

ФОТОННИНГ ПАЙДО БЎЛИШ ҚОНУНИ

УДК539.172.3

Джуракул НУРМАТОВ

Техника фанлари номзоди
Европа табиий фанлар академияси академиги
Тошкент давлат педагогика университети
Тошкент, Ўзбекистон
nurmatorv35@vk.чи

Шавкат Сафарович ШАРИПОВ

Педагогика фанлари доктори, профессор
Европа табиий фанлар академияси академиги
Тошкент давлат педагогика университети
Тошкент, Ўзбекистон
rektor@tdpu.uz

Аннотация

Мақола энергия элтувчи квант – фотоннинг пайдо бўлиш механизми, унинг оналик (бирламчи) манбаи, пайдо бўлиш сабаблари, механизмлари ва бошқа параметрларига бағишланган.

Калит сўзлар: қонун, назария, фотон, квант, дискрет, аннигиляция, қуюн, майдон, электромагнит, диполь, атом, ўзак, жараён, чизма, ходиса, формула, кутб, муҳит, физика.

ЗАКОН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ФОТОНА

Джуракул НУРМАТОВ

Кандидат технических наук
Академик Европейской академии естественных наук
Ташкентский государственный педагогический университет
Ташкент, Узбекистан
nurmatorv35@vk.чи

Шавкат Сафарович ШАРИПОВ

Доктор педагогических наук, профессор
Академик Европейской академии естественных наук
Ташкентский государственный педагогический университет
Ташкент, Узбекистан
rektor@tdpu.uz

Аннотация

В статье рассматриваются механизм возникновения фотона – квантового энергоносителя, его материнский (первичный) источник, причины возникновения, механизмы и другие параметры.

Ключевые слова: закон, теория, фотон, квант, дискрет, аннигиляция, квантование, вихрь, поле, электромагнит, магнит, диполь, атом, ядро, процесс, схема, явление, формула, полюс, среда, физика.

LAW OF THE ORIGIN OF PHOTON

Jurakul NURMATOV

Candidate of Technical Sciences
Academician of the European Academy of Natural Sciences
Tashkent State Pedagogical University
Tashkent, Uzbekistan
nurmatorv35@vk.чм

Shavkat Safarovich SHARIPOV

Doctor of Pedagogy, Professor
Academician of the European Academy of Natural Sciences
Tashkent State Pedagogical University
Tashkent, Uzbekistan
rektor@tdpu.uz

Annotation

The article considers the mechanism of the emergence of a photon – a quantum energy carrier, its maternal (primary) source, the causes of emergence, mechanisms and other parameters.

Keywords: law, theory, quantum, discrete, annihilation, quantization, vortex, field, electromagnet, magnet, dipole, atom, nucleus, process, scheme, phenomenon, formula, pole, sphere, medium, physics.

Инсоният ёруғлик нурунинг манбаларини тадқиқ қилишни асосан биринчи асрда осмон ёритгичларини ўрганишдан бошлаган. Табиатда ёруғлик манбалари галактикамиз ва ундан ташқарида мўл саналади. Ер сайёрасига энг яқин ёруғлик нурунинг улкан сахий иситувчи манбаси ҳамда сайёраамиздаги ҳаётни таъминловчи ва ҳимояловчиси улкан коинот жисми – Қуёшдир.

Фанда ёруғлигин тутиб бўлмас, оғирлигин тортиб бўлмас зарра **фотон** ҳисобланади. Бу аслида юнонча сўз бўлиб тилимизда «ёруғлик» деган маънони англатади. Қадимда ёруғлик нуруни элементар зарралар оқимидан иборат деб ҳисоблашган. Қайд этганимиздек нур бу фотонлар оқими. Фикримизча электр диполининг ҳаяжонли уйғонишида аннигиляция жараёнида квантланган нур оқими бўлиб электромагнит таъсирни элтувчи спиралсимон ҳаракатланувчи зарра ҳисобланади. Фотонни дунё олимлари

турфа талқинда тадқиқ қилиб унинг физик хосса ва хусусиятларини ўрганган ва кашф қилишган.

Фотон – квант сифатида ҳаракатланганда муайян масса, энергия, импульсга эга [3;4]. Унинг корпускуляр ва тўлқин тавсифига хос назариясини Альберт Эйнштейн ўз гипотезаси асосида классик тўлқин назариясидаги зиддиятларни, фотоэффект ҳодисасини ўрганиб, тажриба натижаларига таяниб тушунтирган [5. 8]. Макс Планк эса фотоннинг дискрет (улушларга бўлинмайдиган) квант тавсифини қора жисмнинг нурлаш қонуниятини тадқиқ этиб, амалий натижалари асосида ўз гипотезаси билан тушунтиради [9. 10]. “Фотон” тушунчасини 1926 йили химик Гильберт Льюис фанга киритган [11].

