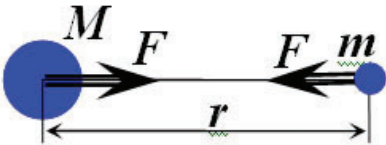


საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია

ქართული ენციკლოპედიის ი. აბაშიძის სახელობის მთავარი სამეცნიერო რედაქცია

გრავიტაცია



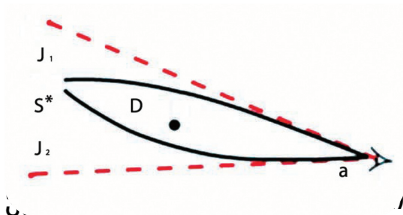
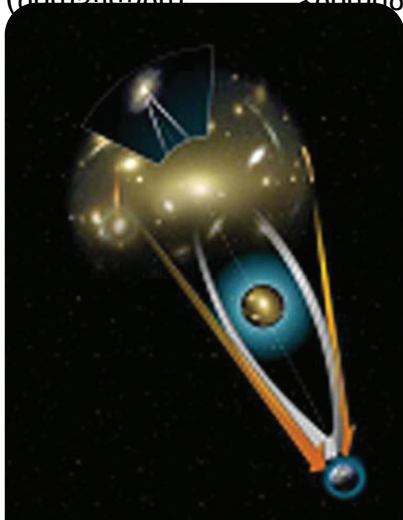
გრავიტაცია

ნიუტონის მსოფლიო
მიზიდულობის კანონი
(1687): m და M მასის
ნებისმიერი ორი
მატერიალური ნაწილაკი
ურთიერთმიიზიდება
ძალით

$$F = -GmMr / r^3,$$

სადაც r არის მიზიდვის
ობიექტის
რადიუსვექტორი
მიზიდვის ცენტრის
მიმართ, ხოლო G –
გრავიტაციული მუდმივა

(პირველი) პერიოდი



მართებულია აგრეთვე
საფრთხილი სიმეტრიის
გამოვითაცული ლინზის
მქონე სასრული (მოძის
მქონე) სფერული (სფერული)
სხეულებისათვის, როცა
გამოვითაცული სფერული
სხეულის ცენტრებს
გრაფიკული მანძილი
აღემატება მათ
დაშორების ზღვას s
წყაროს რკალისებურად
დაგრძელებულ J_1 და J_2
გამოსახულებებს
(ნაჩვენებია ყვითლად),
რომლებიც
ერთმანეთისაგან
დაშორებულია a კუთხით.
თუკი ლინზა
გამჭვირვალეა, მოჩანს
წყაროს დაუმახინჯებელი
გამოსახულებაც.

ფოტ-ის თანახმად,
გრაფიკული ველის და

ამ ველით
 განპირობებული სივრცე-
 დროის თვისებების
 კავშირი სივრცეში
 მატერიის განაწილებასა
 და მოძრაობასთან
 აიწერება აინშტაინის
 განტოლებით

$$R_{k \ n \ i \ n} - \delta_{k \ i} R/2 = 8\pi G c^{-4} T_{k \ i}, \text{ სადაც } R_{k \ n \ i} = \delta_{n \ j} R_{k \ j \ i \ n}, R = \delta_{n \ k} R_{k \ n \ i \ n};$$

$R_{k \ n \ i \ n}$ სიმრუდის
 ტენზორია, Γ -იც
 გამოისახება სიმეტრიული
 მეტრიკული ტენზორით
 g_{ik} და მისი პირველი და
 მეორე წარმოებულებით;
 $\delta_{k \ i} = 1$, როცა $i = k$, და
 $\delta_{k \ i} = 0$, როცა $i \neq k$; $T_{k \ i}$
 – მატერიის
 ენერგიაიმპულსის
 ტენზორია, Γ -ის
 კომპონენტებიც
 გამოისახება სიმკვრივით,
 იმპულსების ნაკადებით
 და მატერიის მოძრაობის
 დამახასიათებელი სხვა
 ფიზიკური სიდიდეებით.
 სფერულად სიმეტრიული
 ელექტრონეიტრალური
 არამბრუნავი m მასის
 ობიექტის გრავიტაციული
 რადიუსი $r_g = 2Gm / c^2$
 ფშტ მეთოდებით
 გამოთვალა გერმ. მეცნ.

კ. შარაშილოძე (1916).

