]\sqrt{r_{i}r_{j}}}{[(g_{ijk}^{L})^{2} + (g_{ijk}^{R})^{2}](1 - r_{i} - r_{j}) - 4g_{ijk}^{L}g_{ijk}^{R}\sqrt{r_{i}r_{j}}} \cdot \cos\varphi \quad (20)$$

 $tg\beta = 1$ olduqda, qarşılıqlı təsir sabitləri $g_{ijk}^L = g_{ijk}^R$ olduğuna görə, eninə polyarlaşma dərəcəsi yalnız $\vec{\eta}_1$ və $\vec{\eta}_2$ spin vektorları arasındakı bucağın kosinusuna bərabərdir:

$$P_{\perp} = \cos \varphi. \tag{21}$$

(21) ifadəsindən görünür ki, φ bucağı 0°-dən 180°-yə kimi dəyişdikdə, çarcinonun eninə polyarlaşma dərəcəsi də +1-dən –1-ə kimi dəyişir, azimut bucağının 180°-dən 360°-yə kimi sonrakı artımında isə P_{\perp} –1-dən +1-ə kimi artır.

Şəkil 14-də $tg\beta = 1$, $M_2 = 150$ GeV, $\mu = 160$ GeV, $M_Z = 91.1875$ GeV, $M_W = 80.385$ GeV olduqda, $H \Rightarrow \tilde{\chi}_1^- \tilde{\chi}_2^+$ parçalanma eninin Hiqqs bozonun kütləsindən asılılıq qrafiki göstərilmişdir. Hiqqs bozonun kütləsinin artması ilə parçalanma eninin qiyməti də artır.



Şəkil 14. $H \Rightarrow \tilde{\chi}_1^- \tilde{\chi}_2^+$ parçalanma eninin M_H kütləsindən asılılığı

IV fəsildə həmçinin Hiqqs bozonlarının neytralino cütünə parçalanma kanallarına $H(h; A) \Rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0$, yüklü Hiqqs bozonunun çarcino-neytralino cütünə parçalanmasına $H^{\mp} \Rightarrow \tilde{\chi}_i^{\mp} \tilde{\chi}_j^0$, eləcə də, çarcinonun yüngül çarcinoya (neytralinoya) və Hiqqs bozonuna parçalanma kanallarına $\tilde{\chi}_2^{\mp} \Rightarrow \tilde{\chi}_1^{\mp} H(h; A), \tilde{\chi}_2^{\mp} \Rightarrow \tilde{\chi}_1^0 H^{\mp}, \tilde{\chi}_{3,4}^{\mp} \Rightarrow \tilde{\chi}_{1,2}^0 h(H; A)$ baxılmışdır. Hər bir parçalanma kanalı üçün matris elementinin ifadəsi yazılmış, parçalanma eninin və zərrəciklərin uzununa və eninə polyarlaşma dərəcələrinin ifadələri alınmışdır.

Şəkil 15-də $tg\beta = 3$, $sin^2 \theta_W = 0.2315$ olduqda, $H \Rightarrow \tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_3^0$ parçalanma eninin Hiqqs bozonunun M_H kütləsindən asılılıq qrafiki göstərilmişdir. Şəkildən görünür ki, Hiqqs bozonunun kütləsinin qiyməti artdıqca $H \Rightarrow \tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_3^0$ parçalanma eni də artır.



Şəkil 15. $H \Rightarrow \tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_3^0$ parçalanma eninin M_H kütləsindən asılılığı

Şəkil 16-də $\tilde{\chi}_2^- \Rightarrow \tilde{\chi}_1^0 H^-$ parçalanmasında A_{II} – uzununa spin asimmetriyasının, A_{\perp} – eninə spin asimmetriyasının və P_{\perp} – eninə polyarlaşma dərəcəsinin θ bucağından asılılığı göstərilmişdir. Göründüyü kimi, uzununa spin asimmetriyası əvvəlcə, müsbət qiymətlər alır, θ bucağının artması ilə o, azalır və $\theta = 90^\circ$ olduqda, sıfır qiymətini alır, daha sonra isə mənfi qiymətlər alır. $\theta = 0^\circ$ olduqda uzununa spin asimmetriyası maksimum qiymət alır və $A_{II} = 7,9\%$. Eninə spin asimmetriyası A_{\perp} da müsbət qiymət alır. θ bucağının qiyməti artdıqca, o da artır və $\theta = 90^\circ$ olduqda, maksimum qiymət alır, $A_{\perp} = 10\%$, daha sonra bucağın artması ilə P_{\perp} -nın qiyməti azalır. Neytralinonun eninə polyarlaşma dərəcəsi mənfi qiymət alır, θ bucağının artması ilə azalır və $\theta = 90^\circ$ olduqda –1 qiymətini alır, bucağının sonrakı artımında eninə polyarlaşma dərəcəsinin qiyməti də artır.



