



МАЙДОН ТУШУНЧАСИГА ЯНГИЧА ЁНДАШУВ

DOI: <https://doi.org/10.53885/edinres.2021.62.19.067>

Комилжон Насриддинов

*Тошкент вилояти Чирчиқ давлат педагогика институтининг “Физика”
кафедраси профессори*

Хамид Тахирович Юсупов

*Беларусь-Ўзбекистон қўшма тармоқлараро амалий техник
квалификациялар институтининг, “Гуманитар ва табиий фанлар” кафедраси
мудири*

Аннотация. Ушбу мақолада таълимида майдон тушунчаси, унинг тарихи ва унга хозирги замон физикаси нуқтаи назаридан қаралади.

Калит сўзлар: майдон концепцияси, электр майдони, магнит майдони, электромагнит майдон, гравитация, майдон тушунчаси.

НОВЫЙ ПОДХОД К КОНЦЕПЦИИ ПРОСТРАНСТВА

Комилжон Насриддинов,

профессор кафедры “Физика” Чирчицкого государственного педагогического института

Хамид Тахирович Юсупов,

заведующий кафедры Белорусско-Узбекского института прикладных технических квалификаций

В данной статье исследуется понятие поля в образовании, его история и с точки зрения современной физики.

Ключевые слова: концепция поля, электрическое поле, магнитное поле, электромагнитное поле, гравитация, понятие поля.

A NEW APPROACH TO THE CONCEPT OF SPACE

Komiljon Nasriddinov,

Professor of the Department of Physics Chirchik State Pedagogical Institute

Hamid Takhirovich Yusupov,

Head of the Department of the Belarusian-Uzbek Institute of Applied Technical Qualifications

This article examines the concept of field in education, its history and in terms of modern physics.

Key words: field conception, electrical field, magnetic field, electromagnetic field, gravity, field definition

Физика таълимида майдон тушунчаси кенг қўлланилади. Масалан, электр майдон, магнит майдон, электромагнит майдон, гравитацион майдон. Булардан маълум ходиса ва жараёнларни тушунтиришда фойдаланилади ҳамда уларнинг амалда қўлланилиши замонавий илмий-техник тараққиёт асосини ташкил қилади. Ушбу мақола узлуксиз физика таълимида майдон концепциясининг ёритилиши ҳамда унинг вақт ва фазога таъсирига

бағишланган.

Ҳозирги замон фани нуқтаи-назаридан материя икки хил шаклда, яъни модда ва майдон кўринишларида мавжуд бўлади, яъни, материя бизнинг онгимизга боғлиқ бўлмаган реаллик бўлиб, модда ва майдон кўринишларида намоён бўлади. Шу сабабли, энергия ва импульс майдонларнинг ҳам асосий хоссаларидандир.

Маълумки, майдон тушунчаси зарралар билан бўладиган ўзаро таъсирнинг катта масофаларга узатилишини тушунтириш мақсадида киритилган. Бу ўринда И.Ньютоннинг (1641-1727) ишларини (*actio in distance*) эшлаш ўринлидир. Маълумки, Ньютон механикаси асосида қуйидаги иккита аксиома ётади:

Жисмнинг массаси бир вақтнинг ўзида унинг инертлиги ҳамда ўзаро тортишишининг ўлчовидир.

Гравитацион ўзаро таъсир “бўш” фазо орқали бир онда узатилади.

Бунда “бўш” фазо ёки “бўшлиқ” деганда жисмлар орасидаги фазода массага эга бўлган бошқа моддий жисмларнинг бўлмаслиги назарда тутилган.

Ҳозирда майдон тушунчасига турлича таърифлар берилади. Ёш физик энциклопедик луғатида [1] майдонга математик нуқтаи-назардан координаталар ва вақтнинг ихтиёрий функцияси ёки функциялар тўплами деб таъриф берилади. Шунингдек, скаляр майдон (пластинканинг нотекис исишида унинг турли нуқталаридаги температура), вектор майдон (масалан, суоқликда ҳаракатланаётган зарралар тезликлари), физик майдон (масалан, электромагнит, гравитацион майдонлар) [2]. Биз қуйида физик майдонга тўхталамиз. Физик майдон материянинг махсус шакли бўлиб, у эркинлик даражалари сони чексиз катта бўлган физик системадир [2,3]. Бунда зарралар орасидаги фазо майдон билан тўлдирилган ва бу майдон бирор бир таъсирни бирор заррадан бошқасига чекланган тезликда узатиш вазифасини бажаради, деб қаралади.

