

Л.Б.Окунь

МАССА ТҮСИНІГИ

(МАССА, ЭНЕРГИЯ, САЛЫСТЫРМАЛЫҚ)

1. Кирисіу орнына кишкене ғана тест

Денениң массасы менен усы денедеги энергия арасындағы байланысты анықлайтуғын Эйнштейннің формуласы салыстырмалық теориясының сөзсиз ең уллы формуласы болып табылады. Бул формула бизди қоршап турған дүньяны жаңадан, тереңірек түсиниўге мүмкиншилик берди. Оның әмелий әхмийети оғада үлкен хәм белгили бир дәрежеде қайғылы да. Базы бир мағанада бул формула XX әсир илимининң символына айланды.

Эйнштейннің формуласы ҳаққында мыңлаған мақалалар хәм жүзлеген китаплар жазылды. Ондай болатуғын болса бул формула ҳаққында мақала жазыўдың қандай зәрүрлиги бар?

Бул сораўға жуўап бериўдинң алдында мына жағдайды ойлап көриўди усынаман: масса менен энергия арасындағы қатнастың физикалық мәниси қалай етип жазылғанда ҳақыйқатлыққа толық сәйкес келеди?

Сизиң алдыңызға төрт формула берилген:

$$E_0 = mc^2, \quad (1.1)$$

$$E = mc^2, \quad (1.2)$$

$$E_0 = m_0c^2, \quad (1.3)$$

$$E = m_0c^2. \quad (1.4)$$

Бул аңлатпаларда c арқалы жақтылықтың тезлиги, E арқалы денениң толық энергиясы, E_0 арқалы тынышлықтағы энергиясы, m_0 арқалы сол денениң тынышлықтағы массасы белгиленген.

Енди усы формулалардың қайсысын ең дурыс деп есаплайтуғын болсаңыз олардың номерлерин избе-из жазып шығыңыз. Буннан кейин мақаланы оқыўды даўам етиңиз.

Көпшиликке арналған әдебиятта, мектеп сабақлықларында хәм жоқары оқыў орынлары ушын жазылған оқыў қуралларында (1.2)-формула (хәм оның нәтийжеси сыпатында (1.3)-формула) үлкен орынды ийелейди хәм оны оңнан шеп тәрепке карап оқыйды хәм былайынша түсиндиреди: энергия менен бирге денениң массасы өседи (бул жерде энергия ҳаққында айтқанда ишки хәм кинетикалық энергия нәзерде тутылады).

Ал теориялық физика, әсиресе элементар бөлекшелердинң теориясы (бул теория ушын салыстырмалық теориясы тийкарғы қурал болып табылады) бойынша терең мәнили монографиялар менен мақалаларда (1.2)- хәм (1.3)-формулалар пүткиллей жоқ. Бул китаплар хәм мақалалар бойынша денелердинң қозғалыўы менен олардың массасы өзгермейди хәм ол турақлы көбейтиўши дәллигинде тынышлықта турған денениң энергиясына тең, яғный (1.1)-формула дурыс. Усыған байланыслы «тынышлықтағы масса» термини хәм оның белгиси артықмаш болып, олар пүткиллей қолланылмайды. Солай етип сондай бир пирамида бар деп есаплаймыз, оның ултанын миллионлаған нұсқада шығарылған көпшиликке арналған илимий әдебият, мектеп сабақлықлары қурайды, ал төбесинде болса нұсқалар саны мыңлаған болған элементар бөлекшелер теориясына бағышланған монографиялар менен мақалалар жайласады.

Бұл теориялық пирамиданың ұлтаны менен төбеси ортасында да көп санлы кітаптар менен мақалалар бар болып, оларда қандай да бір жумбақ жағдайлар менен барлық үш (хәтте төртеуі де) формула гезлеседи. Усындай жағдайлардың орын алыуына биринши гезекте усы ўақытларға шекем саўатлы адамлардың кең тайпасына усы абсолют әпиўайы мәселени түсиндирмеген физик-теоретиклер айыплы.

Бұл мақаланың мақсети мүмкин болғанынша әпиўайы тил менен (1.1)-формуланың салыстырмалық теориясының мәнисине неликтен адекват (сәйкес келетуғын), ал (1.2)-хәм (1.3)-формулалардың адекват емес (сәйкес келмейтуғынлығын) екенлигин түсиндириў және соған сәйкес оқыў әдебиятларында хәм көпшиликке арналған илимий әдебиятларда анық, қәтеликлерге хәм дурыслығына ямаса дурыс емеслигине гүман пайда етпейтуғын терминологияны пайда етиў болып табылады. Бундай терминологияны мен буннан былай дурыс терминология деп есаплайман. Мен оқыўшыны «тынышлықтағы масса» түсинигиниң керек емес екенлигин, «тынышлықтағы масса» ның орнына берилген дене ушын салыстырмалық теориясында да, Ньютон механикасында да бирдей болған массаның бар екенлигин, еки теорияда да массаның есаплаў системасынан ғәрезли емес екенлигин, тезликке ғәрезли болған масса ҳаққындағы түсиниктиң ХХ әсирдиң басында импульс пенен тезликлер арасындағы Ньютон бойынша қатнасты жақтылықтың тезлигиндей тезликлер ушын областларға ызамсыз түрде тарқатыўдың нәтийжесинде пайда болғанлығын, тезликтен ғәрезли болған масса түсиниги менен биротала хошласыў ушын ўақыттың келгенлигине исендиремен деген үмиттемен.

Мақала еки бөлимнен турады. Биринши бөлимінде (2-12 бөлимлер) Ньютон механикасындағы массаның тутқан орны талқыланады. Буннан кейин салыстырмалық теориясының бөлекшениң импульсы менен энергиясын оның массасы тийкарғы формулалары талқыланады және тезлениў менен күш арасындағы байланыс орнатылады, кейин гравитациялық күш ушын релятивистлик аңлатпа келтириледі.

Бир неше бөлекшеден туратуғын системаның массасының қалай анықланатуғынлығы көрсетилген хәм соның нәтийжесинде денениң ямаса денелер системасының массасы өзгеретуғын, қала берсе массаның өзгериси кинетикалық энергияны алып жүриўши бөлекшелердиң жутылыўы ямаса шығарылыўы менен жүзеге келетуғын физикалық процесслерге мысаллар келтирилген. Мақаланың биринши бөлими хәзирги ўақытлары алып барылып атырған элементар бөлекшелердиң массаларын теориялық есаплаўларға қаратылған ҳәрекет етиўлерди баянлайтуғын қысқаша гүрриң менен жуўмақланады.

Екинши бөлимінде (13-20 бөлимлер) энергиясы менен бирге өсетуғын релятивистлик масса деп аталыўшы масса түсинигиниң пайда болыў тарийхы ҳаққында гүрриң етиледі. Усы архаистлик түсиникти пайдаланыў салыстырмалық теориясының төрт өлшемли симметриялық формасына жуўап бермейди хәм оны оқыў көпшиликке арналған илимий әдебиятларда үлкен түсинбеўшиликлерди пайда етеди.

2. Ньютон механикасындағы масса

Ньютон механикасында массаның бир қатар әҳмийетли қәсийетлерге ийе болатуғынлығы хәм ҳәр қыйлы түрде көринетуғынлығы жақсы белгили:

1. Масса заттың муғдарының, материя муғдарының өлшеми болып табылады.
2. Қурамалы денениң массасы оны қурайтуғын бөлеклердиң массаларының қосындысына тең.
3. Изоляцияланған денелер системасының массасы сақланады хәм ўақыттың өтиўи менен өзгермейди.
4. Денениң массасы бир есаплаў системасынан екинши есаплаў системасына өткенде өзгермейди, денениң массасы барлық ҳәр қыйлы болған инерциаллық координаталар системасында бирдей.
5. Денениң массасы оның инертлигииниң өлшеми болып табылады (гейпара авторлар денениң инерциясының ямаса денениң инерциялылығының деп жазады).

6. Денелердің массалары олардың бір бирине гравитациялық тартысыуының дереги болып табылады.

Массаның кейинги еки қәсийетлерин толығырақ таллаймыз. Денениң инерттилигиниң өлшеми сыпатында масса m денениң импульсы \mathbf{p} менен оның тезлиги \mathbf{v} ны байланыстыратуғын формулаға қатнасады:

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}. \quad (2.1)$$

Масса және денениң кинетикалық энергиясы E_{kin} ниң формуласына да киреди:

$$E_{\text{kin}} = \frac{p^2}{2m} = \frac{mv^2}{2}. \quad (2.2)$$

Кеңислик пенен ўақыттың бир теклигиниң салдарынан еркин денениң импульсы менен энергиясы инерциал координаталар системасында сақланады. Берилген денениң импульсы тек ғана баска денелердің тәсиринде өзгереді:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F}. \quad (2.3)$$

Бул аңлатпада \mathbf{F} аркалы денеге тасир ететуғын күш белгиленген. Егер анықлама бойынша тезлениў \mathbf{a}

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (2.4)$$

түринде жазылатуғын болса, онда бул формуланы хәм (2.1) менен (2.3) ти есапқа алып ийе боламыз:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}. \quad (2.5)$$

Бул қатнаста масса және инерцияның өлшеми сыпатында көринеди. Солай етип Ньютон механикасында масса инерция өлшеми сыпатында (2.1) хәм (2.5) еки қатнасы түринде анықланады. Бир топар авторлар инерция өлшемин (2.1) қатнасы менен анықлаўды, ал екинши топар авторлар (2.5) қатнасы менен анықлаўды унатады. Бизиң мақаламыздың предмети ушын усы еки анықламаның Ньютон механикасында бир бири менен толық үйлесетуғынлығы ғана әҳмийетли.

Енди гравитацияны қараймыз. Массалары M хәм m болған еки дене арасындағы (мысалы Жер хәм тас) тартысыўға сәйкес келиўши потенциал энергия мынаған тең

$$U_g = -G \frac{Mm}{r}. \quad (2.6)$$

Бул аңлатпада $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$ ($1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$ екенлигин еске түсирип өтемиз). Жердің тасты тартыў күши тең:

$$\mathbf{F}_g = -G \frac{Mm\mathbf{r}}{r^3}. \quad (2.7)$$

(2.7) деги денелердің массалар орайын тутастырыушы радиус-вектор \mathbf{r} Жерден тасқа қарай бағытланған (тап ұсындай, бірақ бағыты бойынша қарама-қарсы күш пенен тас Жерди тартады).