ინგლ. მეცნიერმა ს.
პოუკინგმა თეორიულად
ჩვენა (1974), რომ
კვანტური მოვლენების
შედეგად ობიექტის მასის შავი
ხვრელის ზედაპირის
ხდება სპეციფიკური
გამოსხივების წყალობით, რ-

ის სპექტრი
გრავიტაციული
 $T = \hbar c^3 / (8\pi G \hbar \kappa b)$
ლიზირება ხვრელსონ -
ტემპერატურის მქონე
აინშტაინის რგოლების
ასოლოტურად შავი
(მიტითიზებული) ციური
სხივების გამოსხივების
ოთხეულების
სპექტრს ემთხვევა (აქ $\hbar$ -
პლანკის მუდმივაა, κ -

ბოლცმანის მუდმივა).

გამოსხივების პროცესში
შავი ხვრელის მასა m
მცირდება, ხოლო ტემპრა
და გამოსხივების
სიმძლავრე

$P = \hbar c^6 / (15360 \pi G^2 m^2)$

სულ უფრო იზრდება და

$t = 5120 \pi G^2 m^3 \hbar^{-1} c^{-4}$

დროში ხდება შავი

ხვრელის სრული

აორთქლება.

ვრცელდება, რაც ეწინააღმდეგება ფარდობითობის თეორიას
(ფთ). ფთ-ზე დაფუძნებული გ-ის თეორია შექმნეს დ.
ჰილბერტმა (გამოქვეყნდა 20. XI. 1915) და ა. აინშტაინმა
(გამოქვეყნდა 25. XI. 1915). აინშტაინმა უწოდა მას
ფარდობითობის ზოგადი თეორია (ფზთ). თვითონ ჰილბერტი
ყოველთვის ასახელებდა აინშტაინს ფზთ-ის შემქმნელად.
თანამედროვე წარმოდგენებით, გრავიტაციული
ურთიერთქმედება ხორციელდება გრავიტაციული ველით, რ-
ის დაძაბულობა ნიუტონის თეორიაში - აჩქარება, რ-საც
ანიჭებს ნაწილაკს მასზე მოქმედი გ-ის ძალა - არ არის
დამოკიდებული ნაწილაკის თვისებებზე. გ-ის მათ. აღწერა
ფზთ-ის ჩარჩოებში ემყარება წარმოდგენებს არაეკვილიბრ,
„გამრუდებულ“ სივრცე-დროზე. ფზთ-ის თანახმად,
გრავიტაციული ველის და ამ ველით განპირობებული

სივრცე-დროის თვისებებს განსაზღვრავს მატერიის სივრცული სიმკვრივე, იმპულსების
ნაკადები და მატერიის მოძრაობის დამახასიათებელი სხვა ფიზიკური სიდიდეები
(მატერიაში ფზთ გულისხმობს მატერიის ყველა სახეს - ნივთიერებას, ელექტრომაგნ. და
სხვა ფიზ. ველებს, ფიზიკურ ვაკუუმს; ფზთ-ის თვალსაზრისით გრავიტაციული ველი არ
ითვლება ფიზიკურ ველად). ფზთ-ის თანახმად, მატერია იწვევს სივრცე-დროის
გამრუდებას, კერძოდ, საათი, რ-იც უძრავია მოცემული ათვლის სისტემის მიმართ, სივრცის
სხვადასხვა წერტილში დროის შუალედებს სხვადასხვანაირად აითვლის, ხოლო სინათლის
სიხშირე იცვლება სხივის გასწვრივ. ზუსტი გაზომვები ადასტურებს ამ დასკვნებს.

გრავიტაცია, უნივერსალური
ურთიერთქმედება მატერიის
ნებისმიერ სახეთა შორის.
არარელატივისტური
სხეულების (რ-თა სიჩქარე
ბევრად ნაკლებია სინათლის
სიჩქარეზე ვაკუუმში) სუსტი გ.
ემორჩილება მსოფლიო
მიზიდულობის კანონს, რ-იც ი.
ნიუტონმა საბოლოოდ
ჩამოაყალიბა თავის
„ნატურალური ფილოსოფიის
მათემატიკურ საწყისებში“
(1687). ნიუტონის თეორიაში
ითვლება, რომ გ. მყისიერად

ფზთ-ის ერთ-ერთი ფუნდამენტური დასკვნაა გრავიტაციული ტალღების არსებობა, რ-ებიც გამოსხივდება სწრაფადცვალებადი გრავიტაციული ველის შემქმნელი მასიური სისტემების, მაგ., მჭიდრო ორმაგი ვარსკვლავების მიერ. ასეთი სისტემების მიერ ენერგიის კარგვის დამზერილი სიჩქარე შეესაბამება ფზთ-ით ნაწინასწარმეტყველებ მნიშვნელობას (ჯ. ტეილორი, რ. ჰალსი, ნობელის პრემია, 1993).