XVIII асргача ёруғлик назарияси тўғрисидаги тушунча, ғоя, тавсиф, таърифларда фотонни нурнинг ўта кичик зарраларининг оқими деб қабул қилинганлиги маълум. Шундай олимлардан бири Ибн-ал Хайсам 1021 йили “Китоб – ал оптика” асарида нурни майда зарралар деб баён қилган ва энергиядан бошқа ҳамма сифатларини ўзида ҳис этадиган зарра деган фикрини илгари сурган [1;2].

Дастлаб ёруғлик нурининг тарқалиш тезлигини ўлчашга оид тажрибани Ремер бошлаган эди. Физика фанидан маълумки, кейинчалик турфа тажрибаларда, ёруғликнинг ўртача тезлиги (300.000 км/с) энг катта тезлик деб қабул қилинган. Унинг қийматини 300 йил (1676-1973 й.й.) давомида олимлардан Ремер, Брайлей, Физо, Фуко, Карно, Майкельсон, Ивенсон қуёш нуридан то лазер нурига бўлган нурлар билан ўтказилган тажрибаларда ўлчашга муваффақ бўлишган. Фотон заррача сифатида қабул қилинсада, ёруғлик нурнинг физик ҳодисаларини корпускуляр (зарра) назария тушунтириб беролмаган. Шундан сўнг 1850 йили олимларнинг илмий тадқиқотлари натижаларига таяниб нурнинг яна бир хоссаси бўлмиш тўлқин табиати фанда тан олинди. Тажрибаларда аниқланган кўпгина натижаларга таяниб 1865 йили Джеймс Максвелл ёруғлик нури бу – электромагнит тўлқинидир, назариясини илгари сурди ва ниҳоят 1888 йили Генрих Герц бу назарияни тажриба асосида тасдиқлади.

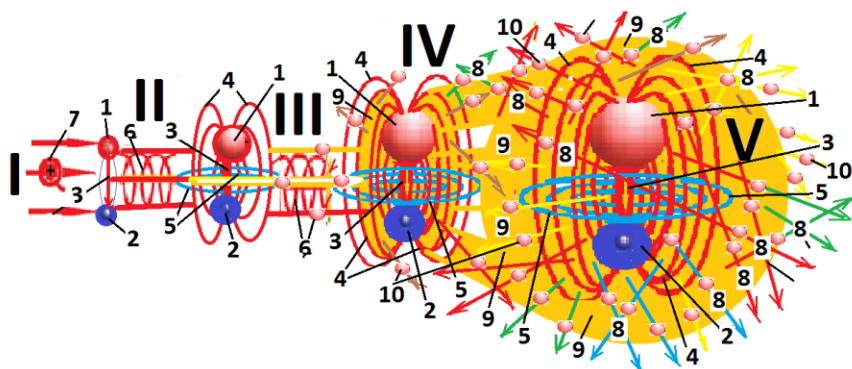
Фотон ўзи нима? Қандай қийматлари (параметрлари) билан тавсифланиши, тузилиши, пайдо бўлиш механизми, ўзаро ва бошқа элементар зарралар ҳамда атомлар билан таъсирлашиш ва фонон (иссиқлик нури)га айланиш механизмлари замонвий (квант) физика асосида ҳозиргача тушунтирилмаган [12]. Фотон бу спиралсимон айланма ҳаракатланувчи – ўта кичик ўлчаб бўлмайдиган ва аннигиляция жараёнида шимол ёғдусини ҳосил қиладиган электр диполидир.

Фотоннинг кўпчилик хоссаси ва тавсифлари, оналик манбаларини аниқлаш масаласи ҳозирги кунда ҳам фан олдида турган долзарб муаммодир. Ёруғлик нурининг зарраси сифатида қабул қилинган фотон электромагнит тўлқин таъсирини элтувчи элементар зарра ҳисоблансада, ҳаракатсиз, яъни тинч ҳолатида тезлиги нолга тенг бўлганида, фотон массага, энергия ва импульсга эга эмас. Яъни бу катталиклари нолга тенг, лекин ёруғлик зарраси (фотон) нолдан фарқли тезликда ҳаракатланганида, фотон ўзгармас масса, энергия ва таъсирга эга. Аммо бу ҳам муаммоли масала.