(2.7)- хәм (2.5)-формулардан гравитациялық майданда еркин қулап түсіуші денениң тезлениуінің оның массасынан ғәрезли емес екенлиги келип шығады. Жердің майданындағы тезлениуді әдетте g хәриби менен белгилейди:

$$\mathbf{g} = \frac{\mathbf{F}_g}{m} = -G \frac{M\mathbf{r}}{r^3}. \quad (2.8)$$

(2.8)-формулань оған Жердің массасы менен радиусының мәнислерин қойып g ның мәнисин аңсат бахалауға болады ($M_J = 6 \cdot 10^{24}$ kg, $R_J = 6,4 \cdot 10^6$ m). Нәтийжеде $g \approx 9,8$ m/s² шамасы алынады.

g шамасының универсаллығы биринши рет Галилей тәрепинен анықланған. Ол қулап түсіуші шардың тезлениуінің усы шардың массасына да, шар исленген материалға да ғәрезли емес деген жуумаққа келди. Жүдә үлкен дәлликте бул ғәрезсизлик XX әсирдің басында да Этвеш тәрепинен хәм жақында өткерилген бир катар экспериментлерде тексерилди. Физиканың мектеп курсында гравитациялық тезлениудің тезлениуші денениң массасынан ғәрезсизлигин m шамасының (2.5)-формуласына да, (2.6)- хәм (2.7)- формулаларына да киргенлигин нәзерде тутып әдетте инерт хәм гравитациялық массалардың теңлиги сыпатында характерлейди.

Бул бөлимнің басында айтып өтилген массаның басқа қәсийетлерин талламаймыз. Себеби оларды ақылға мууыпық деп және сонлықтан өзинен өзи түсиникли деп есаплаймыз. Мысалы ыдыстың массасы оның сынықларының массаларынын қосындысына тең екенлиги хеш кимде гүман пайда етпейди:

$$m = \sum m^i. \quad (2.9)$$

Сондай-ақ еки автомобилдің массаларының қосындысы олардың бир орында турғанлығына ямаса бир бирине қарап жүрип киятырғанлығынан ғәрезсиз усы автомобиллердің массаларының қосындысына тең екенлигине хеш ким гүманланбайды.

3. Галилейдің салыстырмалық принципи

Егер айқын формулардан дыққатты басқа таманға аударсақ, онда салыстырмалық принципнің Ньютон механикасының квинтэссенциясы (тийкары, тийкарғы мағанасы – Б.А.) болып табылады.

Галилейдің китапларының биринде иллюминаторлары қалың перде менен жабылған кораблдің каютасында кораблдің жағысқа салыстырғандағы тең өлшеули тууры сызықлы қозғалысын хеш бир механикалық тәжирийбениң жәрдеминде анықлауға болмайтуғынлығы айқын түрде баянланған. Усы мысалды келтирип Галилей механикалық тәжирийбелердің бир инерциаллық есаплау системасын екінши инерциаллық есаплау системасынан айыра алмайды деп атап өтти. Бул тастыйықлау Галилейдің салыстырмалық принципи деп аталады. Математикалық жақтан бул принцип Ньютон механикасының теңлемелеринің жаңа $\mathbf{r} \rightarrow \mathbf{r}' = \mathbf{r} + \mathbf{V}t$, $t \rightarrow t' = t$ координаталарына өткенде өзгермейтуғынлығын аңғартады. Бул аңлатпалардағы \mathbf{V} арқалы жаңа инерциал системаның бурынғысына салыстырғандағы тезлиги белгиленген.

4. Эйнштейннің салыстырмалық принципи

XX әсирдің басында Эйнштейннің салыстырмалық принципи деп аталатуғын улыўмалырақ принцип усынылды (формулировкаланды). Эйнштейннің салыстырмалық

принципине сәйкес тек механикалық емес, ал қалған басқа эксперименттің (оптикалық, электрлік, магнит х.т.б.) бір инерциал есептеу системасын басқа есептеу системасынан айыра алмайды. Усы принцип тийкарында дүзілген теория салыстырмалық теориясы ямаса релятивистік теория (латын термини «релятивизм» қарақалпақшаға аударғанда «салыстырмалық» сөзіне эквивалент).

Релятивистік теорияның релятивистік емес теориядан (Ньютон механикасынан) айырмасы соннан ибарат, бұл теория табиғатта физикалық сигналдардың тарқалуының шеклі тезлігінің бар екенлігін хәм оның $c = 3 \cdot 10^8$ м/с қа тең екенлігін есепке алады.

Әдетте c ның сан шамасы жөнінде жақтылықтың бослықтағы тезлігін айтады. Релятивистік теория денелердің қалған v тезлігіндегі, соның ишінде $v = c$ болған тезліктерге шекемгі қозғалыстарын есептеуға мүмкіншілік береді. Релятивистік емес Ньютон механикасы релятивистік Эйнштейн механикасының $v/c \rightarrow 0$ деги шеклік дара жағдайы болып табылады. Ньютон механикасында сигналдардың тарқалуының тезлігіне шек қойылмайды, яғни $c = \infty$.

Эйнштейннің салыстырмалық принципін киргизиў кеңіслік, уақыт, бир уақыттылық сыяқлы фундаменталлық түсиниклерге көз-қарасларды өзгертиўди талап етти. \mathbf{r} кеңіслігінде хәм t уақыт бойынша еки уақыя арасындағы қашықтық бир инерциаллық есептеу системасынан екинші инерциаллық есептеу системасына өткенде өзгеріссіз қалмай, Минковскийдің кеңіслік-уақытында төрт өлшемлі вектордың қураушылары сыяқлы қасиетлерди көрсетеди екен. Ал өзгеріссіз, инвариант болып қалатуғын шама интервал деп аталатуғын шама болып табылып ол мынаған тең: $s^2 = c^2 t^2 - \mathbf{r}^2$.

5. Салыстырмалық теориясындағы энергия, импульс хәм масса

Еркин қозғалуышы бөлекше (дененің бөлекшелерінің системасы) ушын салыстырмалық теориясының тийкаргы формулалары мыналар:

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4 \quad (5.1)$$

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{v} E}{c^2} \quad (5.2)$$

Бул формулалардағы E энергия, \mathbf{p} импульс, m масса, \mathbf{v} бөлекшенің тезлігі (бөлекшелер системасының, дененің тезлігі). Бул аңлатпалардағы бөлекше ямаса дене ушын жазылған масса m менен тезлік \mathbf{v} Ньютон механикасындағы биз пайдаланған шамалар болып табылады. t менен \mathbf{r} сыяқлы төрт өлшемлі координаталардай энергия E менен импульс \mathbf{p} төрт өлшемлі бир вектордың қураушылары болып табылады. Бир инерциаллық системадан екинші инерциаллық системаға өткенде бул қураушылар Лоренц түрлендириулеріне сәйкес өзгереді. Бирақ усының менен бир қатарда масса өзгеріссіз қалады хәм ол Лоренц инвариантлары қатарына киреди.

Ньютон механикасындағыдай салыстырмалық теориясында да изоляцияланған бөлекшенің ямаса изоляцияланған бөлекшелер системасының импульсинің хәм энергиясының сақланыў нызамы орын алатуғынлығын атап айтыў керек.

Буның менен бир қатарда Ньютон механикасындағыдай энергия менен импульс аддитив шамалар болып табылады: еркин бөлекшелердің толық энергиясы менен импульси сәйкес тең:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i, \quad \mathbf{p} = \sum_{i=1}^n \mathbf{p}_i. \quad (5.3)$$

Ал массаға келетуғын болсақ изоляцияланған системаның массасы сақланады, ұақыттың өтиуі менен өзгермейди, бірақ аддитивлик қасиетке ийе болмайды (төменде қараңыз).

Дене тыныш тұрғанда да оның энергиясының нолге айланбауы салыстырмалық теориясының әхмийетли өзгешелиги (яғный $\mathbf{v} = 0$, $\mathbf{p} = 0$ болғанда да массалы денениң энергиясы нолге тең болмайды) болып табылады. (2.1) ден көринип тұрғанындай денениң тынышлықтағы энергиясы (оны әдетте E_0 белгиси менен белгилейди) оның массасына пропорционал:

$$E_0 = mc^2. \quad (5.4)$$

Атап айтқанда Эйнштейннің 1905-жылғы тынышлықта тұрған массалы инерт материяда энергияның оғада үлкен запасының (шекли тезлик с ның квадратына байланысly) жыйналғанлығы хаққындағы тастыйықлауы салыстырмалық теориясының баслы әмелий нәтийжеси болып табылады. (5.4)-формулаға барлық ядролық энергетика хәм барлық әскерий ядролық техника тийкарланған. Усы формулаға әдеттеги барлық энергетиканың тийкарланған болыуы да мүмкин. Бул хаққында кең түрде белгили емес.

6. Релятивистлик теңлемелердің шеклик жағдайлары

(5.1)- хәм (5.2)-теңлемелердің оғада зор қасиетлери соннан ибарат, олар $0 < v < c$ болған тезликлер интервалындағы бөлекшелердің қозғалысын тәриплейди. Дара жағдайда (5.2) $v = c$ болған тезликлер ушын аламыз:

$$pc = E. \quad (6.1)$$

Бул теңликти (5.1) ге қойсақ бөлекше жақтылықтың тезлигиндей тезлик пенен қозғалғанда оның массасы нолге тең болады деген жуўмаққа келемиз. Массасы жоқ бөлекше ушын ол тынышлықта туратуғын координата системасы болмайды. Бундай бөлекшелер ушын тынышлық олардың тек «түсине енеди»

Массалы денелер ушын (бундай бөлекшелерди егер олар жүдә жеңил болса да биз ноллик емес массаға ийе бөлекшелер деп атаймыз) энергия менен импульс ушын жазылған формулаларды масса хәм тезлик арқалы аңлатқан қолайлы. Буның ушын (5.2) ни (5.1) ге қоямыз:

$$E^2(1 - v^2/c^2) = m^2c^4 \quad (6.2)$$

хәм квадрат түбир алыў арқалы табамыз:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (6.3)$$

(6.3) ти (5.2) ге қойып мына формуланы аламыз:

$$\mathbf{p} = \frac{m\mathbf{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (6.4)$$

(6.3)- хәм (6.4)-формулалардан массалы денениң ($m \neq 0$) жақтылықтың тезлигиндей тезлик пенен қозғала алмайтуғынлығы көринип тур, себеби бул жағдайда денениң энергиясы менен импульсының шексизликке айланыуы керек.