Энди физика таълими ўқув адабиётларида майдон тушунчаси қандай ёритилганлигини қараб чиқайлик. Ўқув адабиётлари [4-8] да электр ва магнит майдонлар таъсирнинг узатилишини таъминловчи восита, моддий борлиқ сифатида таърифланади. Масалан, зарядли зарралар орасидаги ўзаро таъсирни таъминловчи электр майдон куч чизиклари инглиз физиги Майкл Фарадей (1791-1867) томонидан таъриф қилинган бўлиб, бу чизиклар шартли, математик манзара сифатида қаралади. Шунга ўхшаш ҳолат хоризм ўқув адабиётлари [9,10] да ҳам кузатилади: майдон–фазода таъсирни узатувчи восита, деб қаралади. Бундай ҳолат майдон тўғрисида мавҳум бир тасаввурнинг юзага келишига олиб келади. Чунки, адабиётлардаги майдонга берилган бундай таърифлар ўзида маълум маънода мавҳумликни акс эттириб турибди.

Энди бу масалага бошқача ёндошиб кўрайлик. Маълумки, ҳар қандай физик жараён фазода ва вақтда содир бўлади. Одатда фазо деганда эса 3 ўлчовли бир жинсли ва изотроп Евклид фазосини тушунамиз [11]. Нисбийлик назариясига кўра 4 ўлчовли фазо-вақт тушунчаси қўлланилади ва бунда 4-ўлчов – вақт фазонинг 3 ўлчови билан ажралмас боғлиқдир. Зарралар оламидаги жараёнларни тадқиқ қилиш эса фазонинг ўлчови янада юқори даражада эканлигини кўрсатди [12] ва ҳозирда бу фазо 11 ўлчовли эканлиги фанга маълум.

Физиклар фикрича бу ўлчов янада юкори даражага эга бўлиши мумкин. Бу ерда геометрик фазо $-x, y, z$ ва вақт $-t$ дан бошқа 7 ўлчам ички, яширин фазоларга тегишли бўлиб, бу ўлчамлар зарраларнинг ички хусусиятларини тушунтириш мақсадида киритилган.

Энди фазо тўғрисидаги тасаввурларнинг ривожига қисқача тўхталиб ўтамиз. Дастлаб фазо деганда ўзгармас, мутлоқ, яъни мустақил мавжуд фазо тасаввур қилинган [13]. Физик жисмлар ва жараёнлар фазога ҳеч қандай таъсир қилмайди деб қаралган. Лекин умумий нисбийлик назариясига кўра катта массали жисмлар (Қуёш, юлдузлар, планеталар) атрофида фазо эгриланади. Яъни, фазодаги объект ва жараёнлар фазонинг геометриясига таъсир кўрсатади.

Агар m массали фотон бир жинсли гравитацион майдонда g -тезланиш билан Δz масофани ўтса (g -гравитацион майдон кучланиши ҳамдир), унинг энергияси

$\Delta E = \Delta mc^2 = h\Delta\nu$ га ёки унинг массаси $\Delta m = \frac{mg\Delta z}{c^2}$ га ўзгаради. Фотон энергияси $E = h\nu = mc^2$ га тенглигидан, гравитацион майдоннинг g -тезланиши таъсирида

фотон частотаси $\Delta\nu = \frac{vg\Delta z}{c^2}$ га ўзгаради. Агар фотон гравитация майдонини енгиб чиқиб кетаётган, яъни юлдуздан нур чиқаётган бўлса, унинг частотаси $\Delta\nu$ га камаяди. Бу эффектни гравитация майдонидаги “қизил силжиш” дейилади. Бошқача айтганда, юлдуздан келаётган фотон юлдузнинг гравитация майдонини енгиш учун маълум иш бажаради, яъни унинг энергияси ёки частотаси камаяди:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{g\Delta z}{c^2} = \frac{(\varphi_2 - \varphi_1)}{c^2} = \frac{\Delta\varphi}{c^2}. \quad (1)$$

Бу ерда, φ -гравитация майдонининг потенциали бўлиб, M -массали ва R -радиусли юлдуз учун

$$\varphi = \frac{GM}{R}$$

каби аниқланади ва фотоннинг частотаси гравитация майдони потенциалига боғлиқлиги келиб чиқади. Эйнштейн назариясига кўра частотанинг бундай ўзгариши тажрибада ўз тасдиғини топган. Демак, бу ерда гравитация майдонининг жараёнга таъсири намоён бўлганлиги кўринади. Энди бу майдоннинг вақтга таъсирини қараймиз. Бунинг учун юкоридаги (1)

