



CosmoVerse Արկածներ

Երկրաչափական
ձգողականություն



Դասարանում

Ներածություն: Նյուտոնի ձգողականությունը



Ուսուցիչ :

(Խնձորը կծելով) Բարի՛ լույս, երիտասարդ հետազոտողներ: Պատրաստ եք մեկ այլ Կոսմոսերս արկածի:



Աշակերտ 1 :

Միշտ պատրաստ, պարոն: Ո՞րն է այսօրվա թեման:



Ուսուցիչ :

Թո՛ւյլ տվեք ձեզ հուշել: Այսօրվա թեման առաջին անգամ ներկայացրել է մի գիտնական, որը ոգեշնչվել էր՝ նայելով ընկնող խնձորներին: Ձեզանից որևէ մեկը կարո՞ղ է գուշակել, թե ով է այդ գիտնականը և ինչ է նա հայտնաբերել:



Աշակերտ 2 :

Խոսքը պարոն Իսահակ Նյուտոնի մասին է: Նա հայտնաբերել է ձգողականությունը (գրավիտացիան՝ լատ. gravitas ծանրություն):



Ուսուցիչ :

Գերազանց է, դուք ճիշտ եք: Այսօր մենք խոսելու ենք գրավիտացիայի մասին: Սակայն մինչ այդ դիտենք այս տեսանյութը:

(Ուսուցիչը տեսանյութ է ցուցադրում, որտեղ պատկերված է, թե ինչպես են բոուլինգի գնդակն ու մեծ փետուրն ընկնում վակուումային (անօդ) սենյակում):



Ուսուցիչ :

Մինչ կդիտենք տեսանյութը, կարո՞ղ եք գուշակել, թե ինչն է առաջինն ընկնելու:



Աշակերտ 3 :

Տրամաբանական կլինի, եթե բոուլինգի գնդակն առաջինն ընկնի, քանի որ այն ավելի ծանր է:



Ուսուցիչ :

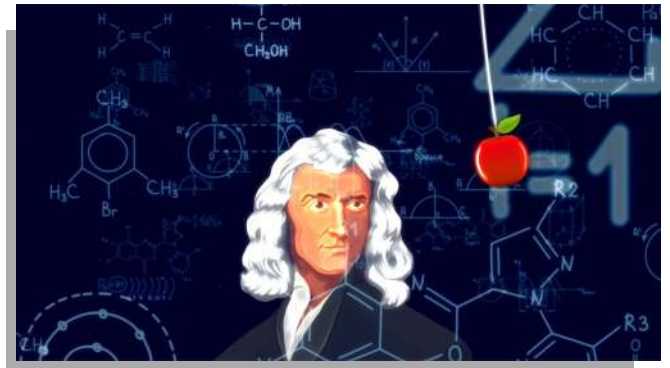
Եկեք դիտենք և ուսումնասիրենք:

(Աշակերտները զարմացած դիտում են, թե ինչպես են փետուրը և բոուլինգի գնդակը միաժամանակ ընկնում):

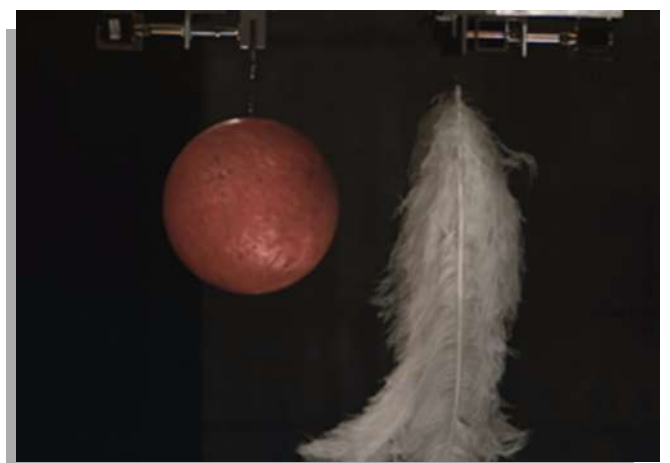


Աշակերտ 3 :

Վա՛յ, նրանք ընկան ճիշտ նույն պահին:



Նկար 1: Պարոն Իսահակ Նյուտոն: Պատկերը՝ klonusk-ից:



Տեսանյութ 1. Հատված է է BBC-ի «Մարդկային տիեզերք» վավերագրական ֆիլմից:

Ուսուցիչ :

Ճիշտ է: Վակուումում օդի դիմադրություն չկա: Բայց հարց է՝ ինչո՞ւ են փետուրն ու բոուլինգի գնդակը վայր ընկնում: Նյութոնը կասեր, որ կա մի ուժ, որը քաշում է դրանց ներքև, և դա...

Աշակերտ 2 :

Ձգողականությունն է:

Ուսուցիչ :

Ճիշտ է: Նյութոնը բացատրեց, որ որոշակի զանգվածով մարմին ձգում է մեկ այլ զանգված ունեցող մարմնի որոշակի ուժով: Այդ ուժի մեծությունը տատանվում է՝ կախված առարկաների զանգվածից և նրանց միջև եղած հեռավորությունից: Ամեն ինչ տեղի է ունենում այնպես, ինչպես մեկնաբանում էր Նյութոնը. Երկիրը պտտվում է Արեգակի շուրջը, Լուսինը պտտվում է Երկրի շուրջը, այսինքն՝ տիեզերքում ամեն ինչ գործում է Նյութոնի ձգողականության օրենքի համաձայն: (Տես՝ նկար 2):

Աշակերտ 3 :

Բայց Արեգակի և Երկրի միջև հեռավորությունը մոտ 150 միլիոն կիլոմետր է, արդյո՞ք ուժը բավարար կլինի նման հեռավորության համար:

Ուսուցիչ :

Փայլուն հարց է, և սա հենց այն հարցն է, որի պատասխանը փորձում էին գիտնականները գտնել. ինչպե՞ս է այս ձգողական ուժը գործում այնպիսի հսկայական հեռավորությունների վրա, ինչպիսին Երկրի և Արևի միջև հեռավորությունն է: Մի երիտասարդ գործավար՝ Ալբերտ Էյնշտեյն անունով, որն աշխատում էր շվեյցարական արտոնագրային գրասենյակում, ոգեշնչված պարզ դիտարկումից՝ հեղափոխեց ձգողականության մասին պատկերացումները :

Աշակերտ 1 :

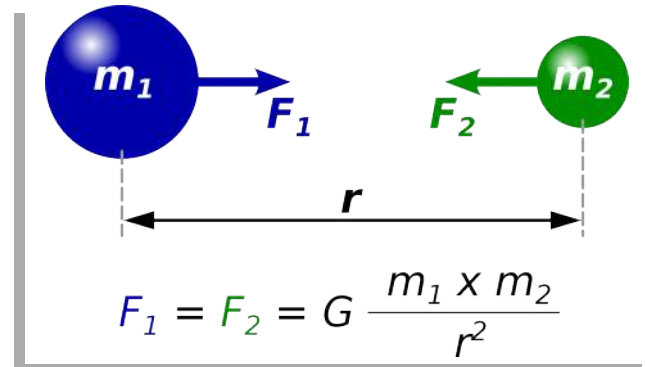
Դա ևս մեկ ընկնող խնձո՞ր էր:

Ուսուցիչ :