Салыстырмалық теориясы бойынша әдебиятта әдетте мына белгилеулер қолланылады:

$$\beta = \frac{v}{c}, \quad (6.5)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}. \quad (6.6)$$

γ ны пайдаланып E менен \mathbf{p} ны мына түрде жазабыз:

$$E = \gamma mc^2, \quad (6.7)$$

$$\mathbf{p} = \gamma m\mathbf{v}. \quad (6.8)$$

Кинетикалық энергия E_{kin} шамасын толық энергия E менен тынышлық энергиясы E_0 диң айырмасы сыпатында анықтаймыз:

$$E_{\text{kin}} = E - E_0 = mc^2(\gamma - 1). \quad (6.9)$$

$v/c \ll 1$ болған шекте (6.8) бенен (6.9) аңлатпаларында β бойынша қатардың биринши ағзаларын қалдырыу керек. Бундай жағдайда биз тәбийий түрде Ньютон механикасы формулаларына қайтып келемиз:

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}, \quad (6.10)$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{p^2}{2m} = \frac{mv^2}{2}. \quad (6.11)$$

Бул жерде Ньютон механикасындағы денениң массасы менен релятивистлик механикадағы денениң массасының бир шама екенлиги көринип тур.

7. Салыстырмалық теориясындағы күш хәм тезлениў арасындағы байланыс

Салыстырмалық теориясында да күш \mathbf{F} пенен импульс \mathbf{p} ның өзгериси арасындағы Ньютон қатнасының орын алатуғынлығын көрсетиўге болады:

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}. \quad (7.1)$$

(7.1) менен тезлениўдиң анықламасы болған

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}. \quad (7.2)$$

аңлатпасын пайдаланып жеңил түрде аламыз:

$$\mathbf{F} = m\gamma\mathbf{a} + m\gamma^3\beta(\beta\mathbf{a}). \quad (7.3)$$

Бул жерде релятивистлик емес жағдайдан айырма соннан ибарат, тезлениў бағыты бойынша күшке параллел емес, ал тезлик бойынша қураўшыға ийе болады. (7.3) ти v ға көбейтиў арқалы табамыз:

$$\mathbf{a}\mathbf{v} = \frac{\mathbf{F}\mathbf{v}}{m\gamma(1+\gamma^2\beta^2)} = \frac{\mathbf{F}\mathbf{v}}{m\gamma^3}. \quad (7.4)$$

Буны (7.3) ке қойып аламыз:

$$\mathbf{F} - (\mathbf{F}\boldsymbol{\beta})\boldsymbol{\beta} = m\gamma\mathbf{a} \quad (7.5)$$

Ньютон механикасы көз-қарасы бойынша (7.5) тиң әдеттегідей емес екенлігіне қарамастан, атап айтқанда усы әдеттегідей емесліктің салдарынан бул теңleme релятивисттик бөлекшелердің қозғалыстарын дурыс тәріптейди. XX әсирдің басынан баслап бул теңleme электр хәм магнит майданларының хәр қыйлы конфигурацияларында көп санлы эксперименталлық тексеріулерден өтті. Бул теңleme релятивисттик тезлеткишлердің инженерлик есаплауларының тийкары болып табылады.

Солай етип, егер $\mathbf{F} \perp \mathbf{v}$ болса, онда

$$\mathbf{F} = m\gamma\mathbf{a}. \quad (7.6)$$

Ал, егер $\mathbf{F} \parallel \mathbf{v}$ болса, онда

$$\mathbf{F} = m\gamma^3\mathbf{a}. \quad (7.7)$$

Солай етип, егер күштің тезлениуіге қатнасын «инерт масса» деп анықлауға урынатуғын болсақ, онда бул шама салыстырмалық теориясында күш пенен тезликтің бир бирине салыстырғандағы бағытларына ғәрезли болады екен. Сонлықтан массаны бир мәнісли етип анықлауға болмайды. Ал гравитациялық тәсірлесиуді қарағанда «гравитациялық масса» ҳаққында да тап усындай нәтижеге келемиз.

8. Салыстырмалық теориясындағы гравитациялық тартысуы

Егер Ньютон теориясында гравитациялық тәсірлесиу күши тәсірлесиуши денелердің массасы аркалы анықланатуғын болса, онда релятивисттик жағдайда ситуация бир канша курамалы болады. Мәселе соннан ибарат, релятивисттик жағдайда гравитациялық майданның дереги он дана хәр қыйлы кураушыларына ийе болатуғын энергия-импульс тензоры болып табылады (Салыстырыу ушын атап өтемиз: электромагнит майданының дереги төрт өлшемли вектор болып табылатуғын электромагнит тоқ болып, ол төрт кураушыға ийе).

Жүдә әпиуайы мысалды көремиз: бир дене үлкен M массасына ийе болсын хәм ол тынышлықта турған болсын (мысалы Куяш ямаса Жер), ал екинши дене жүдә киши ямаса ноллик массаға ийе болсын (мысал E энергиясына ийе электрон ямаса фотон). Улыұмалық салыстырмалық теориясынан келип шығып жеңил бөлекшеге тәсір ететуғын күштің

$$\mathbf{F} = -G \frac{ME}{c^2 r^3} [(1 + \beta^2)\mathbf{r} - (\mathbf{r}\boldsymbol{\beta})\boldsymbol{\beta}] \quad (8.1)$$

шамасына тең екенлігін көрсетиуіге болады. Киши тезлик пенен қозғалыушы электрон ушын $\beta \ll 1$, сонлықтан квадрат қаусырма ишиндеги аңлатпа шама менен r ге тең болады хәм сонлықтан $E_0/c^2 = m$ екенлігін есапка алып Ньютонның релятивисттик емес формуласына аңсат түрде қайтып келемиз. Бирақ $v/c \sim 1$ ямаса $v/c = 1$ болған жағдайларда биз принципиаллық жақтан пүткиллей жаңа кубылысқа дуушакерлесемиз: релятивисттик

бөлекшениң «гравитациялық массасы» ның орнын ийелейтуғын шама тек ғана бөлекшениң энергиясынан ғәрезли болып қоймай, \mathbf{r} хәм \mathbf{v} векторларының бир бирине салыстырғандағы бағытларынан да ғәрезли болып шығады. Егер $\mathbf{v} \parallel \mathbf{r}$ болса «гравитациялық масса» E/c^2 қа, ал $\mathbf{v} \perp \mathbf{r}$ болса, энергияның мәнисі $(E/c^2)(1 + \beta^2)$ қа, ал фотон ушын $2E/c^2$ қа тең болады.

Биз жоқарыда тырнақша белгисин релятивистлик денелер ушын гравитациялық масса түсинигин қолланыўға болмайтуғынлығын атап өтиў ушын қолландық. Мысалы фотон ушын гравитациялық масса деп айтыў ҳеш кандай мәниске ийе емес, себеби вертикал бағытта қулап түсетуғын фотон ушын есапланған бул шама горизонт бағытында ушыўшы фотон ушын есапланған тап усы шамаға қарағанда еки есе киши болады.

Бир релятивистлик бөлекшениң динамикасының аспектлерин талқылағаннан кейин, енди бөлекшелер системасының массасы ҳаққындағы мәселени талқылаўға кирисемиз.

9. Бөлекшелер системасының массасы

Биз жоқарыда салыстырмалық теориясында система массасының оны қураўшы денелердиң массаларының қосындысынан турмайтуғынлығын атап өткен едик. Усы тастыйықлаўды бир неше мысаллар менен көргизбели етип сәўлелендириў мүмкин.

1. Қарама-қарсы бағытларда ушыўшы энергиялары бирдей E болған еки фотонды қараймыз. Бундай системаның қосынды импульси нолге тең, ал қосынды энергиясы (бул энергия еки фотоннан туратуғын системаның тынышлықтағы энергиясы) $2E$ ге тең. Демек бул системаның массасы $2E/c^2$ қа тең болады. Еки фотон системасының массасының тек сол фотонлар бир бағытта қозғалғанда ғана нолге тең болатуғынлығына аңсат көз жеткерийге болады.

2. n дана денеден туратуғын системаны қараймыз. Системаның массасы мына формула жәрдеминде анықланады:

$$m = \left[\left(\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{c^2} \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \frac{\mathbf{p}_i}{c} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (9.1)$$

Бул аңлатпада $\sum E_i$ арқалы бул денелердиң энергияларының қосындысы, ал $\sum \mathbf{p}_i$ арқалы олардың импульслериниң векторлық қосындысы белгиленген.

Жоқарыда келтирилген еки мысал еркин бөлекшелер системасына тийисли, бул системалардың өлшемлери оны қураўшы бөлекшелердиң еркин ушыўының нәтийжесинде ўақыттың өтиўи менен шексиз үлкейеди. Енди өлшемлери өзгермей қалатуғын системаларды қараўға өтемиз.

3. Протон менен электроннан туратуғын водород атомын қараймыз. Атомның тынышлықтағы энергиясын жақсы дәлликте төрт қосылыўшыдан туратуғын қосынды сыпатында көрсетиў мүмкин:

$$E_0 = m_p c^2 + m_e c^2 + E_{\text{kin}} + U. \quad (9.2)$$

Бул аңлатпада m_p протонның, m_e электронның массасы, E_{kin} электронның кинетикалық, ал U электронның потенциал энергиясы. Потенциал энергия U протон менен электронның электр зарядларының өз-ара тартысыўының себебинен пайда болған хәм ол электронға протонды таслап алысқа ушып кетиўге мүмкиншилик бермейди. Тәжирийбеде дурыслығы қайта-кайта тексерилген теориядан мына аңлатпа келип шығады:

$$E_{\text{kin}} + U = -E_{\text{kin}} = -\frac{m_e v_e^2}{2}. \quad (9.3)$$

Бул аңлатпадағы $v_e \approx c/137$ водород атомындағы электронның тезлиги болып табылады. Буннан

$$m_n = \frac{E_0}{c^2} = m_p + m_e - \frac{m_e v_e^2}{2c^2}. \quad (9.4)$$

Солай етип водород атомының массасы $m_p + m_e$ қосындысынан бир неше жүз мыңнан бирге үлеске киши болады екен.

4. Енди протон менен нейтроннан туратуғын водородтың аўыр изотопының ядросы – дейтронды қараймыз. Протон хәм нейтрон бир бири менен водород атомындағы электронға салыстырғанда күшлирек тартысады хәм тезирек қозғалады. Усының нәтийжесинде дейтронның массасы протон хәм нейтронның массаларының қосындысынан шама менен 0,1 процентке киши болады.

