

**Лекция 1\_Кіріспе. Гравитация теориясы**

<https://infourok.ru/prezentaciya-na-temu-teoriya-otnositelnosti-4703531.html>

Салыстырмалылық теориясы — физикалық процестердің кеңістік-уақыттық қасиеттерін зерттейтін теория.

20-ғасырдың басында Альберт Эйнштейннің жасаған жалпы салыстырмалылық теориясы (ЖСТ) деп те аталатын Гравитация теориясы (ГТ) біздің гравитация, кеңістік пен уақытты түсінуімізге зор ықпал етті. Гравитацияны зерттеу тарихы ежелгі гректерден бастап көптеген ғасырларға созылады, бірақ ең маңызды жетістікті 17-ғасырда Исаак Ньютон жасады. Ньютон бүкіл әлемдік тартылыс заңын: Әлемдегі әрбір дене басқа денелерге олардың массасына пропорционал және олардың арасындағы қашықтықтың квадратына кері пропорционал күшпен тартылады деп тұжырымдады. Бұл теория қалыпты жағдайда жақсы жұмыс істейді деп есептегенмен, бірақ ол гравитациялық өрістердегі жарықтың шағылуы және сынуы сияқты кейбір физикалық құбылыстарды түсіндіре алмады.

Сондай-ақ, салыстырмалық принципі оптика мен физикаға және физикалық басқа салаларына қатысты екендігі белгілі болды. Салыстырмалық принципі өзінің мәнін кеңейтіп, мынадай анықтамаға ие болды: оқшауланған материалдық жүйеде кез келген процесс бірдей жүреді, және ол жүйе бір қалыпты түзу сызықты қозғалыс жағдайында болуы керек. Немесе физиканың заңдары барлық инертті жүйелерде бірдей формаға ие.

Бір инертті жүйеден келесіге ауысу Лоренц қайта өзгертулері арқылы жүзеге асырылады. Бірақ жарық жылдамдығы тұрақтылығы туралы мәліметтер қайтадан жаңа түсініктерді қажет ететін мәселелерге әкеліп тіреді. 1904 жылы Х. Лоренц қозғалыстағы дене өзінің қозғалыс бағыты бойынша қысқартындығын және әртүрлі жүйелерде байқалатын уақыт аралықтары өлшенетінін айтты. Бірақ, келесі жылы А.Эйнштейн Лоренц қайта құруларындағы байқалатын уақытты нақты уақыт ретінде қарастырды.

**КЛАССИКАЛЫҚ ГРАВИТАЦИЯ ТЕОРИЯСЫНЫҢ МӘСЕЛЕЛЕРІ:**

**Жарықтың ауытқулары:** Гравитациялық өрістерден өткенде жұлдыз жарығының ауытқуы құбылысы алғаш рет 1919 жылы Күн тұтылуы астрофизикалық құбылысы кезінде зерттеліп, тәжірибе жүзінде айғақталды.

**Меркурий туралы болжамдар:** Классикалық тартылыс теориясы Меркурийдің Күн орбитасындағы қозғалысын толық түсіндіре алмады. Себебі бұл орбиталды қозғалыс стандартты емес және теория мен бақылаулар арасында кейбір қарама-қайшылыққа әкелді.

**Эйнштейннің Жалпы салыстырмалық теориясының негізгі принциптері:**

**Эквиваленттік принцип:** Эйнштейн үдеу мен гравитацияны ажырату мүмкін емес, басқаша айтқанда, егер сіз терезелері жоқ жабық бөлмеде болсаңыз және

сізді төмен тартып жатқан күшті сезсеңіз, бұл гравитация немесе үдеудің әсері ма айырмашылықты айта алмайсыз. Бұл принцип Эйнштейн теориясының дамуының кілті болды;

**Жалпылық принципі:** Эйнштейн кеңістік пен уақыт туралы жаңа түсінікті ұсынды. Ол кеңістік пен уақыт кеңістік-уақыт деп аталатын ортақ болмысты құрайды деп дәлелдеді. Масса мен энергия бұл кеңістікті қисайтады, ал объектілер геодезия деп аталатын қисық жолдармен қозғалады, бұл кеңістік-уақыттың қисықтығы.

### **Жалпы салыстырмалық теориясының математикалық аспектілері:**

Жалпы салыстырмалық теориясының маңызды аспектілерінің бірі – кеңістік-уақыттың қисықтығын сипаттау үшін математиканы пайдалану. Бұған тензорлар және Эйнштейн теңдеулері сияқты ұғымдар кіреді. Эйнштейн теңдеулері масса мен энергияның кеңістік-уақытпен әрекеттесуін сипаттайды және оның қисықтығын анықтайды.