(Ծիծաղում է) Ոչ այնքան: Նա դիտում էր շենքի պատուհանները մաքրող մի մարդու և մտածում էր, թե ինչ կլինի, եթե այդ մարդն ընկնի: Գուցե մեզ տարօրինակ թվա այս միտքը, սակայն Էյնշտեյնի կողմից դա բնութագրվում է որպես «իմ կյանքի ամենաերջանիկ միտքը»: Այս միտքը հանգեցրեց ֆիզիկայում ամենաբեկումնայինը դարձած Էյնշտեյնի գաղափարներից մեկին:

Աշակերտ 4 :

Ընկնո՞ղ մարդ: Դա երջանիկ ավարտ չէր ունենա:



Նկար 2. Այս գծապատկերը նկարագրում է Նյութոնի համընդհանուր ձգողության օրենքի մեխանիզմը: Ուժը համեմատական է երկու զանգվածների արտադրյալին և հակադարձ համեմատական՝ կետային զանգվածների միջև հեռավորության (r) քառակուսուն: Պատկերը՝ Քրիս Հարդիից:



Gravity - ձգողականություն

Gravity is not force - ձգողականությունը ուժ չէ

Նկար 3. Էյնշտեյնի ձգողականության տեսությունն ընդդեմ Նյութոնի գրավիտացիայի տեսության: Պատկերը՝ klonusk-ից:

Ուսուցիչ :

Ճիշտ է, բայց էյնշտեյնը այլ պատկերացումներ ուներ այդ հարցում: Հարվածի վրա կենտրոնանալու փոխարեն՝ նա պատկերացնում էր, թե ինչ կզգար պատուհան լվացողն ընկնելու ընթացքում: Հիմա մի պահ ձեզ դրե՛ք այդ պատուհան լվացողի տեղը: Ի՞նչ եք կարծում, ի՞նչ կզգայիք ընկնելիս:

Աշակերտ 2 :

Վա՞խ, քանու սուլո՞ց: Եվ միգուցե գրավիտացիան (ձգողականությունը) ինձ ցած կքաշեր:

Ուսուցիչ :

Քանի որ դու ընկնում ես, ձգողականությունը կլինի քեզ վրա ազդող միակ ուժը: Ոտքերիդ վրա հատակի հակազդեցություն չկա, չկա մի աթոռ, որը քեզ պահում է, դու ծանրություն չես զգա: Առանց քանու դիմադրության դու ազատ անկման մեջ կլինես:

Աշակերտ 3 :

Օ՛, ինչպես բոուլինգի գնդակն ու փետուրը տեսանյութից: Նրանք երկուսն էլ ազատ անկման մեջ են, չէ՞:

Ուսուցիչ :

Ճիշտ այդպես: Ազատ անկման ժամանակ ամեն ինչ անկշիռ է: Էյնշտեյնը հասկացավ, որ շենքից ընկնելու զգացողությունը չի տարբերվի տարածության մեջ լողալու զգացողությունից: Բայց սա լիովին ըմբռնելու համար մենք պետք է դուրս գանք մեր դասարանից:

Աշակերտ 1 :

Մենք գնում ենք մեկ ա՞յլ արկածի Քվարկի հետ:

Ուսուցիչ :

Ճիշտ է: Եկե՛ք հրավիրենք մեր տիեզերական ընկերոջը՝ Քվարկին, որպեսզի մեզ ուղեկցի դեպի Երևակայության տիեզերանավ, և ուսումնասիրենք այս հետաքրքրաշարժ հայեցակարգը:



Նկար 4. Անկման վիճակում գտնվող մարդու մասին Էյնշտեյնի ամենաերջանիկ մտային փորձը, որը նրան առաջնորդեց դեպի հարաբերականության ընդհանուր տեսություն: Պատկերը՝ klonusk-ից:



Երևակայության տիեզերանավ

Ճգողականության ընկալումը



Քվարկ :

Բարի՛ գալուստ, երիտասարդ հետազոտողներ: Պատրա՞ստ եք նոր տիեզերական արկածների:



Աշակերտ 1 :

Մի՛շտ պատրաստ: Ի՞նչ է այսօրվ ծրագրում նախատեսված, Քվարկ:



Քվարկ :

Այսօր մենք կզգանք ձգողականությունն այնպես, ինչպես դուք երբևէ չեք զգացել: Կապե՛ք ամրագոտիները:

(Աշակերտները հապճեպ գտնում են իրենց տեղերը, և տիեզերանավը սկսում է բարձրանալ: Երբ նրանք հասնում են տիեզերք, աշակերտները սկսում են լողալ տիեզերանավի ներսում):



Աշակերտ 2 :

Սա անհավանական է: Կարծես լողում ենք առանց ջրի:



Քվարկ :

Դա պայմանավորված է նրանով, որ մեր տիեզերանավը շարժվում է հաստատուն արագությամբ, հետևաբար դուք ուժ և քաշ չեք զգում: Հիշո՞ւմ եք Նյուտոնի շարժման առաջին օրենքը:



Աշակերտ 3 :

Այո՛: Մարմինը, որը գտնվում է հանգստի վիճակում կամ շարժվում է ուղիղ գծով հաստատուն արագությամբ, կմնա հանգստի վիճակում կամ կշարունակի շարժվել ուղիղ գծով հաստատուն արագությամբ, եթե դրա վրա որևէ ուժ չի ազդել:



Քվարկ :

Ճի՛շտ է: Հենց հիմա դուք իներցիալ դիտորդի կատարյալ օրինակ եք: Այստեղ բոլոր առարկաները անշարժ են ձեզ համար: Ձեր շարժումը չի արագանում, ձգողականության դաշտում չեք գտնվում, և ֆիզիկայի բոլոր օրենքները գործում են սպասվածի պես:



Աշակերտ 4 :

Այսպիսով, սա նշանակում է, որ չկա փորձ,որի միջոցով հնարավոր է տարբերել, մեր սկզբնական հաշվարկի համակարգը որևէ այլ համակարգից:



Inertial observer - Իներցիոն դիտորդ
No acceleration - Չկա արագացում
No gravitational force - Չկա ձգողական ուժ
Laws of physics apply - Կիրառվում են ֆիզիկայի օրենքները
Նկար 5. Իներցիոն դիտորդը այն դիտորդն է, որը չի արագանում իներցիոն համակարգի նկատմամբ: Պատկերը՝ Veritasium-ից:

Քվարկ :

Ճիշտ է: Հիմա մի պահ փակեմ պատուհանները:
(Տիեզերանավը սկսեց ընկնել դեպի Երկիր)

Քվարկ :

Հիմա տարբերություն զգո՞ւմ եք:

Աշակերտ 4 :

Ես նույն զգացողությունն ունեմ . կարծես լողում եմ:

Քվարկ :

Հետաքրքիր է, այնպես չէ՞: Բայց թույլ տվեք բացել պատուհանները:

Աշակերտ 1 :

Մենք ուղիղ դեպի Երկիր ենք գնում: Բայց ինչո՞ւ ես դա չեմ զգում:

Քվարկ :

Մենք ազատ անկման վիճակում ենք: Տիեզերանավը և մենք էլ նրա մեջ նույն արագությամբ իջնում ենք: Մեր դեմ ոչ մի ուժ չի գործում, հետևաբար ոչ մի զգացողություն չունենք:

Աշակերտ 4 :

Ա՛հ, ճիշտ այնպես, ինչպես պատուհան լվացողը՝ Էյնշտեյնի մտային փորձի ժամանակ:

Քվարկ :

Ճշմարիտ է: Զգացողությունը նույնն է՝ անկախ նրանից, թե դուք լողում եք խոր տարածության մեջ, թե անկում եք ապրում դեպի Երկիր: Այդ ամենը հարաբերական է:

Աշակերտ 2 :

Դա իսկապես տեսանկյունի և հաշվարկի համակարգերի մասին է:

Քվարկ :

Հիմա եկե՛ք սրան ևս մեկ շերտ ավելացնենք:

(Քվարկը կրկին փակում է պատուհանները և միացնում տիեզերանավի շարժիչը և սկսում արագանալ դեպի վեր $9,8 \text{ մ/վ}^2$ արագությամբ)

Աշակերտ 3 :

Օ՛հ: Ես ծանրություն եմ զգում, կարծես ինձ հրում են հատակին: Մենք վայրէջք ենք կատարել Երկրի վրա:



Նկար 6. Ազատ անկում Երկրի վրա = Ազատ տեղաշարժ տիեզերքում: Երկրի վրա ձգողականություն = $9,8 \text{ մ/վ}^2$ արագացում տիեզերքում, այսինքն՝ արագացումը առաջացնում է ձգողականություն: Պատկերը՝ klonusk-ից:

Քվարկ :

Ո՛հ: Այժմ մենք արագանում ենք դեպի վեր $9,8 \text{ մ/վ}^2$ արագացմամբ, որը կազմում է $1G$. դա Երկրի գրավիտացիոն ուժն է:

Աշակերտ 2 :

Օ՛հ, այդ պատճառով է, որ թվում է, թե մենք Երկրի վրա ենք: Բայց ես դարձյալ չեմ կարողանում զգալ տարբերությունը:

Քվարկ :

Հենց այդպես մենք իմացանք, որ ազատ անկումը Երկրի վրա = ազատ տեղաշարժ տիեզերքում և Երկրի վրա ձգողականություն = $9,8 \text{ մ/վ}^2$ արագացում տիեզերքում: Հենց սա էլ կոչվում է Էյնշտեյնի համարժեքության սկզբունք: Եկե՛ք անջատենք շարժիչը, որպեսզի կարողանանք նորից լողալ: Հիմա ես այս գնդակը կհրեմ դեպի կենտրոն և կդիտարկեմ նրա ուղին:

Աշակերտ 2 :

Այն շարժվում է ուղիղ գծով:

Քվարկ :

Հիմա միացնենք մեր շարժիչը և արագացնենք դեպի վեր մինչև $9,8 \text{ մ/վ}^2$ և նորից նետենք գնդակը:

Աշակերտ 4 :

Այժմ գնդակն իջնում է կոր հետագծով և բախվում հատակին՝ իրեն պահելով այնպես, ինչպես Երկրի վրա:

Քվարկ :

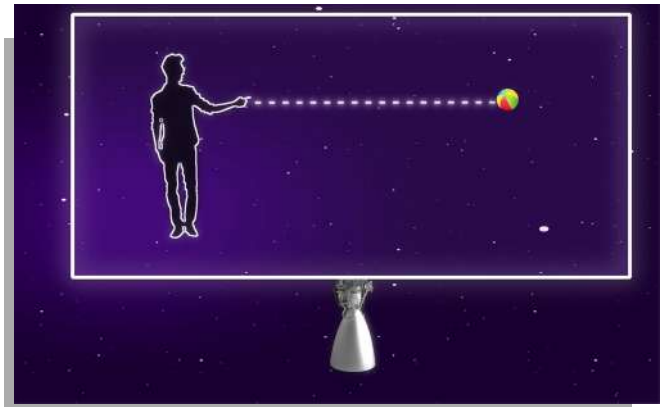
Ճիշտ է, բայց ի՞նչ կլինեք, եթե այս գնդակը լույսի ճառագայթ լինեք: Արդյո՞ք լույսը կձկվի: Էյնշտեյնն այս հարցին պատասխանեց՝ այո:

Աշակերտ 2 :

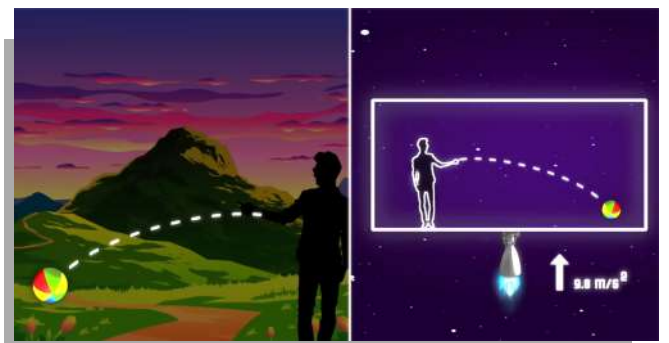
Բայց լույսը միշտ անցնում է ամենակարճ ճանապարհը Երկու կետերի միջև, այնպես չէ՞:

Քվարկ :

Ճիշտ է: Էյնշտեյնը ենթադրեց, որ ամենակարճ ճանապարհը միշտ չէ, որ ուղիղ գիծ է: Մտածե՛ք Երկրի մակերեսի մասին: Երկրի մակերեսի կորության պատճառով Երկու կետերի միջև ամենակարճ հեռավորությունը կոր է, ոչ թե ուղիղ գիծ:



Նկար 7. Ազատ անկման ժամանակ եթե գնդակ նետեք, այն ուղիղ գծով կգնա: Պատկերը՝ klonusk-ին:



Նկար 8. Գնդակի նետում $9,8 \text{ մ/վ}^2$ արագացումով շարժվող տիեզերանավում = Գնդակի նետում Երկրի վրա: Պատկերը՝ klonusk-ից:

Աշակերտ 1 :

Ինչպես թռիչքուղիները Երկրի վրա:

Քվարկ :

Այո՛: Այս ուղիները հայտնի են որպես գեոդեզիականներ: Մեկ այլ օրինակ: Պատկերացրե՛ք՝ Երկրի մի տեղից ուղիղ գնում ենք Հյուսիսային բևեռ: Մեր տեսանկյունից մենք շարժվում ենք ուղիղ գծով, բայց արտաքին դիտորդը տեսնում է մեզ շարժվելիս կոր ճանապարհով:

Աշակերտ 4 :

Այսինքն՝ էյնշտեյնի միտքն այն էր, որ զանգվածի և էներգիայի առկայությունն ինչ-որ կերպ հանգեցնում է տարածության կորությամբ:

Քվարկ :

Այո՛, հենց այդպես: Նա զարգացրեց հարաբերականության ընդհանուր տեսությունը (1915 թվական)՝ բեկում մտցնելով ֆիզիկայի պատմության մեջ:

Աշակերտ 1 :

Այո՛, բայց նույնիսկ եթե տարածությունը կորանում է, մենք չենք կարող տեսնել այն միայն $9,8 \text{ մ/վ}^2$ արագացման դեպքում:

Քվարկ :