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\Delta\varphi}{c^2}$$

ифодани ўзгартириб ёзамиз. Агар $\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1$ десак ҳамда z_2 баландликдаги нурлатгич частотаси ν_2 бўлиб, уни z_1 баланликдаги қабул қилгич (приёмник) ν_1 деб қабул қилади ва бу ерда $z_2 > z_1$ бўлсин. Бу баландликлардаги гравитация майдони

потенциаллари $\varphi(z_1)$ ва $\varphi(z_2)$ га тенг бўлсин. У ҳолда $\nu_1 = \frac{1}{\Delta t_1}$, $\nu_2 = \frac{1}{\Delta t_2}$ ва $\nu = \frac{1}{\Delta t}$ десак

бу ерда, φ_{44} - вақтга мос гравитация компоненти. Фазо координаталари dx_1 , dx_2 , dx_3 га нисбатан ҳам (6) га ўхшаш ифодани ёзамиз:

$$\begin{aligned}
 -dl^2 &= \left(1 + \frac{\varphi_1}{c^2}\right)^2 dx_1^2 + \left(1 + \frac{\varphi_2}{c^2}\right)^2 dx_2^2 + \left(1 + \frac{\varphi_3}{c^2}\right)^2 dx_3^2 \approx \\
 &\approx (1 + 2\varphi_{11})dx_1dx_1 + (1 + 2\varphi_{22})dx_2dx_2 + (1 + 2\varphi_{33})dx_3dx_3, \quad (7)
 \end{aligned}$$

(6) ва (7) ни назарда тутиб, гравитация майдони мавжуд бўлганда воқеалар орасидаги интервал ds^2 ни қуйидагича ёзамиз: Уларни умумлаштириб

$$ds^2 = (1 + 2\varphi_{11})dx_1dx_1 + (1 + 2\varphi_{22})dx_2dx_2 + (1 + 2\varphi_{33})dx_3dx_3 + (1 + 2\varphi_{44})dx_4dx_4. \quad (8)$$

(8) ни умумлаштириб ёзамиз:

$$ds^2 = \sum_{\alpha, \beta} (1 + 2\varphi_{\alpha\beta})dx_\alpha dx_\beta, \quad \alpha, \beta = 1, 2, 3, 4, \quad (9)$$

ёки буни янада ихчам шаклда ёзамиз:

$$ds^2 = g_{\alpha\beta}dx_\alpha dx_\beta, \quad (10)$$

бу ерда, $g_{\alpha\beta} = 1 + 2\varphi_{\alpha\beta}$ ни гравитация мавжуд бўлгандаги фазо-вақтнинг метрик тензори ёки қисқача метрикаси дейилади. (10) да такрорланувчи индекслар бўйича йиғинди олинади. Текис, ясси фазо (Минковский фазоси) учун, яъни гравитация майдони ҳисобга олинмаган ҳол учун, (5) га асосан, $g_{\alpha\beta}$ -метрика қуйидагича аниқланади:

$$g_{11} = g_{22} = g_{33} = -1, \quad g_{44} = 1 \quad (11)$$

$\alpha \neq \beta$ бўлганда, $g_{\alpha\beta} = 0$ бўлади.

кўринишга келамиз. Бу ерда, $g_{\alpha\beta} = 1 + 2\varphi_{\alpha\beta}$ -фазо-вақтнинг метрик тензори бўлиб, унинг эгриланганилигини характерлайди. Охирги ифода текис, ясси бўлмаган фазо учун икки воқеа орасидаги интервални ифодалайди. Унга кўра фазонинг метрик хоссалари (эгрилиги) гравитация майдони потенциалига боғлиқдир.

Бундай эгриланган фазолар-Риман фазолари ёки ноевклид фазолар дейилади [13]. Улкан массали объектлар массаси - “гравитацион заряд”и сабабли гравитацион майдонга эга бўладилар. Бу майдонда бирор m массали жисмга таъсир қилувчи куч қиймати

$$F = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

ифодага кўра аниқланади. Гравитацион майдон барча массага эга объектларга хос. Лекин жуда кичик массали объектлар бўлган элементар зарралар оламида бу майдон таъсири эътиборга олмаса ҳам бўладиган даражада ўта сустдир. Ньютон механикасида эса жисмлар ҳаракати фазо хусусиятларига таъсир кўрсатмайди деб қаралади ва бу механика ўрганадиган ҳодисалар учун аслида ҳам шундай.