Соңғы еки мысалды биз ҳақыйқатында релятивистлик емес механика тийкарында қарадық. Себеби талқыланып атырған массалар айырмасы (бул айырманы массалар де-фекти деп атайды) үлкен әхмийетке ийе болса да, массалардың өзлериниң мәнислерине салыстырғанда жүдә киши.

Енди 2-бөлимде атап өтилген сындырылған ыдысты еске салатуғын ўақыт келди. Ыдыстың сынықларының массаларының қосындысы ыдыстың өзиниң массасына бул сынықлардың байланыс энергиясы олардың тынышлықтағы энергиясынан қаншама киши болатуғын дәлликте тең.

10. Тынышлықтағы энергия менен кинетикалық энергия арасындағы өз-ара өтиўлерге мысаллар

Ядролық хәм химиялық реакцияларда егер реакцияға кириўши бөлекшелердин массаларының қосындысы реакция өниминиң массасынан үлкен болатуғын болса тынышлықтағы энергия энергияның сақланыў нызамына сәйкес реакция продуктлериниң кинетикалық энергиясына өтиўи керек. Төрт мысал көремиз:

1. Электрон менен позитрон аннигиляцияға ушырағанда электрон хәм протонның тынышлықтағы барлық энергиясы толығы менен фотонлардың кинетикалық энергиясына өтеди.

2. Қуяштағы термоядролық реакциялардың нәтийжесинде еки электрон менен төрт протонның гелий ядросы менен еки нейтриноға айланыўы орын алады:



Бөлинип шығатуғын энергия $E_{kin} = 29,3$ МэВ. Протонның массасының 938 МэВ, ал электронның массасының 0,5 МэВ екенлигин есапқа алатуғын болсақ, онда массаның са-лыстырмалы киширейиўи процент муғдарында болады ($\Delta m/m = 0,8 \cdot 10^{-2}$).

Киши тезлик пенен қозғалыўшы нейтрон ^{235}U ядросы менен соқлығысқанда сол ядро еки бөлекке бөлинеди, уранның басқа ядроларын бөлиўге алып келетуғын еки ямаса үш нейтрон ушып шығады хәм При столкновении медленного нейтрона с ядром ^{235}U ядро делится на два осколка, вылетают 2 или 3 ней трона, способных поразить другие ядра ура-на, хәм $E_{kin} = 200$ МэВ муғдарындағы энергия бөлинип шығады. Бул жағдайда $\Delta m/m = 0,9 \cdot 10^{-3}$ екенлигине аңсат көз жеткейиўге болады.

Асханадағы газ плитасында метанның жаныў реакциясы болған



Реакциясында метанның хәр куб метрине 35,6 МДж энергия бөлинип шығады. Метанның тығызлығының $0,89 \text{ кг/м}^3$ екенлигин есапқа алсақ, онда бул жағдайда $\Delta m/m =$

10^{-10} екенлигине ийе боламыз. Химиялық реакциялардағы $\Delta m/m$ ниң шамасы ядролық реакциялардағыға қарағанда 10^7 - 10^8 ге киши болып, энергияның бөлиніп шығыу механизмінің мәніси бирдей болады: тынышлықтағы энергия кинетикалық энергияға өтеди.

Денениң ишки энергиясы өзгергенде денениң массасының барлық ўақытта да өзгеретуғынлығын атап өтиў ушын әдеттегидей еки мысалды көремиз.

1) темир утыг 200°C ға кызғанда оның массасы $\Delta m/m = 10^{-12}$ шамасына артады (темирдің жыллылық сыйымлығының $450 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$ екенлигин есапқа алсақ буны аңсат тексерип көриўге болады);

2) муздың базы бир муғдары толығы менен суўға айланса $\Delta m/m = 3,7 \cdot 10^{-12}$.

11. Массаның Эйнштейн менен Ньютон теорияларындағы тутқан орынларын салыстырыў

Жоқарыда айтылғанлардың барлығын есапқа алып Эйнштейн механикасындағы массаның тутқан орны менен Ньютон механикасындағы массаның тутқан орнын салыстырыў мақсетке муўапық келеди.

1. Салыстырмалық теориясында Ньютон механикасындағыдай материяның муғдарының өлшеми емес. Материя түсинигиниң өзи релятивистлик теорияда релятивистлик емес теориядағыға қарағанда әдеўир бай. Релятивистлик теорияда зат (протонлар, нейтронлар, электронлар) пенен нурланыў (фотонлар) арасында принципиаллық айырма жоқ.

Протонлар, нейтронлар, электронлар хәм фотонлар элементар бөлекшелер деп аталатуғын семействоның жийи ушырасатуғын ўәкиллери болып табылады. Фотонлардың ноллик массаға ийе бирден бир бөлекше емес болыўы мумкин. Нейтриноның базы бир типлериниң ноллик массаға ийе екенлиги бийкарланбайды. Физиклердің қолларында бар әсбаплардың жәрдемінде ашыў оғада кыйын болған еле ашылмаған массасыз бөлекшелердің бар болыўы мумкин.

2. Релятивистлик теорияда егер системада (тәрези тасында) айырым бөлекшелер (атомлар) каншама көп болса, онда оның массасы да соншама үлкен болады. Ал релятивистлик теорияда болса бөлекшелердің энергиялары олардың массаларынан үлкен болған жағдайдарда бөлекшелер системасының массасы сол бөлекшелердің санынан да, олардың энергиясынан да, импульслериниң өз-ара бағытларынан да ғәрезли болады. Қурамалы денениң массасы оны кураўшы денелердің массаларының қосындысына тең емес.

3. Ньютон механикасындағыдай изоляцияланған системаның массасы сақланады, ўақыттың өтиўи менен өзгермейди. Енди бул айтылған денелердің санына тек «затлар» емес (мысалы атомлар), ал «нурланыў» (фотонлар) да киреди.

4. Ньютон механикасындағыдай салыстырмалық теориясында денениң массасы бир инерциал есаплаў системасынан екинши инерциал есаплаў системасына өткенде өзгермейди.

5. Релятивистлик қозғалыўшы денелердің массасы олардың инертлилигиниң өлшеми емес. Кала берсе релятивистлик қозғалыўшы денелердің инертлилигин бирден бир өлшеми пүткиллей жоқ. Себеби тезлетиўши күшке денениң қарсылығы тезлик пенен күш арасындағы мүйештиң мәнісине ғәрезли.

6. Релятивистлик қозғалыўшы денениң массасы оның гравитация майданы менен тәсирлесиўин анықламайды. Бул тәсирлесиў денениң энергиясы менен импульсынан ғәрезли болған аңлатпадан ғәрезли.

Жоқарыдағы төрт «ондай емес» ке қарамастан масса салыстырмалық теориясында да денениң әҳмийетли характеристикасы болып табылады. Нолге тең масса «дене» ниң барлық ўақытта да жақтылықтың тезлигиндей тезлик пенен қозғалатуғынлығын билдиреди. Нолге тең емес масса денениң усы дене киши тезлик пенен қозғалатуғын ямаса тынышлықта туратуғын есаплаў системасындағы механикасын тәриплейди. Бул есаплаў

системасы басқа инерциал есаплау системаларына қарағанда айырып алынған айрықша система болып табылады.

7. Салыстырмалық теориясына мууапық бөлекшениң массасы оның тынышлықтағы энергиясының өлшеми болып табылады: $E_0 = mc^2$. Массаның бул қасиеті релятивистлик емес механикада белгисиз еді.

Элементар бөлекшениң массасы оның әхмийетли характеристикаларының бири болып табылады. Оның мәнисин мүмкин болғанынша дәл өлшеуге тырысады. Турақлы (стабил) хәм узақ жасайтуғын бөлекшелердің массасын олардың энергиясы менен импульсин бир биринен ғәрезсиз өлшеуден кейин $m^2 = E^2/c^4 - p^2/c^2$ формуласын пайдаланып табады. Ал қысқа жасаушы бөлекшелердің массаларын олар ыдырығанда тууылатуғын ямаса тууылғанда «қатнасатуғын» бөлекшелердің энергиялары менен импульстарын өлшеу арқалы анықланылады.

Барлық элементар бөлекшелердің массалары олардың басқа да қасиетлери менен (жасау уақыты, спино, ыдырау усылы) бир қатарда турақлы түрде жаңаланып туыратуғын жыйнақларда басылып турады.

12. Массаның тәбияты хәзирги заман физикасының 1-санлы мәселеси сыпатында

Соңғы он жыллықлар дауамында элементар бөлекшелердің қасиетлерин түсиниу бойынша үлкен алға жылжыулар жүз берди. Квант электродинамикасы – электронлардың фотонлар менен өз-ара тасирлесиу теориясы, квант хромодинамикасының тийкарлары – кварклердің глюонлар менен өз-ара тәсир етисиу теориясы, электр-әззи тәсирлесиу теориясының тийкарлары дөретилди. Усы теориялардың барлығында да өз-ара тәсирлесиудің бөлекшелери болып векторлық бозонлар (спино бирге тең бөлекшелер: фотон, глюон, W- хәм Z-бозонлар) деп аталатуғын бөлекшелер хызмет етеди. Олардың массалары хаққында гәп ететуғын болсақ ерисилген жетискенликлер онша жоқары емес. XIX хәм XX әсирлердің арасында массаның, жүдә болмағанда электронның массасының электромагнитлик пайда болыуы хаққында исеним орын алды. Бүгин болса электронның массасының электромагнитлик бөлиминиң оның толық массасының киши ғана бөлимин тутатуғынлығын билемиз. Соның менен бирге биз протонлар менен нейтронлардың массаларының тийкарғы бөлимин глюонлар менен тәмийинленетуғын күшли тәсирлесиудің беретуғынлығын, ал протонлар менен нейтронлардың курамына киретуғын кварклер тәрепинен берилмейтуғынлығын билемиз.

Бирақ биз алты лептонның (электронның, нейтриноның хәм және солар сыяқлы төрт бөлекшениң) хәм алты кварктің (олардың биринши үшеуи протоннан әдеуир жеңил, төртиншиси көп емес, ал бесиншиси протоннан бес есе салмақлы, алтыншысы болса үлкен массаға ийе болғанлықтан хәзирге шекем пайда етилген хәм табылған жоқ) масаларының неге байланыслы пайда болғанлығын пүткиллей билмеймиз.