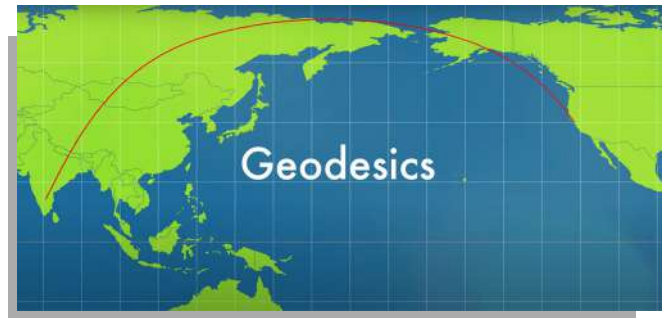
Ճիշտ է, ուստի եկե՛ք մեծացնենք մեր արագացումը, որպեսզի կարողանանք դիտարկել լույսի ճկումը:

Աշակերտ 3 :

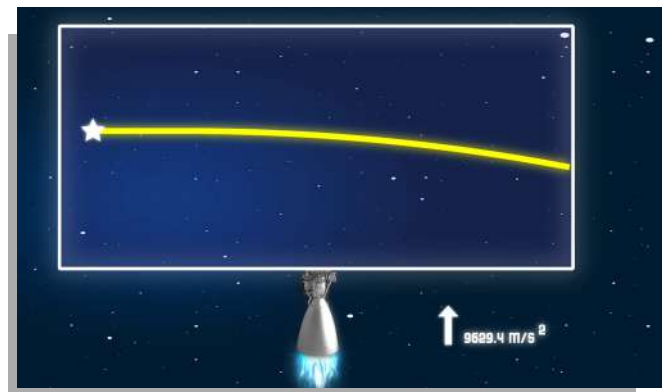
Օ՛, էյնշտեյնը ճիշտ էր: Բայց ինչպե՞ս դա ապացուցվեց նրա ժամանակ:

Քվարկ :

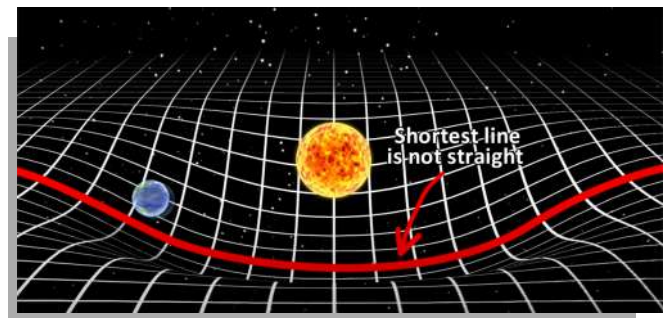
Շատ հետաքրքիր հարց է: Դա հնարավորինս լավ հասկանալու համար եկեք հանդիպենք տեսության ետևում կանգնած հանճարին: Մենք գնում ենք հանդիպման պրոֆեսոր Ալբերտ էյնշտեյնի հետ:



Նկար 9. Գեոդեզիականները կարելի է պատկերացնել որպես «ամենաուղիղ հնարավոր» ուղիները տվյալ տարածության մեջ: Երկիրը կլոր է, ուստի ամենակարճ ճանապարհը Երկրի մակերևույթի վրայով կոր է: Ինքնաթիռները թռչում են հենց այս ուղիներով, որպեսզի նվազագույնի հասցնեն թռիչքի հեռավորությունը: Պատկերը՝ Veritasium-ից:



Նկար 10. Որքան մեծ է գրավիտացիոն արագացումը, այնքան ավելի ուժեղ է տարածաժամանակի կորությունը դրա շուրջ: Դա հանգեցնում է լույսի ավելի ընդգծված ճկման: Պատկերը՝ klonusk-ից



Shortest line is not straight - Ամենակարճ գիծը ուղիղ չէ
Նկար 11. Զանգվածային օբյեկտների շուրջ տարածաժամանակի կորության պատկերում, որտեղ կարմիր գիծը ներկայացնում է գեոդեզիական ուղին, ցույց է տալիս, որ երկու կետերի միջև ամենակարճ հեռավորությունը ոչ թե ուղիղ գիծ է, այլ ձգողականության ուժով ձևավորված կոր: Պատկերը՝ Արվին Էշին:



Հանդիպում գիտնականի հետ

Հարաբերականության ընդհանուր և հատուկ տեսություններ



Քվարկ :

Սիրելի՛ աշակերտներ, ահա մի գիտնական, որը փոխեց մեր պատկերացումները տիեզերքի մասին՝ լեգենդար Ալբերտ էյնշտեյնը:



Էյնշտեյն :

Guten Tag (գերմաներեն՝ բարի՛ օր), երիտասարդ հետազոտողներ: Ուրախ եմ՝ ներկայացնելու ձեզ տիեզերական հետաքրքիր դրվագներ:



Աշակերտ 1 :

Դա մեծ պատիվ է, պարո՛ն: Քվարկը մեզ պատմեց հարաբերականության վերաբերյալ ձեր բեկումնային աշխատանքի և այն մասին, թե ինչպես է տարածությունն ինքնին կորանում: Բայց մեզ հետաքրքիր է՝ ինչպե՞ս է նման արմատական գաղափարն ապացուցվել ձեր ժամանակներում:



Էյնշտեյն :

Ի՛նչ հետաքրքրասեր միտք: Որպեսզի իմ տեսությունն ընդունվեր, այն պետք է ունենար ստուգելի կանխատեսում: Իսկ ստուգման բանալին գտնվում էր Մերկուրիի հատուկ ուղեծրում:



Աշակերտ 2 :

Օ՛ր: Սա այն մոլորակը չէ՞, որը փակ էլիպսով չի պտտվում Արեգակի շուրջը:



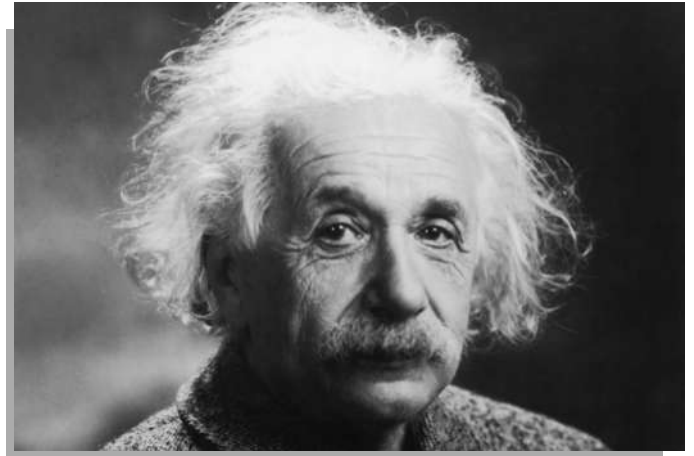
Էյնշտեյն :

Այո՛: Մերկուրիի ուղեծիրն ունի պրեցեսիա, այսինքն՝ նրա էլիպսաձև ուղեծիրը երբեք կատարյալ կերպով չի փակվում: Փոխարենը նրա ուղեծրի ամենահեռավոր կետը Արեգակից փոքր-ինչ առաջ է շարժվում յուրաքանչյուր պտույտի հետ: Այս անկանոնությունը չփոթեցրել էր գիտնականներին, քանի որ Նյուտոնի հավասարումները չկարողացան բացատրել այն: Բայց երբ ես կիրառեցի կոր տարածության իմ տեսությունը, այն ճշգրիտ կանխատեսեց Մերկուրիի դիտված պրեցեսիան:

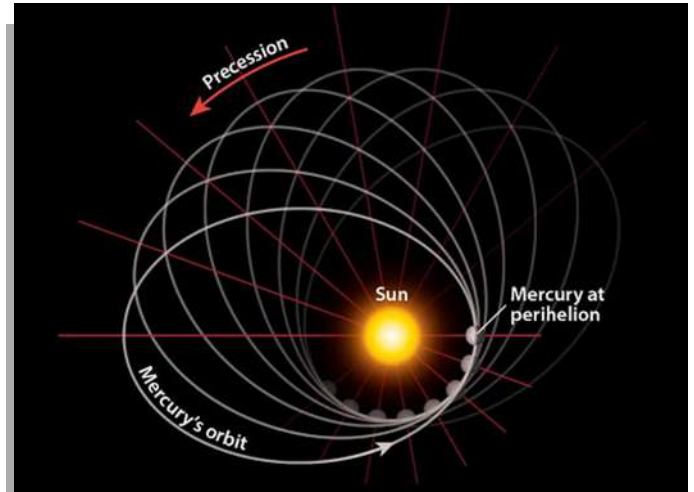


Student 3 :

Դա Ձեզ համար պետք է նման լիներ մի պահի, երբ արժեք բացականչել «Էվրիկա»:



Նկար 12. Ալբերտ էյնշտեյն: Պատկերը՝ Կոնգրեսի գրադարանից:



Precession - Պրեցեսիա

Mercury's orbit - Մերկուրիի ուղեծիր

Sun - Արև

Mercury at perihelion - Մերկուրին պերիհելիումում

Նկար 13. Մերկուրիի ուղեծրի փոփոխության նկար: Սա Ալբերտ էյնշտեյնի 1915 թվականի Հարաբերականության ընդհանուր տեսության առաջին հաղթանակն էր:



Էյնշտեյն :

Իսկապես: Պատկերացրե՛ք, այդ ժամանակ ես միակն էի, որը հասկացավ այս տիեզերական պարը: Բայց չնայած Մերկուրին հաղթանակ էր, իմ գործընկերներից շատերը թերահավատ էին:



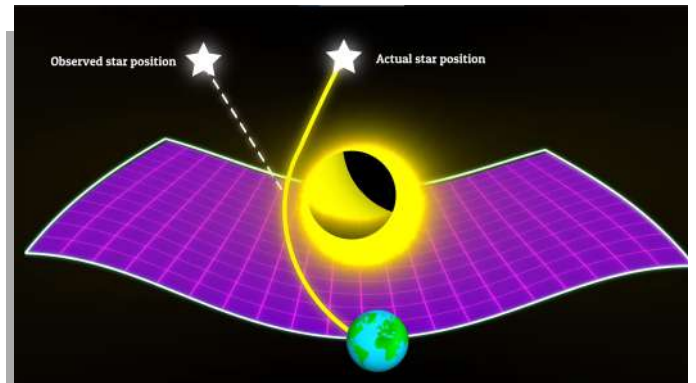
Աշակերտ 1 :

Իսկ ինչպե՞ս համոզեցիք նրանց:



Էյնշտեյն :

Ամենավճռական ապացույցը եղավ 1919 թվականի արևի խավարման ժամանակ՝ իմ տեսությունը հրապարակելուց մոտ չորս տարի անց: Անգլիացի աստղագետ Արթուր Էդինգթոնը ղեկավարում էր մի խումբ, որը լուսանկարել էր Արեգակի մոտ գտնվող աստղերն այդ խավարման ժամանակ: Իմ տեսությունը կանխատեսում էր, որ աստղից եկող լույսը, որն անցնում էր Արեգակի մոտով, կճկվի Արեգակի ձգողության հետևանքով առաջացած տարածության կորության պատճառով:



Observed star position - Աստղի դիտարկվող դիրքը

Actual star position - Աստղի իրական դիրքը

Նկար 14. Գրավիտացիոն ուսպնյակի ցուցադրում, որտեղ աստղի լույսը թեքվում է արևի ձգողականության շնորհիվ: Դրա հետևանքով աստղը հայտնվում է երկնքում այլ դիրքում, ինչպես դիտվում է Երկրից: Էֆեկտը ցույց է տալիս ընդհանուր հարաբերականության կողմից կանխատեսված տարածաժամանակի կորությունը: Պատկերը՝ klonusk-ից:



Քվարկ :

Եվ եթե Էյնշտեյնը ճիշտ լիներ, ապա այս աստղերի դիտված դիրքը կտարբերվեր նրանց այն դիրքերից, որը կդիտվեր, եթե չլիներ Արեգակի ազդեցությունը:



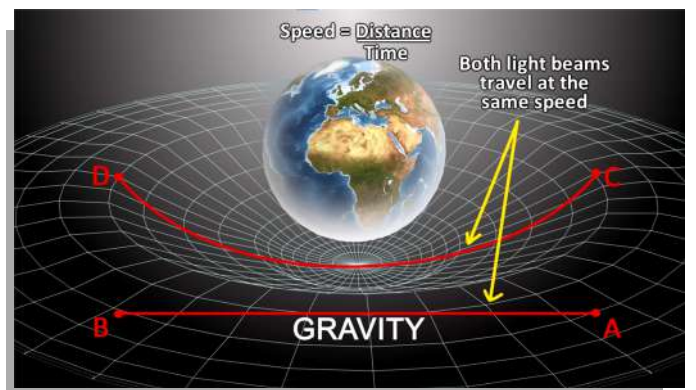
Էյնշտեյն :

Ճիշտ ես, Քվարկ: Երբ Էդինգթոնի թիմը վերլուծեց լուսանկարները, աստղային լույսը թեքվել էր ճիշտ այնպես, ինչպես ես կանխատեսել էի: Այս փորձը իմ տեսության հիմնավոր հաստատումն էր, և այն ընդմիշտ փոխեց ֆիզիկայի ընթացքը:



Աշակերտ 1 :

Ես հասկանում եմ տարածական կորությունը, բայց մենք հաճախ գործածում ենք «տարածաժամանակ» տերմինը, ոչ միայն տարածությունը: Ինչպե՞ս է ժամանակը մտնում այս պատկերի մեջ:



Speed - Արագություն

Distance - Հեռավորություն

Time - Ժամանակ

Both light beams travel at the same speed - Երկու լույսի ճառագայթներն էլ շարժվում են նույն արագությամբ

Gravity - Ձգողականություն

Նկար 15. Քանի որ լույսի անցած DC հեռավորությունը, որը գտնվում է գրավիտացիայի ազդեցության տակ, ավելի մեծ է, քան լույսի BA-ն, որը չի գտնվում այդ ազդեցության տակ: Լույսի արագությունը հաստատուն պահելու համար ժամանակը պետք է ավելի դանդաղ անցնի գրավիտացիոն դաշտում, քան դատարկ տարածության մեջ: Պատկերը՝ Արվին Էյնշտեյնի:



Էյնշտեյն :

Գերազանց հարց: Դրան պատասխանելու համար մենք պետք է մի փոքր հետ գնանք և

հարցի պատասխանը գտնենք իմ առաջին՝ հարաբերականության հատուկ տեսության մեջ, որը հրապարակվեց 1905 թվականին: Այս տեսությունը ենթադրում է, որ լույսի արագությունը մնում է հաստատուն՝ անկախ դիտորդի տեսանկյունից կամ հաշվարկի համակարգից: Այսպիսով, անկախ նրանից՝ դուք արագանում եք, թե գտնվում հանգստի վիճակում, լույսը միշտ շարժվելու է նույն արագությամբ:

Աշակերտ 3 :