### **Теорияны бекіту**

Жалпы салыстырмалылық теориясын растайтын алғашқы сәтті тәжірибелердің бірі-ағылшын астрономы Артур Эддингтон жүргізген 1919-жылы күн тұтылу кезінде жұлдыздардың жарықтың ауытқуын өлшеу болды. Бұл эксперимент Эйнштейннің теориясын жалпы ғылыми қауымдастықпен қабылдауға әкелді.

### **Практикалық қолданбалар**

Жалпы салыстырмалылық теориясының қазіргі ғылым мен техникада практикалық қолданулары бар

**Жаһандық позициялау (GPS):** GPS жүйелері гравитациялық әсерлер мен уақыт ауытқуын ескере отырып, спутниктерден келетін сигналдарды түзету үшін салыстырмалылық теориясын пайдаланады;

**Гравитациялық толқындар:** Эйнштейн гравитациялық толқындардың кеңістік-уақыт арқылы таралатын толқындар екенін болжады. Бұл толқындар зерттеу тәжірибелерінде нақты зерттеліп, Эйнштейн теориясының болжамдарын растады.

Қорыта айтқанда Альберт Эйнштейннің жалпы салыстырмалылық теориясы физика тарихындағы ең ықпалды теориялардың бірі болып қала береді. Ол біздің тартылыс туралы түсінігімізді өзгертті және космологияны және Әлемдегі көптеген құбылыстарды түсінуге негіз болды. Оның арқасында біз уақыттың, кеңістіктің табиғатын және масса мен энергияның өзара әрекеттесуін жақсырақ түсіне аламыз.

### **Кеңістік-уақыт метрикасы**

ЖСТ-да гравитацияны сипаттау үшін кеңістік-уақыттың масса мен энергияның әсерінен қалай қисық болатынын анықтайтын кеңістік-уақыт метрикасының тұжырымдамасы қолданылады. Метрика  $g_{\mu\nu}$  символымен белгіленеді, мұндағы  $\mu$  және  $\nu$  индексі 0-ден 3-ке дейінгі мәндерді қабылдайды (өйткені бізде төрт өлшем бар: үшеуі кеңістіктік және бір уақыт

бойынша). Сондай-ақ  $g_{\mu\nu}$  метрикасы кеңістік-уақыттың әр нүктеде қалай қисаятыны туралы ақпаратты қамтиды. Жазық кеңістік-уақыт үшін (гравитациялық өріссіз) метрика диагональды матрицаның пішініне ие, онда барлық элементтері -1-ге (уақыт өлшемі үшін) және 1-ге (кеңістік өлшемдері үшін) тең болады:

$$g_{\mu\nu} = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

### Эйнштейн теңдеулері

ЖСТ Эйнштейн теңдеулеріне негізделген, олар  $g_{\mu\nu}$  метрикасын масса мен энергияның кеңістік-уақытта таралуымен байланыстырады. Эйнштейн теңдеулері былай жазылады:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu} \quad (2)$$

Мұндағы:

$G_{\mu\nu}$  – метрикаға және оның туындыларына тәуелді Эйнштейн тензоры;

$T_{\mu\nu}$  – масса мен энергияның кеңістік-уақыттағы таралуын сипаттайтын энергия-импульстік тензоры. Эйнштейн теңдеулері масса мен энергияның кеңістік-уақытты қалай қисайтатынын және қисайған кеңістік-уақыттың гравитация әсерінен заттардың қозғалысына қалай әсер ететінін сипаттайды.

### БІРІНШІ ЖУЫҚТАУ РЕТІНДЕ КЕҢЕЙТІЛГЕН МЕТРИКА

Енді «бірінші жуықтау ретінде кеңейтілген метрика» тұжырымдамасына көшейік. Бұл  $g_{\mu\nu}$  метриканы гравитациялық өрістер әлсіз болған жағдайларда жуықтау үшін пайдаланылады. Бірінші жуықтау ретінде біз гравитациялық әсерлер аз және сызықтық жуықтаулар арқылы сипатталуы мүмкін деп есептейміз. Сондай-ақ кеңейтілген  $g_{\mu\nu}$  метриканы бірінші жуықтауда «фондық метриканың» (гравитациясыз жазық кеңістік-уақытты сипаттайтын) және гравитацияға байланысты түзетулердің қосындысы ретінде жаза аламыз:

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu} \quad (3)$$

Мұндағы:

$\eta_{\mu\nu}$  – жазық кеңістік-уақытты сипаттайтын фондық метрика болып табылады;  $h_{\mu\nu}$  – гравитациялық қисықтықтарды сипаттайтын түзету (метрикалық бұзылу тензоры).