Усы күнлери лептонлардың хәм кварклердің, соның менен бирге W- хәм Z-бозонлардың массаларының дөреуінде спино нолге тең гипотезалық бөлекшелер тийкарғы орын ийелейди деген теориялық болжаулар бар. Бул бөлекшелерди излеу жоқары энергиялар физикасының тийкарғы мәселелериниң бири.

13. Еки әсир аралығы: төрт «масса»

Бул мақаланың биринши бөлиминдеги барлық баянланғанлар арнаулы салыстырмалық теориясы менен жумыс ислеп көрген қәлеген физик-теоретикке белгили. Екинши тәрептен қәлеген физик, хәтте тек физик емес Эйнштейннің $E = mc^2$ формуласы хаққында еситкен. Сонлықтан тәбийий түрде мынадай сорау тууылады: әдебиятта хәм оқыушылардың ойларында мына бири бирин бийкарлайтуғын еки

$$E_0 = mc^2,$$

$$E = mc^2$$

формула қалай орын алады?

Усы сорауға жууапты излеудің алдында және бір рет биринши формула бойынша тынышлықтағы денениң массасына E_0 энергиясының сәйкес келетуғынлығын, ал екінши формула бойынша энергиясы E болған қалеген денениң E/c^2 массаға ийе болатуғынлығын еске салып кетемиз. Биринши формула бойынша дене қозғалғанда оның массасы өзгермейди. Екінши формула бойынша денениң тезлиги артса оның массасы да үлкейеди. Биринши формула бойынша фотон массаға ийе емес, ал екінши формула бойынша фотон E/c^2 шамасына тең массаға ийе.

Еки формуланың да бир уақытта не себептен пайдаланылып атырғанлығы хаққындағы қойылған сорауға жууап бериу ушын арнаулы салыстырмалық теориясының дөретилюі, интерпретацияланыу хәм мойынланыу тарийхына сер салыуға туура келеди.

Масса менен энергияның байланысы хаққындағы мәселени талқылағанда басланғыш ноқат ретінде әдетте Дж.Дж.Томсонның 1881-жылы жарық көрген мақаласын алады [1]. Бул мақалада зарядланған денениң усы денениң инерт массасының электромагнит майданы тәрeпинен дөретилген бөлегиниң шамасын анықлауға қаратылған биринши тырысуы орын алған.

Әдетте салыстырмалық теориясының тууылыуын Эйнштейннің 1905-жылғы мақаласы менен байланыстырады [2]. Бул мақалада бир уақытлылықтың салыстырмалығы анық түрде айтылған. Бирақ теорияны дөретиу хәм интерпретациялау бойынша жумыслар 1905-жылдан әдеуір бурын басланды хәм 1905-жылдан кейин де көп уақытлар дауам етти.

Егер интерпретациялау хаққында гәп ететуғын болсақ, онда бул процесс хәзирги уақытларға шекем дауам етип атыр. Егер ондай болмағанда бул мақаланы жазыудың керегі болмаған болар еди. Ал мойынлауға келсек, онда 1922-жылдың ақырында Эйнштейнге Нобель сыйлығы берилгенге шекем салыстырмалық теориясының көпшилик тәрeпинен мойынланбағанлығын атап өтиу мүмкин.

Швед Илимлер Академиясының секретары Эйнштейнге Академияның Нобель сыйлығын фотоэффектти ашқанлығы ушын бергенлигин, «бирақ Сизиң салыстырмалық хәм гравитация теорияларыңыздың болажақта тастыйықланғаннан кейин мойынланатуғын бахалылығын есапқа алмай» деп жазды (А.Пайстың кітабы [3] бойынша цитата келтирилген).

$E = mc^2$ формуласы 1900-жылы салыстырмалық теориясы дөретилместен бурын пайда болды. Оны жазған А.Пуанкаре болып, ол E энергиясын алып жүретуғын тегис жақтылық толқынының абсолют шамасы Пойнтинг теоремасына сәйкес E/c болған p импульсын алып жүретуғынлығынан басшылыққа алды. Импульс ушын релятивистлик емес Ньютон формуласы $p = mv$ ны қолланып хәм жақтылық ушын $v = c$ екенлигин есапқа алып Пуанкаре [4] фотон $m = E/c^2$ инерт массасына ийе болады деген жуумаққа келди.

Бул айтылған уақыядан бир жыл бурын Лоренц [5] 1899-жылы биринши болып ионлардың бойлық хәм қолденең массалары түсинигин усынды. Олардың бириншиси тезликтің өсиуі менен γ^3 ке, ал екіншиси тезликтің өсиуі менен γ ға пропорционал өседі. Ол усындай жуумаққа күш пенен тезлениу арасындағы Ньютон байланысы болған $F = ma$ формуласын қолланыу менен келди. Электронлар ушын бул массаларды толық талқылау 1904-жылы жарық көрген [6] да бар.

Солай етип бизиң хәзирги түсиниуимизге еки әсир шегарасында релятивистлик объектлерди тәриплеу ушын релятивистлик емес формулаларды қолланыудың салдарынан денениң энергиясы менен өсетуғын «массалардың» семействосы пайда болды:

«релятивистлик масса» $m = E/c^2$,

«көлденең масса» $m_{\perp} = m\gamma$,

«бойлық масса» $m_{\parallel} = m\gamma^3$.

$m \neq 0$ болса релятивисттик массаның көлденең массаға тең болатуғынлығын аңғарамыз, бірақ көлденең массадан айырмасы соннан ибарат, ол $m = 0$ болған массасыз денелерде де болады. Биз бұл жерде m хәрибин мақаланың биринши бөліміндегідей әдеттегі мәністе қолланамыз. Бірақ барлық физиклер XX әсирдің дәслепки бес жылында, яғный салыстырмалық теориясы пайда болмастан бұрын, ал көплеген физиклер салыстырмалық теориясы пайда болғаннан кейін Пуанкаренің 1900-жылғы жұмысындағыдай релятивисттик массаны масса деп атады хәм оны m хәриби жәрдемінде белгиледи. Усының салдарынан бұл және бир төртінши термин болған «тынышлықтағы масса» түсинигинің пайда болуына алып келди хәм оны m_0 аркалы белгилей баслады. «Тынышлықтағы масса» термини жәрдемінде салыстырмалық теориясын избе-из баянлағанда m аркалы белгилейтуғын әдеттегі массаны атай баслады.

Тап усындай себеплерге байланысly «төртеуден туратуғын банда» пайда болып, оларға жаңа тууылып атырған салыстырмалық теориясына табысly түрде ениудің сәти түсти. Сондай етип хәзирги күнлерге шекем дауам етип атырған алжасықлардың орын алуы ушын зәрүрли болған жағдайлар пайда болды.

1900-жылдан баслап β нурлары хәм катод нурлары, яғный үлкен энергияға ийе электронлар менен арнаулы тәжирийбелер басланды. Олардың дәстелеринің бағытлары магнит хәм электр майданлары жәрдемінде өзгертилди (А.Миллердің [7] кітабын қараңыз).

Бұл тәжирийбелер массаның тезликтен ғәрезлилигин өлшеу ушын арналған тәжирийбелер деп аталды хәм олардың нәтижелери XX әсирдің дерлик барлық биринши он жыллығында Лоренц тәрәпинен m_{\perp} хәм m_{\parallel} ушын алынған аңлатпаларға сайкес келмей салыстырмалық теориясын тийкарынан бийкарлады хәм М.Абрагамның дурыс емес теориясы менен жақсы сәйкес келди. Буннан кейинги уақытлары Лоренц формулалары менен сәйкес келиушилиқ қайтадан тикленди, бірақ жоқарыдағы Швед илимлер академиясы секретарының хатынан көринип турғанындай тәжирийбе нәтижелери абсолют исенимli түрде қабыл етилмеди.

14. Эйнштейннің 1905-жылғы мақалаларындағы масса менен энергия

Салыстырмалық теориясы бойынша биринши жұмысында Эйнштейн [2] сол уақыттағы бәрше қатарында көлденең хәм бойлық массалар түсинигин пайдаланады, бірақ оларды арнаулы белгилер менен белгилемеди. Ал кинетикалық энергия ушын

$$W = \mu V^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / V^2}} - 1 \right]$$

аңлатпасын алады. Бұл аңлатпадағы μ масса, V жақтылықтың тезлиги. Солай етип «тынышлықтағы масса» түсинигин ол пайдаланбады.

Сол 1905-жылы Эйнштейн қысқаша мақала шығарып [8], онда «дененің массасы ондағы топланған энергияның өлшеми» деген жуумаққа келди. Егер хәзирги заман белгилеулерин пайдаланатуғын болсақ, онда бұл жуумақ

$$E_0 = mc^2$$

формуласы менен аңлатылады.

Ғақыйқатында E_0 белгиси биринши фразада бар болып, усы фраза менен дәлиллеу басланады: «Мейли (x, y, z) системасында тынышлықта турған дене бар болып, оның усы (x, y, z) системасындағы энергиясы E_0 болсын». Бұл дене қарама-қарсы бағытларда бирдей $L/2$ энергиясына ийе еки тегис жақтылық нұрын нұрландыратуғын болсын. Бұл процессти v тезлиги менен қозғалуышы системада қарап, усы системада фотонлардың

энергияларының қосындысының $L(\gamma - 1)$ екенлигин есепке алып хәм оны денениң нур шығармастан бурынғы хәм нур шығарғаннан кейинги кинетикалық энергияларының айырмасына теңлестирип Эйнштейн мынадай жуўмаққа келеди: «егер дене нурланыў түринде L энергиясын беретугын болса, онда оның массасы L/c^2 шамасына кемейеди», яғный $\Delta m = \Delta E_0/c^2$ шамасына кемейеди. Солай етип бул жумыста денениң тынышлықтағы энергиясы түсиниги киргизилген хәм денениң массасы менен тынышлықтағы энергиясының эквивалентлиги орнатылған.