Բայց, պրոֆեսոր էյնշտեյն, ինչպե՞ս է դա կապվում գրավիտացիայի և ժամանակի հետ:

Էյնշտեյն :

Եկե՛ք դիտարկում անենք. արագությունը հավասար է հեռավորության ու ժամանակի հարաբերությանը, որը ներկայացված է որպես $S = D/T$: Այժմ գրավիտացիոն դաշտի առկայության դեպքում լույսի ուղին ավելի երկար է դառնում տիեզերքի կորության պատճառով: Եթե մենք ուզում ենք, որ լույսի արագությունը մնա անփոփոխ, ինչ-որ բան պետք է փոխվի, իսկ փոխել հարկավոր է ժամանակը: Ժամանակն ավելի դանդաղ է անցնում գրավիտացիոն դաշտում, քան դատարկ տարածության մեջ:

Աշակերտ 1 :

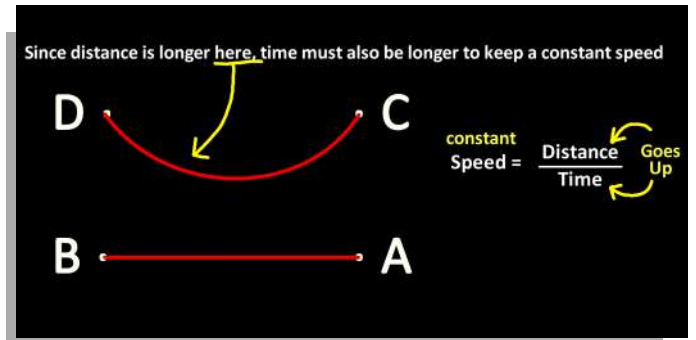
Այսպիսով, դուք ասում եք, որ ժամանակը ձկկո՞ւմ է ձգողականության հետևանքով ճիշտ այնպես, ինչպես տարածությունը:

Էյնշտեյն :

Գրավիտացիոն դաշտի մոտ տարածության կորությունը ազդում է ժամանակի վրա՝ ապահովելով լույսի արագությունը հաստատուն երկու միջավայրերում: Այս երկու երևույթների միահյուսումն էլ մենք անվանում ենք տարածաժամանակ:

Քվարկ :

Ավելի պատկերավոր դարձնելու համար նշենք, որ Երկրի վրա ժամացույցները մի փոքր ավելի դանդաղ են աշխատում, քան Միջազգային տիեզերակայանում: Մենք ստուգել ենք այս ազդեցությունը տարբեր փորձերի միջոցով: Դա նույնիսկ կարևոր է GPS արբանյակների ու Երկրի ժամացույցների հետ համաժամացման համար: Առանց այս ճշգրտման ձեր GPS հավելվածները սխալ տեղադիրքեր ցույց կտան:



Since distance is longer here, time must also be longer to keep a constant speed - Քանի որ հեռավորությունն այստեղ ավելի երկար է, ժամանակը նույնպես ավելի երկար պետք է լինի, որպեսզի հաստատուն արագությունը պահպանվի:

Speed - Արագություն

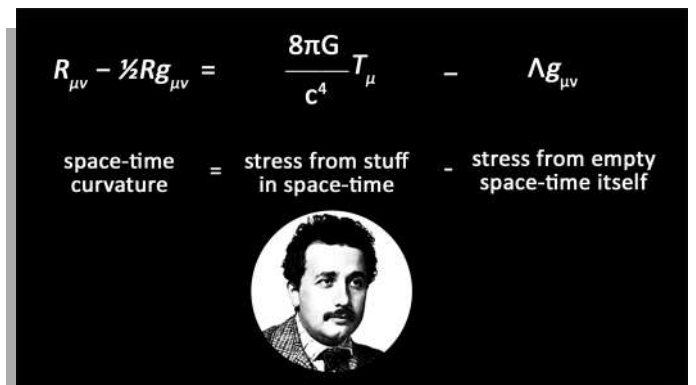
Distance - Հեռավորություն

Time - Ժամանակ

Constant - Հաստատուն

Goes up - Բարձրանում է

Նկար 16. Քանի որ DC-ի միջև հեռավորությունն ավելի երկար է, ժամանակն էլ պետք է ավելի երկար լինի՝ արագությունը հաստատուն պահպանելու համար: Պատկերը՝ Արվին Էյնշտեյն:



Space-time curvature - Տարածաժամանակի կորություն

Stress from stuff in space-time - Լարումը տարածաժամանակում գտնվող նյութից

Stress from empty space-time itself - Լարումը հենց դատարկ տարածաժամանակում

Նկար 17. Էյնշտեյնի ընդհանուր հարաբերականության դաշտի հավասարումները, որոնք նկարագրում են, թե ինչպես են նյութը և էներգիան (լարումը տարածաժամանակում գտնվող նյութից) գունարած տիեզերական հաստատունը (լարումը հենց դատարկ տարածաժամանակում) թելադրում տարածաժամանակի կորությունը: Պատկերը՝ Արվին Էյնշտեյն:

Աշակերտ 4 :

Օ՛, սա ինձ հիշեցնում է «Interstellar» ֆիլմը: Սև խռոչի մոտ մի մոլորակ կար, որտեղ մեկ ժամը մոլորակի վրա հավասարազոր էր յոթ տարվա մոլորակի գրավիտացիոն ազդեցությունից դուրս: Արդյո՞ք դա հիմնված էր ձեր տեսությունների վրա:

Էյնշտեյն :

Ես ֆիլմը չեմ դիտել, բայց թվում է, թե «Interstellar» ֆիլմը ուշագրավ աշխատանք է կատարել՝ ցույց տալով ինտենսիվ գրավիտացիոն դաշտերի պատճառով ժամանակի դանդաղման էֆեկտը:

Քվարկ :

Կարծում եմ՝ մեր տիեզերական ճանապարհորդությունն ավելի շատ առեղծվածներ ունի: Շնորհակալություն, պրոֆեսոր Էյնշտեյն՝ մեզ այսօր լուսաբանելու համար:

Էյնշտեյն :

Ես էլ բավականություն ստացա: Միշտ հարցրե՛ք, միշտ հետաքրքրվե՛ք: Տիեզերքը լի է հանելուկներով, որոնք սպասում են իրենց բացահայտմանը:





Գործնական լաբորատորիա

Դեմո 1: Ազատ անկման մեջ ջրի շիշը



Նպատակը :

Ցույց տալու համար օբյեկտների վրա ազատ անկման ազդեցությունը և հասկանալու էյնշտեյնի տեսությունը, որ ազատ անկման ժամանակ մարմիններն այլևս չեն «զգում» ձգողականությունը նույն կերպ:



Նախապատրաստման ժամանակ : 5 րոպե



Գործնական աշխատանքի ժամանակ : 5 րոպե



Պահանջվող նյութեր :

- Պլաստիկ շիշ ամուր փակվող փականով,
- Քորոց կամ փոքր մեխ՝ շիշ վրա անցքեր անելու համար,
- Ջուր՝ շիշը լցնելու համար,
- Պլաստիկ թերթ (կամ տարա)՝ կաթող ջուրը հավաքելու համար:



Ցուցադրում եվ քննարկում :



Ուսուցիչ :

Լավ, ուսանողներ, եկե՛ք փորձարկենք մեր գիտելիքները: Մենք շատ բան ենք սովորել ազատ անկման և այն մասին, թե ինչպես են մարմինները դրսևորվում գրավիտացիայի ազդեցության տակ: Եկե՛ք տեսնենք էյնշտեյնի տեսությունը գործողության մեջ:

(Նա վեր է պահում ջրով լցված մի շիշ, որի վրա բազմաթիվ անցքեր կան, որտեղից ջուրը դուրս է թափվում:)



Ուսուցիչ :

Ինչպես տեսնում եք, ձգողական ուժը ջուրը դուրս է հանում այս շիշ անցքերից: Սակայն էյնշտեյնի տեսությունը ենթադրում է, որ ազատ անկման ժամանակ մարմիններն այլևս նույն կերպ չեն «զգում» ձգողականությունը:



Student 2 :

Այսպիսով, եթե այն գցեք, ջուրը կդադարի՞ թափվել, քանի որ այն ազատ անկման մեջ է:



Ուսուցիչ :

Ճիշտ է: Պատրաստ եք տեսնել այն: Սկսե՛ք հետհաշվարկ երեքից:



Students :

Երեք, երկու, մեկ...