Атом ёки ядрони уйғонган ҳаяжонли ҳолатига ўтказиш учун албатта унга ташқаридан энегия киритиш керак ёки уни бирор турдаги зарра билан савалаш (бомбордимон қилиш) шарт. Шундагина ютилган зарра энергияси ҳисобига ҳаяжонли ҳолатига ўтади. Унинг пастроқ энергетик ҳолат (сатҳ)га ўтиши учун атом албатта ўзидан зарра ёки нур шаклидаги энергия нурлаб мувозанат ҳолатига қайтади. Содда тилда бу жараённи совуқ хонадаги шарчани пуфлаб иссиқ хонага ўтказилса у ютган иссиқлиги ҳисобига шишади, аксинча совуқ хонага қайтарилса, ундаги дамланган газ молекулалари хонадаги совуқроқ ҳавога иссиқлигини нурлаб узатиб аввалги ҳолатига қайтади. Худди шунга ўхшаш ҳолат ҳам позитрон – электрон ва массаси катта (мезон, андрон, барион) зарралар ҳосил қилган диполларнинг аннигиляцияси (ўзаро кўшилиб бошқа турдаги зарра ёхуд квантга айланиши) вақтида кўзга кўринмас фотон (гамма-квант) нурлайди. Бу ҳолатда ҳам ўзига хос электр диполининг емирилишига ўхшаш физик жараён содир бўлади. Бу жараёнлар атомнинг энергетик сатҳлар энергиялари фарқига тенг бўлган квант

нурлаш қонунияти билан тушунтирилади. Радиоактив модда (атом) ана шу тартибда кўзга кўринмас фотонни ёки заррани нурлаш йўли билан қуйи мувозанат сатҳга қайтади. Аслида, бу ҳолатда ҳам атомдаги протон-электрондан ташкил топган электр диполларининг аннигиляция билан квантланиши содир бўлади.

Маълумки, илмий маълумотларга кўра, галактикадан Ер сайёрасигача етиб келадиган космик нурлар таркибида протонлар – 92%, альфа – зарралар (икки марта ионлашган гелий атоми) – 7%, турфа зарра ва атомлар миқдори 1% атрофида бўлиб, улар Ернинг атмосфераси (газли сфераси)гача турли жаласимон реакция (турфа зарра ва квантлар оқими)си ҳосил қилган ҳолда катта тезликда учиб киради. Бу зарралар оқимининг асосий қисми юқорида таъкидлаганимиздек, парчаланиб-емирилиб, гоҳ электр диполларига айланиб, аннигиляция билан квантланади, қисман улуши Қуёш радиацияси (нур ва зарралар оқими)га қўшилади. Бу оқим таркибида ҳам юқорида қайд қилинган миқдорлардагичалик зарралар бўлади. Ер сайёрасининг уюрмавий электр ва магнит майдонлари ҳамда атмосферасида бу зарралар тормозланиб, парчаланиб, электр диполларига айланиб Ер магнит қутблари томон оғиб ҳаракатланади ва аннигиляция жараёнида шимол ёғдусини ҳосил қилади.



1-расм. Электр диполининг квантланиш ва уюрмавий электр ва магнит майдонларининг пайдо бўлиш схемаси.

(Схемадан жой олган 1-2 – диполнинг мусбат ва манфий зарядлари; 3- электр майдон куч чизиқлари; 4-5- магнит ва электр майдон куч чизиқлари; 6- ўйғонган электр дипол зарядларининг спиралсимон ҳаракат траекторияси; 7-

ташқаридан диполга киритилаётган заряд; 8-электр диполининг квантланишидаги дискрет энергияли фотонлар оқими; 9-тумандай кучли фотон нурланиши (сарик рангда); 10- электр диполининг квантланишида пайдо бўлган фотон зарралари; I-бирламчи порция энергияни диполга киритилиши; II-электр диполининг уйғона бошлаш ҳолати; III- электр диполининг квантланишини бошланиши; IV-электр диполининг оммавий квантланиши; V-электр диполининг мутлақ квантланишга ўтиш ҳолатидир).