15. «Пуанкарениң улыўмаласқан формуласы»

Егер 1905-жылғы жумысында Эйнштейн жүдә анық болған болса, 1906-жылы шыққан оның гезектеги [9] мақаласында анықлық бир қанша жоғалады. Жоқарыда нәзерге алынған Пуанкарениң 1900-жылғы мақаласын еске алып Эйнштейн Пуанкарениң жуўмақларының эпийайырақ және көргизбелірек усылын усынады хәм хәр бир E энергиясына E/V^2 инерциясы сәйкес келеди деп тастыйықлады (инертная масса E/V^2 , бул жерде V арқалы жақтылықтың тезлиги белгиленген). Соның менен бир қатарда ол «электромагнит майданына массаның тығызлығын (ρ_e) байланыстырып, ол тығызлық энергияның тығызлығынан $1/V^2$ көбеймесине айрылады». Усының менен бирге [9] дың текстинен бул тастыйықлаўды өзиниң 1905-жылғы жумысының раўажланыўы деп есаплағанлығы көринип тур хәм 1907-жылы шыққан мақаласында [10] Эйнштейн және де денениң тынышлықтағы энергиясы менен массасының эквивалентлиги ҳаққында анық айтса да релятивистлик $E_0 = mc^2$ формуласы менен релятивистликке шекемги $E = mc^2$ формуласы арасындағы айырманы ол келтирмейди. Ал «Салмақ күшиниң жақтылықтың тарқалыўына тәсири» [11] мақаласында ол былай деп жазады: «... Егер энергияның өсими E болса, онда инерт массаның өсими E/c^2 болады».

XX әсирдиң 10-жылларының ақырында салыстырмалық теориясының ҳәзирги заман бирден бир төрт өлшемли кеңислик-ўақытлық формализминиң дөретилиўине Планктың [12, 13] хәм Минковскийдиң жумысларында үлкен үлеслер қосылды. Шама менен тап сол ўақытлары Льюис хәм Толменниң [15,16] мақалаларында салыстырмалық теориясының тахтына E/c^2 қа тең болған «релятивистликке шекемги» масса отырғызылды. Бул масса «релятивистлик масса» титулын алды хәм ең қайғылысы соннан ибарат, «масса» түсинигин басып алды. Ал ҳақыйқый массаның ҳалы Золушканың ҳалына түсип қалды хәм «тынышлықтағы масса» лақабына ийе болды. Льюис пенен Толменниң жумысларының тийкарында импульстиң Ньютон бойынша анықламасы $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ хәм «масса» ның сақланыў нызамы алынды. Ал ҳақыйқатында массаның сақланыў нызамы орнына c^2 қа бөлінген энергияның сақланыў нызамы пайдаланылды.

Әдебиятта биз тәрәпинен тәрипленген «сарай аўдарыспағы» ның аңғармай қалыныўы таң қаларлық нәрсе хәм онда салыстырмалық теориясының раўажланыўы логикалық избеиз процесс сыпатында сәўлеленген. Мысалы физик-тарийхшылар ([3, 7, 17, 18] кітапларды көрсетиўге болады) биринши тәрәптен Эйнштейнниң [8] мақаласы менен екинши тәрәптен Пуанкаре [4] хәм Эйнштейнниң [9] мақалалары арасындағы принципиаллық айырманы атап өтпейди.

Бир ўақытлары мениң көзиме илимий дөретиўшилиқ процессин сәўлелендиретуғын карикатура түсти. Онда арқасынан қарағанда Эйнштейнге усаған илимпаз досқаға формулалар жазып атыр екен. Ол дәслеп $E = ma^2$ деп жазып үстин қызыл атанақ пенен сызған. Кейин $E = mb^2$ формуласын жазған хәм және де оны қызыл атанақ пенен сызған. Ақырында ол төменге $E = mc^2$ формуласын жазған. Карикатураның анекдотлығына қарамастан ол үзликсиз логикалық раўажланыў сыпатында илимий дөретиўшилиқ процессин хрестоматиялық баянлаўға салыстырғанда, мүмкин, ол ҳақыйқатлыққа әдеўир жақын шығар.

Мениң Золушканы еске түсиргеним тосыннан болған жоқ. Тезлик пенен бирге өсетуғын масса ҳақыйқатында да түсиникли емес еди, ол илимниң тереңлигин және

уллылығын нышанлады хәм адамның қыялын дуўалады. Оған салыстырғанда жүдә әпиұайы, жүдә түсиникли әдеттеги масса не болып табылады!

16. Мың хәм еки китап

Салыстырмалық тоериясы талқыланатуғын китаплардың толық саны маған белгисиз хәм усыған байланыслы бул бөлимнің аты «Мың хәм еки китап» деп аталды. Олардың саны сөзсиз бир неше жүзден, мүмкин бир неше мыңнан асатуғын шығар. Бирақ 20-жыллардан кейин пайда болған еки китапты айрықша атап өтиў зәрүр. Олардың екеуи де жүдә белгили хәм физиклердің бир неше әўлады тәрәпинен хұрмет етиледі. Бириншиси 1921-жылы шыққан 20 жасар студент Вольфганг Паулидің «Салыстырмалық тоериясы», екиншиси 1922-жылы арнаўлы хәм улыўмалық салыстырмалық тоериясының дөретиўшиси Альберт Эйнштейн тәрәпинен шығарылған [20] «Салыстырмалық тоериясының мәниси» китабы болып табылады. Энергия менен масса арасындағы байланыс ҳаққындағы мәселе усы еки китапта пүткиллей хәр кыйлы етип баянланған.

Паули ескерген сыпатында бойлық хәм көлденең массаларды кескин түрде ылақтырып таслады (соның менен бирге $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ формуласын да). Бирақ $p = mv$ формуласын пайдаланыўды хәм соған сәйкес тезликке ғәрезли болған масса түсинигин «мақсетке муўапық келеди» деп есаплайды және тезликке ғәрезли болған масса ушын бир қатар параграфларды бағышлайды. Ол китаптағы көп орынды «масса хәм энергияның эквивалент» лигин баянлаў ушын арнаған хәм оны «қәлеген түрдеги энергияның интерттилик нызамы» деп атап, ол бойынша «қәлеген энергияға $m = E/c^2$ массасы сәйкес келеди».

Эйнштейннің Паулиден өзгешелиги ол m арқалы әдеттеги массаны белгилейди. m арқалы Денениң тезлиги төрт өлшемли энергия-импульс векторын да m арқалы белгилеп Эйнштейн буннан кейин тынышлықта турған денени қарайды хәм мынадай жуўмаққа келеди: «Денениң E_0 энергиясы тынышлық халында оның массасына тең». Соны абайлаў керек, тезликтің бирлиги ретинде Эйнштейн c ны қабыл етеди. Буннан кейин ол жазады: «Егер биз ўақыттың өлшем бирлиги ретинде секундты қабыл еткен болсақ, онда

$$E_0 = mc^2$$

формуласын алған болар едик.

Солай етип масса хәм энергия мәниси бойынша бир бирине уқсас екен – бул тек бир нәрсениң хәр кыйлы аңлатылыўы болып табылады. Денениң массасы турақлы емес, ол оның энергиясы менен бирге өзгереді». Кейинги еки фразаға бир мәнисли мағананы «солай етип» деген гәптеги биринши сөзлер хәм $E_0 = mc^2$ теңлемесинен тиккелей келип шығатуғын жағдай береді. Демек «Салыстырмалық тоериясының мәниси» китабында тезликтен ғәрезли болған масса түсиниги жоқ.

Егер Эйнштейн өзиниң $E_0 = mc^2$ теңлемесин толығырақ хәм избе-из түсіндіргенде мүмкин $E = mc^2$ теңлемеси әдебиятта 20-жылларында-ақ жоқ болған болар еді. Бирақ буны Эйнштейн орынламады хәм буннан кейинги авторлардың көпшилиги Паулидің изинен ерди хәм тезликтен ғәрезли болған масса түсиниги көпшиликке арналған илимий китаптарды және брошюраларды, энциклопедияларды, улыўма физика бойынша мектеп хәм жоқары оқыў орынлары сабақлықлары менен оқыў қолланбаларын, монографияларды, соның менен бирге салыстырмалық тоериясына арналған белгили физиклердің монографияларын толтырды.

Салыстырмалық тоериясы избе-из релятивистлик түрде баянланған ең биринши оқыў монографияларының бири Ландау менен Лифшицтиң «Майдан тоериясы» [21] болды. Бул китаптан кейин бир қатар китаптар шықты.

Майданның квант тоериясының избе-из релятивистлик төрт өлшемли формализминде Фейнманның диаграммалар усылы әхмийетли орынды ийелейди. Бул усыл Фейнман тәрәпинен XX әсирдің ортасында дөретилди [22]. Бирақ тезликке ғәрезли болған масса-

дан пайдаланыу традициясы соншама жасағыш болып, 60-жыллардың басында жарық көрген өзінің белгили лекцияларында [23] Фейнман салыстырмалық теориясына бағышланған баптың тийкарына жатқарды. Хакыйкатында тезликтен ғәрезли болған мас-саны талқылау 16-бапта мынадай еки фраза менен жууақланады:

«Ерси болып көринседе $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ формуласы жүдә сийрек қолланылады. Оның орнына дурыслығы аңсат дәлилленетуғын мына еки қатнас алмастырыуға болмайтуғын болып шығады:

$$E^2 - p^2 = m_0^2 c^4$$

хәм

$$pc = \frac{vE}{c} \gg$$

Тири ўақтында жарық көрген өзінің кейинги лекциясында (бул лекция 1986-жылы Диракқа бағышланып оқылып, «Неликтен антибөлекшелер бар» деп аталады [24]) Фейнман тезликтен ғәрезли болған масса хакқында да, тынышлықтағы масса хакқында да хеш нәрсе айтпайды хәм тек масса хакқында айтып, оны m хәриби арқалы белгилейди.

17. Импринтинг хәм массалық мәденият

Неликтен $m = E/c^2$ формуласы соншама жасағыш? Буған толық жууап бере алмайман. Бирақ мениңше бул жерде көпшиликке арналған илимий әдебият үлкен орынды ийелейди. Атап айтқанда сондай әдебияттан биз салыстырмалық тоериясы хакқында биринши тәсирлерди аламыз.

Этологияда импринтинг түсиниги бар. Оған мысал - шөжелерди туўылғаннан кейин дәрхәл сол шөжени шығарған мәкийеннің изине ериўди үйретиў. Егер майектен шыққан шөжениң көзине сол мәкийен емес, ал биринши болып қозғалатуғын балалар ойыншығы түссе, онда шөже буннан кейин таўықтың емес, ал сол ойыншықтың изинен еретуғын болады. Көп бақлаўлар импринтингнің буннан кейин өзгериске ушырамайтуғынлығын көрсетеди.

Әлбетте балалар, қала берсе жас өспиримлер, ал шөжелер емес. Олар студент дәрежесине ерисип салыстырмалық теориясын ковариант формада «Ландау хәм Лифшиц бойынша» тезликтен ғәрезли болған массасыз хәм соннан келип шығатуғын биймәни жағдайларсыз үйренеди. Бирақ олар үлкен адам болып брошюралар менен сабақлықлар жаза баслағанда импринтинг өзінің исин баслайды.