Նկար 18. Վեր է պահում ջրով լցված շիշը, բազմաթիվ անցքերով, որոնցից ջուրը դուրս է ցողում: Պատկերը՝ www.giftofcuriosity.com-ից

(Նա գցում է շիշը, և ինչպես կանխատեսվում էր, ջուրը դադարում է դուրս թափվել, քանի դեռ շիշը ազատ անկման մեջ է):

 **Աշակերտ 3 :**

Օ՛, ինչ զարմանալի է:

 **Աշակերտ 4 :**

Ստացվում է, որ շի մեջ ջուրը ընկնելու ժամանակ անկշռության վիճակի՞ն էր նման:

 **Teacher :**

Ճիշտ է: Սա է էյնշտեյնի ձգողականության ըմբռնման էությունը:





Գործնական լաբորատորիա

Դեմո 2: Տարածաժամանակային ռետինե թերթիկի ձգողականությունը



Նպատակ :

Պատկերացնել կոր տարածաժամանակի գաղափարը, ինչպես առաջարկվում է էյնշտեյնի հարաբերականության ընդհանուր տեսության մեջ և հասկանալ, թե ինչպես են զանգված ունեցող մարմիններն ազդում իրենց շրջապատող տարածության վրա:



Նախապատրաստման ժամանակ : 10 րոպե



Գործնական աշխատանքի ժամանակ : 15 րոպե



Անհրաժեշտ նյութեր :

- Մեծ, ձգվող ռետինե թերթ կամ սպանդեքս գործվածք,
- Շրջանակ կամ տակդիր՝ թերթիկը ձգելու և ամրացնելու համար (ըստ ցանկության),
- Ծանր գնդակ (օրինակ՝ մետաղական կամ ռետինե գնդակ),
- Ավելի փոքր գնդակներ (օրինակ՝ մարմարե կամ պինգ-պոնգի գնդակներ):



Ցուցադրում եվ քննարկում :



Ուսուցիչ :

Հիմա եկե՛ք հասկանանք Նյուտոնի և էյնշտեյնի ձգողականության տարբերությունը: Նյուտոնը պատկերացնում էր ֆիքսված տարածություն և ժամանակ, որտեղ գրավիտացիան մարմինների միջև գործող խորհրդավոր ուժ էր, նույնիսկ եթե դրանք չէին դիպչում իրար: Այս մոդելում գրավիտացիան գործում էր ֆիքսված տարածության և ժամանակի տիրույթներում՝ առանց դրա վրա ազդելու:



Նկար 19. Կենտրոնական զանգվածի շուրջ փոքր գունդ է մղվում՝ դեպի ուղեծիր: Պատկերը՝ NASA/JPL-Caltech
[| + Ընդլայնել պատկերը](#)



Աշակերտ 2 :

Այո՛, իսկ էյնշտեյնն առաջարկեց, որ գրավիտացիան պարզապես ուժ չէ մարմինների միջև: Այն առաջանում է տարածության և զանգված ունեցող մարմինների փոխազդեցությունից:



Ուսուցիչ :

Գերազանց: Ջոն Ուիլերը հետազայում ամփոփեց այս տեսությունը 18 բառով. «Տարածաժամանակը ցույց է տալիս, նյութին ինչպես շարժվել, նյութն էլ ցույց է տալիս տարածաժամանակին, թե ինչպես պետք է կորանալ»:



Աշակերտ 1 :

Հետևաբար մոլորակների ուղեծրերը որոշվում են նրանով, թե ինչպես է տարածությունը կորացել նրանց շուրջը, ճի՞շտ եմ:

Ուսուցիչ :

Ճիշտ ես: Եկե՛ք վերցնենք ռետինե թերթը և ձգենք այն: Այսպիսին կլինեն տարածությունը, եթե մենք հեռացնենք բոլոր զանգվածներն ու էներգիան: Հիմա տեսնենք, թե ինչ կլինի, երբ ես ծանր գնդակը տեղադրեմ կենտրոնում:

Աշակերտ 4 :

Դա թղթի մեջ զառիվայր է առաջացնում:

Ուսուցիչ :

Ճիշտ է: Այս ծանր գնդակը ներկայացնում է երկնային մարմին, ինչպես Արեգակը: Նրա զանգվածային ներկայությունը կորացնում է տարածությունը: Այժմ այս փոքր գնդիկները գլորե՛ք կենտրոնականի շուրջը:

Աշակերտ 3 :

Օ՛, ավելի փոքր գնդակները կարծես պտտվում են կենտրոնականի շուրջը՝ ընդօրինակելով մոլորակները կոր տարածության մեջ, որը փորագրված է արևի կողմից:

Ուսուցիչ :

Ճիշտ է: Ավելի փոքր գնդակը կհետևի ավելի ծանր առարկայի ստեղծած կորին: Բայց հիշեք, որ այս նմանությունը 2D (երկչափ) հարթության մեջ է՝ զուտ վիզուալիզացիայի համար: Փաստացի փոխազդեցությունը տեղի է ունենում եռաչափ տարածությունում: Իրական տիեզերքը հարթ թերթիկ չէ. Այն հսկայական տարածություն է ամեն ուղղությամբ:

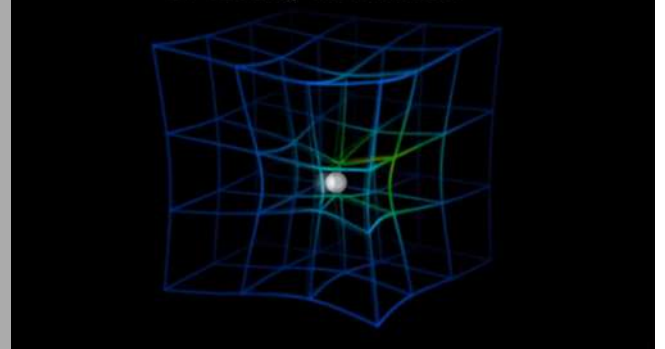
Աշակերտ 3 :

Շնորհակալություն: Այս երկու ցուցադրություններն օգնեցին ինձ տեսությունը տեսնել կիրառության մեջ:

Ուսուցիչ :