Сайёрамиз атмосферасининг куйи (12-9 км) қатламига кириш соҳасига учиб кирган зарралар кучли физика-кимёвий реакцияларда электр диполларини пайдо қилиб, аннигиляция билан квантланиб, яъни кўзга кўринадиган частотаси $\nu = (0,44-0,64) \cdot 10^{15}$ Гц етти хил рангда ва кўзга кўзинмайдиган иккита нур частотаси $\nu=(0,735 \cdot 10^{15} - 9,53 \cdot 10^{11})$ Гц ёруғлик нурларига айланади. Бу зарядли зарралар электр диполларига айланишининг физик ҳодисасини квантланиш, яъни нурга айланиш дейилади. Бу парчаланган жаласимон кичик потенциалли (бир вольтдан юз вольтгача) сон-саноксиз ҳаддан зиёд электр диполлари ҳосил қилгач оний вақтда аннигиляцияланиб квантланади (зарра мутлақ нурга айланади) ва кўзга кўринадиган (0,2-4,0 эВ) кўп спектрли фотонлар оқимини ҳосил қилади. Бу фотонлар сайёрамиз газли сферасида кўплаб синиб-қайтиб, ўтиб юмшоқ ёруғлик оқимига айланади. Кўзга кўринадиган оқ ёруғлик бу фотон квантлари унинг оналик (бирламчи) манбаи, яъни нур чиқарувчиси бу ўйғонган-ҳаяжонланган (возбужденный) электр диполидир. Бу Ер атмосферасида пайдо бўладиган яшин (потенциали 10-50 минг вольтдан катта, узунлиги 50-150 км гача давом этадиган момақалдиरोқли чақмоқ) эса электр диполлари занжирининг кетма-кет квантланишидир. Яъни электр диполининг аннигиляция билан емирилиши квантланишидир. Яшин ёхуд электр пайвандлаши вақтида макро ва микро электр диполларининг аннигиляция (иккита ҳар хил ишорали электр зарядларининг ўзаро емирилиши) билан квантланиши вақтида оқ ёруғлик нури пайдо бўлади.

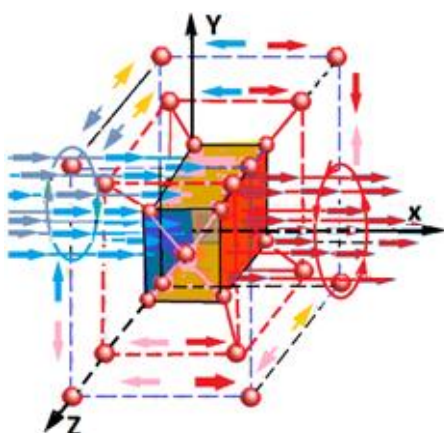
Кўзга кўринадиган ва кўринмайдиган фотонлар оқими кўп спектрли, улар табиат ва сунъий манбалардаги жараёнлар вақтида аннигиляция билан квантланиб нурга айланади, яъни квантланади. Аммо шундай бўлсада, илмий манбалардаги маълумотларда фотоннинг пайдо бўлиш механизми, унинг оналик (бирламчи) манбаси, пайдо бўлиш сабабларининг баёни тўлақонли келтирилмаган. Шуларни эътироф этган ҳолда фотоннинг кўзга кўринадиган спектр соҳасидаги жараёнларни ўрганиш бўйича электр диполь назарияси асосида тадқиқотлар ўтказдик. Натижада “Фотоннинг пайдо бўлиш қонуни” кашф қилинди. Кўзга кўринмайдиган ва кўринадиган фотонларнинг оналик (бирламчи) манбалари, пайдо бўлиш сабаблари, механизмлари ва бошқа параметрлари аниқланиб, шуларга хос тенгламалар тузилди. Фотоннинг фононга айланиш механизми яратилиб, фанда фотоннинг ўзгармас деб қабул қилинган қийматлари ҳисобланиб, ўзгарувчанлиги аниқланди. Фотоннинг атом, ядролар билан ҳамда ўзаро таъсирлашиш схемалари ва тасвирий чизмалар орқали қонуннинг асил мазмуни илмий тилда баён этилди.

Фотоннинг пайдо бўлиш қонуни электр дипол назарияси билан исботланди. Фотоннинг табиатда ва сунъий манбалардаги оналик (бирламчи) манбаси, пайдо бўлиш механизми, дипол циркуляцияси давомида нурга айланиб емирилиши, яъни аннигиляция билан квантланиш сабаби назарий асосланиб ва жараёнлар кетма-кетлигининг тенгламаси тузилган. Электр диполининг аннигиляция билан квантланиб фотонга айланишида пайдо бўладиган силжиш токи, уярмавий электр майдони, сўнгги майдон атрофида уярмавий магнит майдони ҳосил бўлишининг тенгламалари ва кечадиган физик жараёнлар мазмун моҳиятини аниқ тасаввур этишни ҳамда тушунишни мураккаблаштирамаслик мақсадида рангли схемалар келтирилган. Фотоннинг муҳит билан таъсирлашиш жараёнида фонон (иссиқлик кванти – нури)га айланиш схемаси ва тенгламаси келтирилган.