$E = mc^2$ формуласы көп ўақытлардан бәри массалық мәденияттың элементине айланды. Бул жағдай оның өмирин айрықша узайтып, көп жасағышлық қәсийетин береді. Салыстырмалық теориясы бойынша жазыўға отырып көп авторлар сол формула менен оқыўшылар қашшаннан бери таныс деп есаплайды хәм усы таныслықты пайдаланыўға умтылады. Сондай жоллар менен өзін барлық ўақытта қайтадан тиклеп туратуғын процесс жүзеге келеді.

18. E/c^2 ты масса деп атаған не ушын жақсы емес?

Хәр ўақыт мениң физик досларым маған «Сен неге релятивистлик масса менен тынышлықтағы массаға жабысып алдың. Ақыр-аяғында хәриплердің базы бир комбинациясын бир хәрип пенен белгилегенде, бир ямаса бир неше сөзлер менен бир нәрсени атағанда қорқынышлы хеш нәрсе шықпайды ғо. Соған қарамастан жүдә ески

түсиниклерди пайдаланса да инженерлер релятивистлик тезлеткишлерди дурыс есаплап атыр. Ең баслысы формулаларда математикалық қәтеликлердің болмауында» дейди.

Әлбетте физикалық мәнісін толық түсінбей тұрып-ақ формулалардан пайдаланыуға хәм усы формулалар тийисли болған илимнің мәнісі хәққында дурыс емес билимге ийе болып-ақ дурыс есаплаулар жүргизиуға болады. Бирақ, бириншиден, дурыс емес көз-қараслар бәри бир ертели-кеш қәте нәтийжелерге, стандарт емес ситуацияларға алып келеди. Ал екиншиден илимнің әпиуайы хәм сулыу тийкарларын анық түсиниу формулаларға ойланбай санларды қойыуға қарағанда әдеуир әхмийетли.

Салыстырмалық теориясы әпиуайы хәм гөззал, ал оны еки масса тилинде түсиндириу былықтырылған хәм жөнсизлик болып табылады. $E^2 - p^2 = m^2$ хәм $\mathbf{p} = E\mathbf{v}$ (мен хәзир $c = 1$ болған бирликти қолланып атырман) формулалары физиканың аң түсиникли, гөззал хәм қудиретли формулаларының бири болып табылады. Улыуа алғанда Лоренц векторы хәм Лоренц скаляры түсиниклери оғада әхмийетли, себеби олар тәбияттың зор симметриясын сәулелендиреди.

Екинши тәрәптен $E = m$ (мен бул жерде де $c = 1$ деп аламан) шырайсыз хәм жарамсыз. Себеби бул формулада энергияның мәнісі E және бир хәрип хәм термин менен белгиленеди, қала берсе физикадаға басқа бир әхмийетли хәрип хәм термин менен белгиленген. Бул формуланы ақлайтуғын жалғыз бир нәрсе, ол да болса тарийхый ақлау болып табылады: XX әсирдің басында бул формула салыстырмалық теориясын дәретиушилерге усы теорияны дәретиуға жәрдем берди.

Тарийхый планда бул формуланы хәм бул формула менен байланысқан барлық нәтийжелерди хәзирги заман илимин дәретиуде қолланылған қурылыс қуралларының (строительный лес) қалдығы деп қарау керек. Ал әдебияттағы мағлаұматларға келсек, онда бул формуланың дерлик бас порталы сыпатында орын алып атырғанлағын көремиз.

Егер $E = mc^2$ формуласына қарсы биринши аргументти «гөззаллық сықылсызлыққа қарсы» мәнісінде эстетикалық деп атайтуғын болсақ, онда екиншисин этикалық деп есаплау мүмкин. Оқыушыны бул формула бойынша оқытуу оннан хәқыйқатлықтың бир бөлимин жасырып, алдау хәм оның мийинде ақланбаған иллюзияларды пайда етиу менен тиккелей байланыссы.

Бириншиден Ньютон бойынша $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ импульсти жазыудың релятивистлик областларда да тәбийий деп ықтыярлы түрде болжауларға тийкарланып тәжирийбесиз оқыушылардан хәқыйқатлықты жасырады.

Екиншиден оқыушыда E/c^2 шамасы инертлиликтің универсаллық өлшеми деген иллюзия пайда етеди. Бирақ

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F}{m_0} \sqrt{1 - v^2 / c^2} \quad (18.1)$$

аңлатпасынан

$$\int_0^c \frac{dv}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} = \int_0^T \frac{F dt}{m_0} \quad (18.2)$$

екенлиги келип шығады. F күшін тұрақлы деп есапласақ, онда дененің тезлиги c ға жетемен дегенше кеткен уақыттың

$$T = \frac{pm_0}{2Fc} \quad (18.3)$$

шамасына тең екенлигин табамыз. Бул қәте нәтижениң шығыўы мынаған байланыслы: $a = F/m$ формуласына «релятивистлик массаны» емес, ал γ^3 қа пропорционал болған «бойлық» массаны қойыў керек. Хәзирги заман авторлары бул жағдайды еске алмайды.

Үшиншиден оқыўшыда E/c^2 шамасы универсаллық гравитациялық масса деген иллюзияны пайда етеди. Ал ҳақыйқатында биз релятивистлик жағдайда универсаллық гравитациялық массаның жоқ екенлигин көрдик (релятивистлик емес жағдайларда бул орын алмайды): горизонт бағытында ушыўшы фотонға тәсир етиўши күштиң шамасы вертикал бағытта ушыўшы фотонға тәсир ететуғын күшке салыстырғанда 2 есе үлкен.

Төртиншиден $E = mc^2$ формуласын Эйнштейнниң аты менен байланыстырып, ҳақыйқый Эйнштейн формуласы болған $E_0 = mc^2$ формуласын оқыўшыдан жасырады.

Үшинши аргументти философиялық аргумент деп есаплаў керек. Себеби $E = mc^2$ дефинициясына масса менен энергияның толық эквивалентлиги, «массалар-энергия» ның бирден бир мәнисиниң бар екенлиги х.т. басқалар ҳаққында онлаған бетлерден туратуғын терең мәнисли философиялық талқылаўлар менен ой-пикирлер бар. Бирақ салыстырмалық теориясына сәйкес қәлеген массаға энергия сәйкес келеди хәм буған карама-қарсы болған жағдай, яғный қәлеген энергияға массаның сәйкес келиўи пүткиллей орын алмайды. Солай етип масса менен энергияның толық эквивалентлиги жоқ.

Төртинши аргумент – терминологиялық. Салыстырмалық теориясы бойынша әдебият белгилеўлер менен терминологияда сондай алжасықларға ийе болып, бул алжасықлар жол ҳәрекетинде оң тәреплик те, шеп тәреплик те ҳәрекет руксат етилген қаланы еске түсиреди. Мысалы Үлкен Совет энциклопедиясында және ҳәр қыйлы физикалық энциклопедиялар менен справочниклерде m ҳәрипи менен массаны да, релятивистлик массаны да белгилейди, әдеттеги массаны айырым ўақытлары масса, ал көбирек тынышлықтағы масса, релятивистлик массаны қозғалыс массасы, бирақ көбинеше тек масса деп атайды. Бир мақалаларда авторлар избе-из релятивистлик терминологияларды қолланады, ал екіншилердинде авторлар избе-из архаистлик терминологияға сүйенеди. «Масса» мақаласын «салыстырмалық теориясы» мақаласы менен енди баслап атырған оқыўшыға салыстырыў қыйын ис болып табылады.

Салыстырмалық теориясында тек бир «масса» термининиң бар екенлигинен, ал басқаларының «жин-шайтаннан ямаса хийлекерликтен» келип шығатуғынлығынына қарамастан усындай алжасықлар көп сабақлықлар менен монографияларда гүлlep, раўажланып атыр.

Бесинши аргумент - педагогикалық. Денениң массасы тезликке ғәрезли өседи деген жағдайды догматикалық үйренип алған оқыўшы, муғаллим, киши курслар студенти егер оларды қайтадан үйретиў ушын күш жумсалмаса салыстырмалық теориясының мағанасын рәсинда түсине алмайды.

Буннан кейин профессионал физик-релятивист болып жетиспеген қәлеген адам, әдетте, масса хәм энергия ҳаққында турақлы емес көз-қарасқа ийе болады. Көпшилик жағдайларда $m = m_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$ формуласы әлбетте $E = mc^2$ формуласы менен бир қатарда олардың ядында қалған бирден бир формула болып табылады.

Салыстырмалық теориясын стандарт мектеп сабақлығынан үйренген қәлеген өз бетинше ойлайтуғын адам интеллектуаллық дискомфортты басынан кеширейи керек.

19. «Папа, масса ҳақыйқатында да тезликтен ғәрезли ме?»

«Физиканың Америка журналы»нда 1987-жылы жарық көрген К.Адлердиң [25] мақаласы усындай атамаға ийе. Бас темаға алып шығылған сораўды авторға баласы берген. «Жоқ», «Деген менен аўа», «Ҳақыйқатында олай емес, бирақ бул ҳаққында муғаллимиңе айтпа» деп жуўап берилген. Келеси күннен баслап баласы физика менен шуғылланыўды тоқтатқан.

К.Адлер арнаўлы салыстырмалық теориясын оқытқанда релятивистлик масса түсинигиниң ийелеген орнының жылдан жылға әхмийетиниң жоғалып атырғанлығын жа-

зады. Бул тастыйықлауды ол 1963-жылдан 1982-жылдар арасында АҚШ та жарық көрген «Университет физикасы» ның избе-из төрт басылыуынан цитаталар келтиріу менен иллюстрациялайды. Эйнштейннің көз-қарастары хақында айтып келип Адлер Эйнштейннің Линкольн Барнеттке 1948-жылы жиберілген баспада шықпаған хатынан үзінди келтиреді:

« $M = m_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$ болған дененің массасы түсинигин киргизиу жақсы емес, бул масса ушын айқын анықлама беріуге болмайды. Ең жақсысы «тынышлықтағы масса» m нен басқа массаны киргизиудің кереги жоқ. M ди киргизиуға қарағанда қозғалыушы дененің импульсы менен энергиясының аңлатпасын келтирген жақсы»¹.