бу ерда, φ_{44} - вақтга мос гравитация компоненти. Фазо координаталари dx_1 , dx_2 , dx_3 га нисбатан ҳам (6) га ўхшаш ифодани ёзамиз:

$$\begin{aligned} -dl^2 &= \left(1 + \frac{\varphi_1}{c^2}\right)^2 dx_1^2 + \left(1 + \frac{\varphi_2}{c^2}\right)^2 dx_2^2 + \left(1 + \frac{\varphi_3}{c^2}\right)^2 dx_3^2 \approx \\ &\approx (1 + 2\varphi_{11})dx_1dx_1 + (1 + 2\varphi_{22})dx_2dx_2 + (1 + 2\varphi_{33})dx_3dx_3 \end{aligned} \quad (7)$$

(6) ва (7) ни назарда тутиб, гравитация майдони мавжуд бўлганда воқеалар орасидаги интервал ds^2 ни қуйидагича ёзамиз: Уларни умумлаштириб

$$ds^2 = (1 + 2\varphi_{11})dx_1dx_1 + (1 + 2\varphi_{22})dx_2dx_2 + (1 + 2\varphi_{33})dx_3dx_3 + (1 + 2\varphi_{44})dx_4dx_4. \quad (8)$$

(8) ни умумлаштириб ёзамиз:

$$ds^2 = \sum_{\alpha, \beta} (1 + 2\varphi_{\alpha\beta})dx_\alpha dx_\beta, \quad \alpha, \beta = 1, 2, 3, 4, \quad (9)$$

ёки буни янада ихчам шаклда ёзамиз:

$$ds^2 = g_{\alpha\beta}dx_\alpha dx_\beta, \quad (10)$$

бу ерда, $g_{\alpha\beta} = 1 + 2\varphi_{\alpha\beta}$ ни гравитация мавжуд бўлгандаги фазо-вақтнинг метрик тензори ёки қисқача метрикаси дейилади. (10) да такрорланувчи индекслар бўйича йиғинди олинади. Текис, ясси фазо (Минковский фазоси) учун, яъни гравитация майдони ҳисобга олинмаган ҳол учун, (5) га асосан, $g_{\alpha\beta}$ -метрика қуйидагича аниқланади:

$$g_{11} = g_{22} = g_{33} = -1, \quad g_{44} = 1 \quad (11)$$

$\alpha \neq \beta$ бўлганда, $g_{\alpha\beta} = 0$ бўлади.

кўринишга келамиз. Бу ерда, $g_{\alpha\beta} = 1 + 2\varphi_{\alpha\beta}$ -фазо-вақтнинг метрик тензори бўлиб, унинг эгриланганилигини характерлайди. Охириги ифода текис, ясси бўлмаган фазо учун икки воқеа орасидаги интервални ифодалайди. Унга кўра фазонинг метрик хоссалари (эгрилиги) гравитация майдони потенциалига боғлиқдир.

Бундай эгриланган фазолар-Риман фазолари ёки ноевклид фазолар дейилади [13]. Улкан массали объектлар массаси - “гравитацион заряд”и сабабли гравитацион майдонга эга бўладилар. Бу майдонда бирор m массали жисмга таъсир қилувчи куч қиймати

$$F = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

ифодага кўра аниқланади. Гравитацион майдон барча массага эга объектларга хос. Лекин жуда кичик массали объектлар бўлган элементар зарралар оламида бу майдон таъсири эътиборга олмас ҳам бўладиган даражада ўта сустдир. Ньютон механикасида эса жисмлар ҳаракати фазо хусусиятларига таъсир кўрсатмайди деб қаралади ва бу механика ўрганадиган ходисалар учун аслида ҳам шундай.