Электр диполининг аннигиляция билан квантланишида пайдо бўладиган фотон (кўзга кўринадиган ёруғлик нури) қуйидаги физик жараёнларда бунёд бўлади: а) турғун электростатик дипол ташқи куч таъсирида мувозанат

ҳолатидан чиқарилганда; б) турғун электростатик дипол кутблари орасига ташқаридан муайян қийматдаги дискрет порция энергия киритилиб дипол потенциали ўзгартирилиб ўйғонган сатҳга ўтқизилганда; в) электр диполи емирилишида кутблари орасида электр учқуни (атмосферада яшин) пайдо бўлганида; г) катта тезланиш билан электр диполи ва зарядли зарралар оқими ҳаракатланганида диполнинг емирилиш жараёнида; д) газли муҳитда зарядли зарралар катта тезликда ҳаракатланиб тормозланиш жараёнида электр диполларини ҳосил қилиб емирилиш давомида; е) исталган муҳитда зарядли зарралар электр диполини ҳосил қилиб аннигиляция билан емирилганда; ж) қуёш ва юлдузлар ядроси қаърида водород атомларининг термойдро синтези вақтида; з) электр диполининг фотолюминесценция (форфоресценция) билан емирилиш вақтида; и) радиоактив атомлардаги электрон-протон диполининг юқори энергетик сатҳдан қуйи энергетик сатҳга ўтиш жараёни билан емирилиш вақтида кўзга кўринмас нурлар чиқариш вақтида; к) молекуляр диполларнинг синтези ва парчаланиши содир бўладиган кимёвий реакцияларда молекуляр-электрдиполнинг емирилиши вақтида; л) металлларни (пўлат қотишмаси) ядро нурлари билан нурлаш йўли билан характеристик нурларни пайдо этиш вақтида; м) биринчи тартибли ўтказгичлардаги протон–электрон диполи порция дискрет энергияни ташқаридан олгач ортиқча энергияни айланма ҳаракати билан дипол занжиридаги кейинги дипол занжирига узатиш вақтида (диполли электр ўтказувчанлик); н) космос зарраларнинг жаласимон оқими Ер газли сферасига учиб киргач янги электр диполлар пайдо бўлгани ва уларнинг аннигиляция билан емирилиш вақтида.

Фотоннинг пайдо бўлиш қонуни тенгламаси электр дипол формуласидан бошланиб, жараён кетма-кетлигига мос ҳолда электромагнит майдон



тенгламаси билан яқун топган.
Фотоннинг фононга айланиш
механизмини тавсифловчи илмий

фикрларни адабиётларни учратмадик. Бу адабиётларда фотонни муҳит билан таъсирлаши вақтида йўқолади деган фикрлар мавжуд. Фотон жисм билан таъсирлашиш ва ўз энергиясини унга бериш жараёнида уни энергия элтувчи сифатида иситади, жисм таркибидаги молекулалар бирикма ва кристал панжараси тугунларидаги атомлар энергиявий ҳолатини орттиради. Қаттиқ жисм кристал панжараси ютган энергия ҳисобига мувозанат ҳолатидан чиқади, яъни кристал панжара тугунлари орасидаги масофа ортади, кристал ҳамда унинг тугунларидаги атомлар мураккаб тебранма ҳаракатга келади. Кристал мувозанатга қайтишга интилиб бутун кристал панжара ва ундаги атомлар тебранади. Бу мураккаб тебраниш жараёнида кристал тугунлар орасидаги масофа қисқариш ҳисобига фотоннинг эгизаги бўлмиш фонон (иссиқлик нури) нурланади (қаранг: 2-расм).

2-расм. Фонон пайдо бўлиш схемаси.

(Ушбу схемада кўк рангдаги чизиклар кириб келувчи фотонлар оқими; қизил рангдаги чизиклар чиқувчи фонон оқими; кристал панжара тугунларидаги шарлар атомлар).

Фонон чап қўл қоидасига мос спиралсимон айланма ҳаракати давомида жисмдан энергия чиқариб, совутади. Жисм ўз мувозанатига интилади. Фотон ҳам ўнг қўл парма қоидасига мос спиралсимон айланма ҳаракати билан жисмга энергия элтуви бўлгани боис жисмни иситади, жисм эса мувозанат ҳолатидан чиқади. Шунда жисм мувозанат ҳолатига қайтишга интилиб фононни нурлайди.