Şəkil 16. $\tilde{\chi}_2^- \Rightarrow \tilde{\chi}_1^0 H^$ parçalanmasında A_{II} və A_{\perp} asimmetriyaların və P_{\perp} polyarlaşma dərəcəsinin θ bucağından asılılığı ($m_{\tilde{\chi}_2^-} =$ 378.303GeV)

25

NƏTİCƏLƏR

1. MSSM-də fermion-antifermion cütünün ixtiyari polyarlaşma halları nəzərə alınmaqla Hiqqs bozonların $H(h; A) \rightarrow f\bar{f}$ və $H^+ \rightarrow f\bar{f}'$ kanalları üzrə parçalanmalarının diferensial və tam ehtimalları hesablanmışdır. Göstərilmişdir ki, fermion-antifermion cütünün eninə spin vektorları paralel olduqda ($\vec{\eta}_1 \vec{\eta}_2 = 1$) Hiqqs bozonun $H(h; A) \rightarrow f\bar{f}$ kanalı üzrə parçalanması CP-cüt qarşılıqlı təsir, antiparalel olduqda isə ($\vec{\eta}_1 \vec{\eta}_2 = -1$) CP-tək qarşılıqlı təsir hesabına baş verə bilər.

2. Hiqqs bozonlarının $H(h; A) \rightarrow f\bar{f}$ kanalı üzrə parçalanmalarında yaranan fermionla antifermion eyni spirallığa malik olmalıdır: $\lambda_1 = \lambda_2 = \pm 1$ ($f_R \bar{f}_R$ və ya $f_L \bar{f}_L$ spirallı hallar). Fermionun uzununa polyarlaşma dərəcəsi P_f parçalanan Hiqqs bozonun CP-cütlüyü haqqında informasiya daşıyır.

3. Yüklü Hiqqs bozonun $H^+ \rightarrow t\bar{b}$ kanalı üzrə parçalanmasında doğulan top kvarkın uzununa polyarlaşma dərəcəsi P_t Hiqqs bozonun M_{H^+} kütləsinə olduqca həssasdır. Odur ki, təcrübələrdə t-kvarkın uzununa polyarlaşma dərəcəsini ölçməklə Hiqqs bozonun M_{H^+} kütləsi daha dəqiq təyin edilə bilər.

4. Ağır Hiqqs bozonun kalibrlənmə bozonuna və uzununa polyarlaşmış fundamental fermion-antifermion cütünə parçalanma kanallarının $H \to ZZ^* \to Zf \bar{f}$, $H \to WW^* \to Wf \bar{f}'$ diferensial və tam enləri üçün analitik ifadələr alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, parçalanma proseslərində yaranan fermionla antifermion əks spirallıqlara malik olmalıdır: $\lambda_1 = -\lambda_2 = \pm 1$ ($f_R \bar{f}_L$ və ya $f_L \bar{f}_R$ spirallı hallar). $\Gamma(H \to ZZ^*)$ və $\Gamma(H \to WW^*)$ parçalanmalarının tam enləri Hiqqs bozonun M_H kütləsinə çox həssasdır. $H \to ZZ^*$ və $H \to WW^*$ parçalanmalarının enlərini təcrübələrdə ölçməklə Hiqqs bozonunun kütləsini təyin etmək mümkündür.

5. Feynman texnikasından istifadə etməklə Hiqqs bozonların $H(h; A) \rightarrow \gamma\gamma$, $H(h; A) \rightarrow gg$, $H(h; A) \rightarrow \gamma Z$, $H^{\pm} \rightarrow \gamma W^{\pm}$ parçalanma kanallarına uyğun ilgək diaqramları hesablanmış və parçalanmaların tam enləri üçün analitik ifadələr alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, $H(h; A) \rightarrow \gamma\gamma$ parçalanmalarında qamma kvantlar ya sağ $(l_1 = l_2 = +1)$, ya da sol $(l_1 = l_2 = -1)$ dairəvi polyarlaşmalıdır. Fotonlardan biriin sağ, digərinin isə sol dairəvi polyarlaşması tam momentin

saxlanması qanunu ilə qadağan edilmişdir.