Тарийхый планда Адлер релятивистлик массаны Лоренц пенен Пуанкаренің релятивистликке шекемги теорияларының мийрасы деп қараған. Ол бул түсиникке сын менен қарайды хәм оның тарқалғанлығының азайыуына оптимизм билдиреди.

20. «ФИЗИКА В ШКОЛЕ»

1987-жылы Адлердің мақаласы шыққан ўақытта мен СССР Билимлендириу министрлигинің физика бойынша жазылған ең жақсы сабақлықты анықлау бойынша Пүткілсоюзлық жеңімпазларды анықлаушы комиссиясы қурамында жұмыс іслеуге тууры келди. Конкурса келип түскен жигирмалаған сабақлықты көрип шыққанымда тезликке ғәрезли болған массаның салыстырмалық теориясының орайлық пункти түрінде түсиндирилиуи мени таң қалдырды.

Комиссияның басқа ағзаларының – педагоглар менен методистлердің басқа көз-қарстың бар екенлиги хақында хеш нәрсени билмейтуғынлығы менен оннан бетер таңландырды. Импровизацияланған қысқаша баянламамда мен оларға тийкарғы $E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$ хәм $p = Ev/c^2$ формулалары хақында айтып бердим хәм нәтийжеде қатнасканлардың биреуи былай деди: «Енди буны Сиз билесиз хәм биз билемиз, бирақ басқа хеш ким билмейди. Сиз «Физика в школе» журналы ушын масса хақында мақала жазыуыңыз керек. Сонда бул хақында мектептердің 100000 физика муғаллимлери биледи».

Сол жерде мен баянлағанлардың барлығы тек физик-профессионалларға ғана белгили болып қоймай, ал педагогикалық емес жоқары оқыу орынларының студентлерине де белгили екенлигин айттым хәм мақала жазыуға ўәде бердим.

Бир неше күнлерден кейин комиссияның гезектеги мәжилисінде мен «Физика в школе» журналының бас редакторын ушыраттым хәм мендеги масса хақында пайда болған усынысты айтып «салыстырмалық теориясындағы масса хақындағы мақаланы жазыуға маған буйыртпа беріуге журнал таяр ма?» деп сорадым. Еки айға шекем жууап болған жоқ. Буннан кейин мен сөйлескен адам маған телефоннан қоңырау қылды хәм

¹ Баретке жазылған хаттан үзінди келтириуға байланыслы Эйнштейннің 1949-жылы баспадан шыққан [26] «Автобиографиялық киши мақалалар» ынан хәм соның менен бирге оның илимий мийнетлеринің 4-томындағы Л.Барнеттің китабына жазылған алғы сөзден кейин тиккелей келетугын «Әлем хәм д-р Эйнштейн» нен үзінди келтирген ақылға мууапық келеди. Сол киши мақалаларда Эйнштейн релятивистлик тартысуу теориясын дөретиуідеги басланғыш этаптарды еске алып жазады: «... теория өз ишине мына нәрселерди бириктириуи керек:

1) дара салыстырмалық теориясының улыўмалық көз-қарастарынан физикалық системаның толық энергиясы үлкейгенде (мысалы, дара жағдайда кинетикалық энергия өскенде) инерт массасының да өсиуи керек екенлиги анық болды;

2) ... өткерілген дәл тәжирийбелерден дененің ауырлыққа сәйкес келиуши массасы үлкен дәлликте оның инерт массасына тең екенлиги эмпирикалық белгили болды;

Бул үзінди улыўмалық салыстырмалық теориясын дөреткенде кинетикалық энергияның өсиуи менен өсетугын масса түсиниги Эйнштейн ушын басланғыш нокаттың болғанлығын көрсетеди. 1949-жылы бул түсиникти хеш талқыламастан еске салып мүмкин өзинің болық избе-из болғанлығын көрсеткен болса керек. Мүмкин бундай түсиник көп санлы оқыушыларға түсиникли болады деп есаплаган шығар.

редакцияның бундай мақалаға бұйыртпа бермеуі хақында шешим қабыл еткенлигин айтты. Шамасы мен жоқарыда жазған импринтинг өзинің исин ислеген болса керек.

Бул бас тартыу сондай мақаланың зәрүрлиги хақындағы мениң исенимлеримди және де арттырды. Бул мақаланы жазыу үстинде ислеу барысында мен жүзден аслам китапты хәм елиуден аслам мақаланы көріп шықтым. Мектеп сабықлықларының жоқары оқыу орынлары ушын жазылған сабақлықлардан төмен екенлигин көрдим хәм мәселениң тарийхы менен қызықтым. Материаллар көбейди, мени жұмыс өзине тартты хәм бул жұмыстың ақыры көринбеди.

Сонда ғана мен отырыуға хәм әдебиаттың дизимин, хәр қыйлы китаптар менен мақалалардың талқыланыулары жазылған айырым қағаз бетлерин бир папкаға салып усы қысқа текстти жазыуға шешим қабыл еттим.

Ұақыт күтип тұрмайды. Хәр жылы миллионлаған нускадағы китаптар шығарылады хәм олар салыстырмалық теориясы хақында жалған мағлыұматлар берип жас өспиримлердің басларын қатырады. Бул процессти тоқтатыу зәрүр.

Мен усы мақаланы жазыуға себепкер болған конкурслық комиссияның ағзаларына миннетдарман. Соның менен бирге мен Б.М. Болотовскийге, М.Б. Волошинға, П. А. Крупчицкийге, И.С. Цукерманға пайдалы талқылаулары хәм берген сынлары ушын миннетдарман.

Әдебиатлар дизими (өзгертилместен берилген)

1. Thomson J. J. //Phil. Mag. 1881. V. 11. P. 229.
2. Einstein A. //Ann. d. Phys. 1905. Bd 17. S. 891; перевод: Эйнштейн А. Собрание научных трудов. - М.: Наука, 1965. - Т. 1. С. 7 (далее цит. как СНТ).
3. Pais A. Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein. - Oxford: Clarendon Press, 1982.
4. Poincaré H. //Lorentz Festschrift. - Archieve Neerland, 1900. - V. 5. P. 252.
5. Lorentz H. //proc. Roy. Acad. Sci. Amsterdam. 1899. V. 1. P. 427.
6. Lorentz H. A. //Ibidem. 1904. V. 6. P. 809; переводы:// 1) Принцип относительности: Сб. работ классиков релятивизма / Г. А. Лоренц, А. Пуанкаре, А. Эйнштейн, Г. Минковский. - Под ред. В.К. Фредерикса, Д.Д. Иваненко. - Л., ОНТИ, 1935. - С. 76; 2) Принцип относительности: Сб. работ по специальной теории относительности / Сост. А.А. Тяпкин. - М.: Атомиздат, 1973. - С. 67.
7. Miller A. I., Albert Einstein's Special Theory of Relativity: Emergence (1905) and Early Interpretation (1905-1911). - Addison-Wesley, 1981.
8. Einstein A. //Ann. d. Phys. 1905. Bd 18. S. 639; перевод://СНТ - 1965. - Т. 1. С. 36.
9. Einstein A. //Ibidem. 1906. Bd 20. S. 371; перевод:// Ibidem. [8]. - С. 39.
10. Einstein A. //Ibidem. 1907. Bd 23. S. 371; перевод:// Ibidem. - С. 53.
11. Einstein A. //Ibidem. 1911. Bd 35. S. 898; перевод:// Ibidem - С. 165.
12. Planck M. //Verhandl. Deutsch. Phys. Ges. 1906. Bd. 4. S. 136; перевод: // Планк М. Избранные труды. - М.: Наука. 1975. - С. 445.
13. Planck M. //Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin. 1907. Bd 13. S. 542; перевод:// Ibidem. [12]. - С. 467.
14. Minkowski H. //Phys. Zs. 1909. V. 20. S. 104; переводы: // как для работы [6]. - С. 181; 167.
15. Lewis Q, Tolman R. //Phil. Mag. 1909. V. 18. P. 510.
16. Tolman R. //Ibidem. 1912. V. 23. P. 375.
17. Jammer M. Concepts of Mass in Classical and Modern Physics. - Cambridge: Harvard Univ. Press. 1961; перевод: Джеммер М. Понятие массы в классической хәм современной физике / Пер, хәм комментарии Н.Ф. Овчинникова. - М.: Прогресс, 1967.

18. Whillaker E. A. History of the Theories of Aether and Electricity. V. 2. - London: Nelson, 1953; перевод://как для работы [6], 2). - С. 205. - Обсуждение вопроса о массе см. с. 226 хэм далее.
19. Pauli W. Relativitats Theorie//Encykl. Math. Wiss. Bd 19. Leipzig: Teubner, 1921; переводы: //Паули В. Теория относительности. - М.; Л.: Гостехиздат, 1947; Пер. с нем. В. Л. Гинзбурга, Л. М. Левина. - М.: Наука, 1973. - 2-е изд. исправлено хэм дополнено по англ. изданию 1958 г.
20. Einstein A. The Meaning of Relativity: Four Lectures Delivered at Princeton Univerisity. - May 1921; персвод://СНТ - Т. 2. С. 5; кроме того, перевод этой книги вышел отдельным изданием: Эйнштейн А. Сущность теории относительности - М.: ИЛ, 1955.
21. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. - М.: Гостехиздат, 1955.
22. Feynman R.//Phys. Rev. 1949. V. 76. P. 749, 769; переводы://Новейшее развитие квантовой электродинамики/ Пер. А. М. Бродского под ред. Д. Д. Иваненко. - М.: ИЛ, 1954 - С. 138, 161.
23. Feynman R., Leighton R., Sands M. The Fcynrnan Lectures on Physics. - Addison-Wesley, 1963, 1964. - V. 1. Chs/15, 16; V. 2. Ch. 28; перевод: Фейнман, Лейтон, Сэндс. Феймановскис лекции по физике. - М., 1961-1966 - Вып. 2, гл. 15. 16; вып. 6, гл. 28.
24. Feynman R. P.//The reason for antiparticles//Elementary Particles and the Laws of Physics; The 1986. Dirac Memorial Lectures. - Cambridge; New York; New Rochel-le; Melbourne: Sydney: Cambridge Univ. Press, 1987 - P. 1; перевод://УФН. 1989. Т 157. С. 163.
25. Adler C.//Am. J. Phys. 1987. V. 55. P. 739.
26. Einstein A. Autobiographical Notcs//Albcrt Einstein: Philosopher-Scientist./Ed. by P. A. Schlipp-Evanston, 1949; перевод ://СНТ. - 1966. - Т. 4. С. 259.