Демак, фотон энергия элтувчи квант, фонон эса энергия чиқарувчи квант бўлиб энергиянинг айланишини таъминлайди. Фотон ҳам, фонон ҳам материянинг бир тури бўлиб энергиянинг айланишида қатнашади.

Фойдаланилган адабиётлар:

1.<http://mydocx.ru/4-61640.htm>. История развития концепции фотона. (*Ибн-ал-Хайсам-1021 г*)

2. Cocconi, G (1992). "Upper Limits on the Electric Charge of the Photon". American Journal of Physics 60: 750—751.
3. http://femto.com.ua/articles/part_2/4373.html. Фотон. (Милантьев В.П. «Столетквантомсвета» УФН, 175:11(2005).1233-1242).
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотон>. Галубер Р.Дж. Столетквантомсвета. УФН, 2006.
5. Einstein, A. (1905). "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt (trans. A. Heuristic Model of the Creation and Transformation of Light)". Annalen der Physik 17:132—148. (нем.). An English translation is available from Wikisource.
6. Einstein, A (1909). "Über die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung (trans. The Development of Our Views on the Composition and Essence of Radiation). Physikalische Zeitschrift 10: 817—825. (нем.). An English translation is available from Wikisource.
7. Einstein, A. (1916a). "Strahlungs-emission und absorption nach der Quantentheorie". Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 18:318. (нем.)
8. Einstein, A. "Zur Quantentheorie der Strahlung". Mitteilungen der Physikalischen Gesellschaft zu Zürich 16:47. Also Physikalische Zeitschrift, 18, 121-28 (1917) (нем.)
9. Planck, M. (1901). "Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum". Annalen der Physik :553—563. DOI:10.1002/andp.19013090310. (нем.)
10. Planck M. Max Planck's Nobel Lecture (1920).
11. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Фотон>
12. <http://fermto.com.ua/articles/part.2/4373.html>. Фотон.
13. http://www.femto.com.ua/articles/part_1/0141.html. Аннигиляция.
14. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. Циклоида.
15. Kobychov V.V, Popov S. B (2005). "Constraints on the photon charge from observations of extragalactic sources". Astronomy Letters 31:147-151. DOI:10.1134/1.1883345.
16. Тагиров Э.А. Фотон // Физ.энцикл.словарь // Гл.ред. [А.М.Прохоров](#). – Москва: Советская энциклопедия, 1983.– 928 с.

17.Мамукришнан А., Скалли А. Зубайры. Ревизия концепции фотона.<http://bourabainarod.ru/articles/muthukrishnan/revisited.htm>.

18.<https://kto.guru/liologia/1002-kosmicheskoe-i>.

19.Гинзбург В.Л.Сыроватский С.И., Происхождение космических лучей, Москва, 1963; 21. Дорман Л. И., Мирошниченко Л. И., Солнечные космические лучи, Москва,1968;

20.А. А. Бабушкин, П. А. Бажулин, Ф. А. Королев, Л. В. Левшин, В.К. Прокофьев, А. Р. Стриганов. Методы спектрального анализа. – Москва: Изда-ство Московского университета, 1962. – 510 с.

21.Jennewein T. et al. A fast and compact quantum random number generator (англ.)//Review of Scientific Instruments.–2000.–Vol.71.–P.1675-1680. – DOI:10. 1063/1.1150518.

22.Stefanov A. et al. Optical quantum random number generator (англ.) // Journal of Modern Optics.–2000.–Vol. 47. –P. 595-598.–DOI:10. 1080 /09500 3400147908.

23.Spavieri G., Rodriguez M. Photon mass and quantum effects of the Aharonov-Bohmtype (англ.) // Physical Review A.–2007.–Vol.75.–P.052113. – DOI:10.1103/ Phys RevA.75.052113.

24.Goldhaber A. S. Terrestrial and Extraterrestrial Limits on The Photon Mass (англ.)//Reviews of Modern Physics. – 1971. – Vol. 43. – P. 277-296. – DOI:10.1103/RevModPhys.43.277.

25.Fischbach E. et al. New Geomagnetic Limits on the Photon Mass and on Long-Range Forces Coexisting with Electromagnetism (англ.) // Physical Review Letters. - 1994.—Vol.73.—P.514—517.- DOI:10.1103/PhysRevLett.73.514.