6. MSSM çərçivəsində Hiqqs bozonların $H(h; A) \rightarrow f\bar{f}\gamma$ $(f\bar{f} - ağır fermion-antifermion cütüdür: <math>f\bar{f} = \tau^-\tau^+$, $c\bar{c}$, $b\bar{b}$) parçalanmalarında qamma kvantın fermionla antifermion tərəfindən şüalandırılması diaqramlarını nəzərə almaqla diferensial ehtimalı, fotonun dairəvi və xətti polyarlaşma dərəcələri üçün analitik düsturlar alınmışdır. Göstərilmişdir ki, $H \rightarrow \tau^-\tau^+\gamma$ parçalanma prosesində fotonun enerjisinin azalması ilə γ -kvantın dairəvi polyarlaşma dərəcəsi azalır, xətti polyarlaşma dərəcəsi isə artır.

7. Hiqqs bozonların $H(h; A) \rightarrow f \bar{f} \gamma (f \bar{f} - yüngül fermion-antifer$ $mion cütüdür: <math>f \bar{f} = e^- e^+, u \bar{u}, d \bar{d}, s \bar{s}$) parçalanmalarında top kvarkla *W*-bozon ilgək diaqramları nəzərə almaqla ehtimalın həm fermionantifermion cütünün, həm də γ -kvantın spirallıqlarından asılılığını müəyyən edən analitik ifadələr alınmışdır. Qamma kvantın dairəvi və xətti polyarlaşma dərəcələri, fermionun isə uzununa polyarlaşma dərəcəsi təyin edilərək, həmin xarakteristikaların θ polyar bucağından və invariant x kütləsindən asılılıqları ətraflı öyrənilmişdir.

8. Supersimmetrik zərrəciklərin (çarcino və neytralino) ixtiyari polyarlaşma halları nəzərə alınmaqla Hiqqs bozonların $H(h; A) \rightarrow \tilde{\chi}_i^- \tilde{\chi}_j^+$, $H(h; A) \rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0$ və $H^{\pm} \rightarrow \tilde{\chi}_i^{\pm} \tilde{\chi}_j^0$ kanalları üzrə parçalanmaların diferensial və tam ehtimallarının ifadələri alınmış, çarcinonun (neytralinonun) uzununa və eninə polyarlaşma dərəcələri təyin edilmişdir. Həmin xarakteristikaların təcrübələrdə ölçülməsi ilə MSSM-in parametrləri haqqında müəyyən informasiya əldə etmək mümkündür.

Dissertasiya işinin əsas müddəaları və alınmış nəticələr aşağıdakı elmi əsərlərdə öz əksini tapmışdır:

1. Abdullayev, S.Q., Ömərova. E.Ş. Skalyar (psevdoskalyar) bozonun fermion cütünə çevrilməsi // Magistrantların və gənc tədqiqatçıların "Fizika və Astronomiya problemləri" beynəlxalq elmi konfransı, – Bakı, Azərbaycan: – 24 – 25 may, – 2018, – s. 45-48.

2. Омарова, Э.Ш. Циркулярная поляризация γ -кванта в радиационном распаде $H \rightarrow f \bar{f} \gamma //$ Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXIII Respublika elmi konfransı, – Bakı, Azərbaycan: – 2019, – s. 39-41. **3.** Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Decays of Higgs bosons into fermion-antifermion pair // Russian Physics Journal, -2018. V. 61, $N_{2}9$, -p. 1603-1612.

4. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Decays of Higgs bosons into a gauge boson and a fermion-antifermion pair // Russian Physics Journal, -2019. V. 62, N₀1, -p. 30-39.

5. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Three particle decays of the Higgs bosons in the Minimal Supersymmetric Standard Model // Russian Physics Journal, – 2019. V. 62, №3, – p. 425-435.

6. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Decays of H(h; A) Higgs bosons into two photons (gluons) // Russian Physics Journal, – 2020. V. 62, No. 9, – p. 1623-1634.

7. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Decays of the Higgs bosons H, h, A and H^{\pm} into a photon and a gauge boson // Russian Physics Journal, -2020. V. 63, No3, -p. 372-384.

8. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Circular polarization of a γ quantum in the radiative decay $H \Rightarrow f\bar{f}\gamma$ Part I // Russian Physics Journal, - 2021. V. 64, No2, - p. 228-236.

9. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Circular polarization of a γ quantum in the radiative decay $H \Rightarrow f\bar{f}\gamma$ Part II // Russian Physics Journal, - 2022. V. 64, No9, - p. 1731-1740.

10. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Decays of supersymmetric Higgs bosons into fermions // - Baku: Azerbaijan Journal of Physics, Fizika, -2018. V. XXIV, N_{24} , -p. 22-34.

11. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Two- and three-particle decay channels of supersymmetric Higgs bosons // – Baku: Azerbaijan Journal of Physics, Fizika, – 2019. V. XXV, №4, – p. 29-39.

12. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Decay channels of Higgs bosons $H(h; A) \Rightarrow \gamma \gamma(gg)$, $H(h; A) \Rightarrow \gamma Z$, $H^{\pm} \Rightarrow \gamma W^{\pm} // -$ Baku: Journal of Baku Engineering University, Physics, -2019. V. 3, No1, - p. 39-57.

13. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Polarization effects at Higgs boson decay $H \rightarrow f\bar{f}\gamma$ // – Baku: Azerbaijan Journal of Physics, Fizika, – 2020. V. XXVI, No1, – p. 3-12.

14. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Higgs boson decays into a pair of supersymmetric particles // – Baku: Azerbaijan Journal of

Physics, Fizika, – 2020. V. XXVI, №2, – p. 38-50.

15. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Radiative Higgs boson decay $H(h; A) \rightarrow f\bar{f}\gamma$ in MSSM // –Bak1: Bak1 Universitetinin Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası, – 2020. No. 2, – p. 65-80.

16. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. The decay of polarized chargino (neutralino) into Higgs bosons // - Baku: Journal of Baku Engineering University, Physics, -2020. V. 4, No. 2, -p. 61-75.

17. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. The decays of H(h; A) Higgs-bosons into two photons // International Conference "Modern trends in Physics", – Baku, Azerbaijan: – 01 – 03 May, – 2019, – p. 96-98.

18. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. The decay channels of Higgs boson $H \rightarrow h + h, H \rightarrow h + b + \overline{b}$ // The XIV International Scientific Symposium "A person in history", – Ankara, Turkey: – 26 May, – 2021, – p. 255-259.

19. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. The linear polarization of γ quanta in the decay $h(H; A) \rightarrow f \bar{f} \gamma // 1^{\text{st}}$ International Congress on Natural Sciences (ICNAS – 2021), – Erzurum, Turkey: – 10 September, – 2021, – p. 510-513.

20. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. The decay of a top quark via the channel $t \Rightarrow H^+b$ // Magistrantların və gənc tədqiqatçıların XXI "Fizika və Astronomiya problemləri" Ümumrespublika elmi konfransı, – Bakı: – 21 may, – 2021, – s. 16-17.

21. Abdullayev, S.K., Omarova, E.Sh. Higgs boson decays into a chargino pair $H(h; A) \Rightarrow \tilde{\chi}_i^- \tilde{\chi}_j^+ //$ Magistrantların və gənc tədqiqatçıların XXI "Fizika və Astronomiya problemləri" ümumrespublika elmi konfransı, – Bakı, Azərbaycan: – 21 may, – 2021, – s. 18-19.

22. Omarova, E.Sh. Radiative Higgs boson decays $H(h; A) \Rightarrow f \bar{f} \gamma$ in MSSM // – Baku: Journal of Baku Engineering University, Physics, – 2020. V. 4, No1, – p.8-17.

23. Omarova, E.Sh. The decay channels of Higgs bosons $H(h; A) \Rightarrow \tilde{\chi}_i^- \tilde{\chi}_j^+, H(h; A) \Rightarrow \tilde{\chi}_i^0 \tilde{\chi}_j^0 // - \text{Bakı: Bakı Universitetinin Xəbərləri. Fizi-ka-riyaziyyat elmləri seriyası, -2021. No3, - s. 105-117.$

Dissertasiyanın müdafiəsi "___" 2024-cü il tarixində saat 15.30-da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.19 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1148, Bakı şəhəri, Akademik Zahid Xəlilov küçəsi, 33.

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat "____" ____ 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

 Çapa imzalanıb:
 09.04.2024

 Kağızın formatı:
 A5 (60×90 1/16)

 Həcm:
 32 940 işarə

 Tiraj:
 100