Енді  $\eta_{\mu\nu}$  үшін бірінші жуықтау теңдеулерін алу үшін (2) Эйнштейн теңдеулерін пайдалана аламыз және мұндағы  $G_{\mu\nu}$  –ны кеңейтілген  $g_{\mu\nu}$  метрикасынан табуға болады, ал  $T_{\mu\nu}$  болса берілген жүйедегі масса және энергияны сипаттайтынын еске ала кетейік.

Бірінші жуықтау ретінде кеңейтілген метриканың маңызды аспектісі гравитациялық толқындар болып табылады. Егер Эйнштейн теңдеулеріндегі сызықтық жуықтауларды қарастырсақ, олар гравитациялық толқындардың кеңістікте таралуын сипаттайтынын көреміз. Бұл толқындар жарық жылдамдығымен таралатын және заттардың қозғалысына әсер ететін метрикадағы кішкентай ауытқулар болып табылады. ЖСТ механикасындағы кеңейтілген бірінші жуықтау метрикасы әлсіз жағдайларда гравитациялық өрістерді талдаудың қуатты құралы болып табылады. Ол сызықтық әдістерді қолдана отырып, гравитациялық толқындар сияқты гравитациялық әсерлерді жуықтап, талдауға мүмкіндік береді. Бұл қазіргі физикадағы іргелі ұғым және тартылыс күші мен кеңістік уақыт құрылымын түсінуімізде маңызды рөл атқарады.

### Эйнштейн тензоры

$G_{\mu\nu}$  Эйнштейн тензоры  $g_{\mu\nu}$  метрикасынан және оның туындыларынан есептеледі. Ол кеңістік-уақыттың қисаюын сипаттайды және келесі түрге ие:

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} \quad (4)$$

Мұндағы:

$R_{\mu\nu}$  – метриканың екінші туындыларына тәуелді Риччи тензоры;  $R$  – метрикадан есептелген скалярлық қисықтық болып табылады.

### Энергия-импульстік тензоры

$T_{\mu\nu}$  – энергия-импульс тензоры масса мен энергияның кеңістік-уақыттағы таралуын сипаттайды. Ол келесідей түрде берілген:

$$T_{\mu\nu} = (\rho + P)c^2u_\mu u_\nu + Pg_{\mu\nu} \quad (5)$$

мұндағы:

$\rho$  – энергияның тығыздығы;  $P$  – қысым;  $c$  – жарық жылдамдығы;  $u_\mu$  кеңістік-уақыттың берілген нүктесіндегі бөлшектердің төртөлшемді жылдамдығы (жылдамдық векторы).

### Бос кеңістіктегі Эйнштейн теңдеулері

Масса және энергия болмаған жағдайда, яғни  $T_{\mu\nu} = 0$ , Эйнштейн теңдеулері келесі формада болады:

$$G_{\mu\nu} = 0 \quad (6)$$

Бұл теңдеулер масса мен энергия болмаған кездегі кеңістік-уақыттың қисаюын сипаттайды.

### Гравитациялық қызыл ығысуды дәлелдеу

Эйнштейннің тартылыс теориясының тәжірибелік дәлелдерінің бірі **гравитациялық қызыл ығысу** болып табылады. Жарық гравитациялық өрістен ауытқығанда оның жиілігі мен толқын ұзындығы өзгеріске ұшырайды. Бұл эффектіні Эйнштейн теңдеулері арқылы көрсетуге болады. Айталық, гравитациялық өрісте қозғалатын бөлшек үшін энергия мен импульс келесідей өзгереді десек:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}} \quad (7)$$

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}} \quad (8)$$

мұндағы:

$E$  – бөлшектің энергиясы;  $m$  – бөлшектің массасы;  $v$  - бөлшектердің жылдамдығы;  $G$  – ауырлық тұрақтысы;  $M$  - гравитациялық объектінің массасы;  $r$  – гравитациялық объектінің центрінен қашықтығы. Бұл теңдеулерден бөлшек шығаратын жарықтың жиілігі мына формулаға сәйкес өзгередіні шығады:

$$f' = \frac{f}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}} \quad (9)$$

Жиіліктегі бұл өзгеріс гравитациялық қызыл ығысуға сәйкес келеді және тәжірибелерде сәтті сыналған.

#### Қолданылған әдебиет

1. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. М.: Физматгиз, 1961. 564 с.
2. Фок В.А. Квантовая физика и философские проблемы // Физическая наука и философия. М.: Наука, 1973. С. 55-77.
3. Владимиров Ю.С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Ч. 1. Теория систем отношений. М.: Изд-во МГУ, 1996. 264 с.
4. Владимиров Ю.С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Ч. 2. Теория физических взаимодействий. М.: Изд-во МГУ, 1998. 448 с.