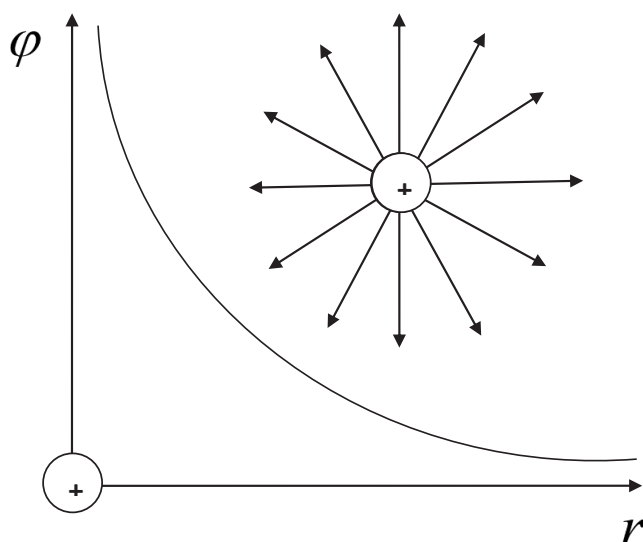
Энди тинч турган электр заряди ҳосил қилган электр майдонни қарайлик. Маълумки, электр майдонни иккита катталиқ - электр майдон кучланганлиги (\vec{E}) ҳамда электр майдон потенциали (φ) характерлайди. Мисол учун $+q$ - мусбат заряд бўлсин. Бу заряд ҳосил қилган электр майдон кучланганлиги қиймати

$$E = k \frac{q}{r^2}$$

ифода билан аниқланади. Ёки у ҳосил қилган электр майдон потенциали ифодаси

$$\varphi = k \frac{q}{r}$$

кўринишга эга бўлади. Бу ифодаларга кўра заряд атрофидаги ҳар бир нуқтада \vec{E} ва φ бирор бир қийматга эга. Шу сабабли ҳам заряд атрофидаги электр майдонни бир жинсли дея олмаймиз.



Шунга ўхшаш ўзгармас токли тўғри ўтказгич атрофидаги магнит майдони қиймати ҳам

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi r} I$$

каби ифодаланади. Бу ҳолда ҳам токли ўтказгич атрофидаги фазонинг ҳар бир нуқтасида магнит майдон индукция вектори - \vec{B} нинг турли қийматга эгаллиги сабабли бу майдонни ҳам бир жинсли дея олмаймиз. Электр ва магнит майдонлари ягона электромагнит майдоннинг хусусий кўринишлари эканлигини биламиз. Зарядланган зарралар системаси ўз атрофида электромагнит майдонни ҳосил қилади. Бу майдон \vec{E} ва \vec{B} ташкил этувчиларга эга. Бу векторлар ҳам фазонинг ҳар бир нуқтасида бирор қийматга эга ва бу қийматлар тенг эмас. Шу маънода электромагнит майдон бу ҳолда ҳам бир жинсли эмас. Энди бу уччала ҳолдаги бир

жинсли бўлмаган майдонларни фазога нисбатан қўллашлик. Биламизки, электр заряди алоҳида субстанция, мавжудлик бўлиб, зарранинг ажралмас хусусияти ҳисобланади. Зарралар зарядсиз бўлиши мумкин, лекин электр заряди заррасиз алоҳида, муваққил мавжуд бўла олмайдди. Электр заряди қаерда бўлса унинг атрофида электр майдони мавжуд бўлади. Шу сабабли, электр заряди ўз атрофидаги фазо хусусиятларини ўзгартиради деб қарашимиз мумкин. Яъни, заряд атрофидаги фазонинг нуқталари тенг кучли (бир жинсли) эмас ва Галилей ёки Лоренц алмаштиришлари ўринсиз бўлиб қолади. Шунга ўхшаш электр токи ёки зарядланган зарралар системаси атрофидаги фазо ҳам ўз хусусиятларини ўзгартиради ва бир жинсли бўлмай қолади. Лекин тинч турган электр заряди ва электр токи таъсиридаги фазо хусусиятларининг ўзгариши бир хил табиатли эмас. \vec{E} вектор уюрмали эмас, \vec{B} вектор эса уюрмали. Электромагнит майдоннинг \vec{E} ва \vec{B} ташкил этувчилари эса уюрмалидир. Манбалар (электр заряди, электр токи ва зарядланган зарралар системаси) дан узоқ масофаларда эса фазо хусусиятларининг ўзгарганлиги деярли сезилмайди. Демак, физик жисмлар ва жараёнлар фазога ўз таъсирини ўтказмайди деб қараш ҳақиқатда ҳам ўринсиздир. Катта массалар – “гравитацион заряд”лар таъсирида фазо эгрилангани каби электр заряди ва тоқлар атрофида ҳам фазо ўз хусусиятларини ўзгартиради, эгриланади ёки уйғонган ҳолатга ўтади деб қарашимиз мумкин. Шу сабабли ҳам майдонни фазонинг ўз хусусиятларини ўзгартирган, “уйғонган” ҳолати деб қарашимиз мумкин. Фазонинг ўз хусусиятларини ўзгартиришига ёки “уйғониши”га электр заряди, электр токи (доимий ёки ўзгарувчан), зарядланган зарралар системаси ёки масса – “гравитацион заряд” сабабчидир ва улар таъсирида фазонинг уйғониш характери ҳам турличадир. Электр заряд, электр токи ёки масса қанчалик катта бўлса, “уйғониш”, эгриланиш шунча катта бўлади. Яъни, фазодаги бирор бир нуқта учун бу “уйғониш”ни, эгриланишни характерловчи катталиклар ҳам шунчалик катта бўлади:

$$1. q_1 \prec q_2 \prec q_3 \prec \dots$$

$$\vec{E}_1 \prec \vec{E}_2 \prec \vec{E}_3 \prec \dots$$

$$2. I_1 \prec I_2 \prec I_3 \prec \dots$$

$$\vec{B}_1 \prec \vec{B}_2 \prec \vec{B}_3 \prec \dots$$

$$3. M_1 \prec M_2 \prec M_3 \prec \dots$$

$$\vec{F}_1 \prec \vec{F}_2 \prec \vec{F}_3 \prec \dots$$

Яъни, ҳар қандай майдон энергияси фазонинг уйғонганлик даражасига боғлиқ. Энди шу ҳолатни майдонга берилган таърифлар [1,2] билан таққослаймиз. Ёш физик энциклопедик луғати [1] даги таърифга кўра майдон математик нуқтаи-назардан $\vec{r} = x, y, z$ координаталар ва t вақтнинг ихтиёрий функцияси ёки функциялар тўплами деб қаралади. Агар функция деганда бирор иккита катталиклар тўплами орасидаги маълум қонуният асосидаги бир қийматли боғланиш назарда тутилишини эътиборга олсак бу келтирилган таъриф ўринли бўлади. Чунки, фазо хусусиятлари орасидаги боғланиш майдон мавжуд бўлган ва мавжуд бўлмаган ҳолларда турлича

бўлишини тасаввур қилиш мумкин. Майдоннинг квант назарияси [2] нуқтаи-назаридан майдон деганда, асосан, табиатдаги 4 та фундаментал ўзаро таъсир уларни амалга оширувчи таъсир ташувчилар - $g, \gamma, W^+, W^-, Z^0, G$ орқали ва зарралар билан бўладиган ҳар қандай ўзаро таъсир ҳам бошқа маълум зарралар орқали амалга ошиши назарда тутилади.

Шундай қилиб, биз билган электр, магнит, электромагнит майдонларни гравитацион майдон каби фазонинг ўз хусусиятларини ўзгартирган, эгриланган, уйғонган ҳолати деб қараш мумкин. Илмий адабиётларда мавжуд бўлган электромагнит ва гравитацион майдонлар бир хил табиатга эгаллиги тўғрисидаги фикрлар ҳам буни тасдиқлайди.

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Ёш физик энциклопедик луғати. –Т: Матбуот, 1989. –Б. 189.
2. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. Квантовые поля. –М.: Наука, 1980. –С. 13.
3. Habibullaev P.Q., Boydedaev A., Bahromov A.D. Fizika. 8-sinf. –Т.: Sharq, 2008. –В. 14; 81.
4. G'aniev A.G., Avliyoqulov A.K., Almardonova G.A. Fizika. I qism. Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari uchun darslik. –Т.: О'qituvchi, 2002. –В. 186;266.
5. Shaxmaev N.M., Shaxmaev S.N., Shodiyev D.SH. Fizika. 10-sinf. –Т.: О'qituvchi, 2003. –В. 13; 93.
6. Izbosarov B.F., Kamolov I.R. Elektromagnetizm. –Т.: Iqtisod-Moliya, 2006. –В. 7; 180.
7. Kamolov J., Ismoilov I., Begimqulov U., Avazboev S. Elektr va magnetizm. – Т.: Itisod-Moliya, 2007. –В. 4; 142.
8. Serway R.A. Physics: For Scientists and Engineers. CBS College Publishing, 1982. –P. 409; 537.
9. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. John Wiley&Sons. Inc. 1997. – P. 555; 701.
10. Бойдедаев А. Нисбийлик назарияси асослари. 4-қисм. –Т.: ТДПУ, 2003. -38 б.
11. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. –М.: Наука, 1985.
12. Хазен А.М. Поле, волны, частицы и их модели. –М.: Просвещение, 1979.
13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. –М.: Наука, 1988.