Փայլուն դաս էր: Այսօր CosmoVerse-ի մեր արկածային ճամփորդության ժամանակ մենք տեսանք, որ գրավիտացիան ոչ միայն հեռավորության վրա գործող առեղծվածային ուժ է, այլև տիեզերքի բուն կառուցվածքի՝ տարածաժամանակի կորությունը: Մենք հաղորդակից դարձանք էյնշտեյնի հանձարեղ մտքերին: Վերադառնալով մեր առօրյա կյանք՝ եկե՛ք մեր մեջ զարգացնենք զարմանքի և հետաքրքրասիրության հատկանիշները: Դրանք մղեցին մեզ այսօր հետաքրքիր բացահայտումների: Եվ միշտ հիշենք՝ տիեզերքում շատ կան առեղծվածներ, որոնք սպասում են մեր բացահայտմանը:

More accurate depiction of 3D interaction of Gravity and matter



Նկար 20. Գրավիտացիայի և նյութի 3D փոխազդեցության ավելի ճշգրիտ պատկերում: Աղբյուրը՝ lucasvb.tumblr.com: More accurate depiction of 3D interaction of Gravity and matter - Գրավիտացիայի և նյութի 3D փոխազդեցության ավելի ճշգրիտ պատկերում



Տիեզերական գրադարան



Տեսանյութեր :

[Why Gravity is NOT a Force](#)

[General Relativity Explained simply & visually](#)

[If light has no mass, why is it affected by gravity? General Relativity Theory](#)

[Einstein's Special Relativity Theory | Does Time really Slow down](#)

[Brian Greene Explains That Whole General Relativity Thing](#)

[How Does Gravity Affect Light?](#)

[Base for Special Relativity theory | Why is the speed of light constant](#)

[Special Relativity: Crash Course Physics #42](#)

[Brian Cox visits the world's biggest vacuum | Human Universe - BBC](#)

[Gravity Visualized](#)



Ինտերակտիվ :

[Modeling the Orbits of Planets](#)

[General Relativity explained like you've never seen before](#)

[A toolkit for teaching general relativity: II. Geodesics](#)

[Space-time concept](#)

[Relativity Simulator](#)

[Special Relativity: Time dilation](#)



Կայքեր և հոդվածներ :

[Einstein Online](#)

[General Relativity](#)

[The Space Doctor's Big Idea](#)



Վավերագրական ֆիլմեր :

[What Inside Albert Einstein Mind The Theory of General Relativity Documentary](#)

[General Relativity, National Geographic](#)

[Einstein's Big Idea, PBS NOVA](#)

[Einstein's Universe: Understand Theory of General Relativity](#)



Խաղեր :

[General Theory of Relativity](#)

[General Relativity Theory of Gravitation](#)

[Relativity flash cards quiz](#)



Վիկտորինա :

[Relativity 101](#)



Բառարան

Տիեզերական հաստատուն: Գիտաբառ, որը կիրառել է էյնշտեյնը իր հարաբերականության ընդհանուր տեսության մեջ, որպեսզի արտահայտի անշարժ տիեզերքի գաղափարը: Այն այժմ կապվում է մութ էներգիայի գաղափարին:

Համարժեքության սկզբունք: Ընդհանուր հարաբերականության սկզբունք, որը սահմանում է, որ գրավիտացիոն ուժը, որը զգացվում է տեղում, երբ կանցնած ես զանգված ունեցող մարմնի վրա (ինչպես Երկիր մոլորակը), նույնն է, ինչ այն կեղծ ուժը, որը զգում է դիտորդը, երբ գտնվում է արագացումով շարժվող հաշվարկի համակարգում:

Ազատ անկում: Մարմնի շարժում, որտեղ ձգողականությունը նրա վրա գործող միակ ուժն է:

Հարաբերականության ընդհանուր տեսություն: Ալբերտ էյնշտեյնի կողմից մշակված գրավիտացիայի տեսություն, որը նկարագրում է գրավիտացիան ոչ թե որպես ուժ, այլ որպես զանգվածի անհավասար բաշխմամբ առաջացած տարածաժամանակի կորության հետևանք:

Գեոդեզիական: Կոր տարածության կամ տարածաժամանակի երկու կետերի միջև ամենակարճ ճանապարհը:

Գրավիտացիոն դաշտ: Զանգվածի շուրջ գտնվող տարածքը, որտեղ այլ զանգվածներ զգում են գրավիտացիոն ձգողական ուժ:

Գրավիտացիոն ոսպնյակներ: Երևույթ, երբ հեռավոր օբյեկտի լույսը թեքվում է զանգվածային օբյեկտի շուրջը աղբյուրի և դիտորդի միջև ոսպնյակի նման:

Իներցիալ դիտորդ: Դիտորդ, որն արագացումով չի շարժվում և դիտարկում է ֆիզիկայի օրենքները ստանդարտ, կանխատեսելի վարքագծով:

Լույսի ձկում: Երևույթ, երբ զանգվածային օբյեկտի մոտով անցնող լույսի ճառագայթները թեքվում են տարածաժամանակի կորության պատճառով: Լույսի ձկումը կանխատեսվել է էյնշտեյնի հարաբերականության ընդհանուր տեսության մեջ:

Համընդհանուր ձգողության մասին Նյուտոնի օրենք: Իսահակ Նյուտոնի տեսությունը, ըստ որի զանգված ունեցող յուրաքանչյուր մարմին ձգում է մեկ այլ զանգված ունեցող մարմնի մի ուժով, որն ուղիղ համեմատական է այդ մարմինների զանգվածների արտադրյալին և հակադարձ համեմատական է նրանց միջև եղած հեռավորության քառակուսուն:

Մերկուրիի պրեցեսիա: Մերկուրիի ուղեծրի աստիճանական տեղաշարժ, ինչպես կանխատեսվում է հարաբերականության ընդհանուր տեսության կողմից: Այն վաղ ապացույցներ է տալիս տեսության համար:

Քվանտային մեխանիկա: Ֆիզիկայի հիմնարար տեսություն, որն ապահովում է բնության ֆիզիկական հատկությունների նկարագրությունը ատոմների և ենթատոմային մասնիկների մասշտաբով:

Տարածաժամանակ: Քառաչափ անընդհատություն, որը համատեղում է տարածության և ժամանակի չափերը: Համաձայն հարաբերականության տեսության՝ զանգվածի և էներգիայի առկայությունը «ծռմունք է» տարածաժամանակը, և այս կորությունը մենք ընկալում ենք որպես գրավիտացիա:

Լույսի արագություն: Հաստատուն արագություն, որով լույսը շարժվում է անօդ տարածության մեջ մոտավորապես 299 792 458 մետր վայրկյանում:

Ժամանակի դանդաղում: Անցած ժամանակի տարբերություն, որը չափվում է երկու դիտորդների կողմից՝ պայմանավորված նրանց միջև հարաբերական արագությամբ կամ նրանց տեղանքների միջև գրավիտացիոն պոտենցիալի տարբերությամբ:

Որդնախոռոչ: Հիպոթետիկ կամուրջ կամ թունել տարածաժամանակում, որը կարող է միացնել տիեզերքի չափազանց հեռավոր կետերը:

This article/publication is based upon work from COST Action CA21136 – “Addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics (CosmoVerse)”, supported by COST (European Cooperation in Science and Technology)

COST (European Cooperation in Science and Technology) is a funding agency for research and innovation networks. Our Actions help connect research initiatives across Europe and enable scientists to grow their ideas by sharing them with their peers. This boosts their research, career and innovation.

www.cost.eu