მეორე ფუნდამენტური დასკვნაა გრავიტაციული კოლაფსის შესაძლებლობა – სხეული უსაზღვროდ იკუმშება გ-ის ზეგავლენით, რის შედეგადაც მისი რადიუსი ნაკლები ხდება მის გრავიტაციულ რადიუსზე. ასეთ ობიექტებს უწოდებენ შავ ხვრელებს.

XXI ს. დასაწყისისათვის გაჩნდა დაკვირვებითი მონაცემები გალაქტიკათა ცენტრებში გიგანტური (რამდენიმე მილიონი მზის მასის მქონე) შავი ხვრელების არსებობის შესახებ, რ-თა გ. მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს გალაქტიკებში მიმდინარე პროცესებზე. ფზთ-ის კიდევ ერთი ნაწინასწარმეტყველები (ო. ხოლსონი, 1924; ა. აინშტაინი, 1936; ფ. ცვიკი, 1937) და დაკვირვებებით დადასტურებული (პირველი დაკვირვება – ინგლ. ასტრონომი დ. უოლში, თანავტორებთან ერთად, 1979) ეფექტია გრავიტაციული ლინზის მოვლენა. ძლიერ გრავიტაციულ ველში სინათლის გავრცელება აღარ არის წრფივი; შედეგად, დაშორებული ობიექტის გამოსახულებას დამკვირვებელი ხედავს რკალების (ზოგჯერ – რგოლის) სახით (ნახ.). ამ მოვლენას იყენებენ უხილავი, ფარული მატერიის აღმოსაჩენად და შესასწავლად, 139 ხილული ობიექტების გამოსხივებაზე მისი გრავიტაციული მოქმედების დამზერით.

ფზთ არ ითვალისწინებს და ვერ აღწერს კვანტურ ეფექტებს. ამ ეფექტებიდან უმნიშვნელოვანესია გრავიტაციული ველის ჰიპოთეტური კვანტის – გრავიტონის არსებობა. კვანტური გ-ის შემქმნის ერთ-ერთი მცდელობა უკავშირდება კვანტური სიმებისა და სუპერ სიმების თეორიებს. გ-ის გათვალისწინება ხერხდება ე. წ. სუპერ გრავიტაციის თეორიაში (სუგრა). ამ (კვანტურ) თეორიებში ფიზიკურ სივრცეს, ჩვენთვის ცნობილი 3 განზომილების გარდა, აქვს არანაკლებ 6 დამატებითი ფარული განზომილება, რ-თა კომპაქტიფიკაციის რადიუსი არის 10-35 მ რიგის. არც ერთი ეს თეორია ჯერჯერობით არ არის დადასტურებული ექსპერიმენტით (კერძოდ, არ არის აღმოჩენილი ამ თეორიებით ნაწინასწარმეტყველები პრინციპულად ახალი თვისებების მქონე ელემენტარული ნაწილაკები – სუპერ ნაწილაკები). ფზთ-ის პარალელურად ვითარდება გ-ის ალტერნატიული, ფზთ-გან განსხვავებული თეორიები: სკალარულ-ტენზორული (პ. იორდანი, 1955; კ. ბრანსი, რ. დიკე, 1961), ტენზორულ-ტენზორული (მ. გოგბერაშვილი, 1997), ტენზორულვექტორულ-სკალარული (ჯ. ბეკენშტეინი, 2004) და სკალარულ-ვექტორულ-ტენზორული (ჯ. მოფატი, 2006) თეორიები;

ფზთ-ის განზოგადებები, რ-ებიც, გარდა სიმრუდისა, ითვალისწინებს სივრცის გრეხას (ე. კარტანი, 1922; ა. აინშტაინი, 1928); გრავიტაციის რელატივისტური თეორია (ა.

ლოგუნოვი, მ. მესტვირიშვილი, 1989), რ-შიც გრავიტაციული ველი განიხილება, როგორც ფიზიკური ველი მინკოვსკის ფსევდოევკლიდურ სივრცეში და არა როგორც სივრცის გამრუდების შედეგი; გრავიტაციის ყალიბრული თეორია (დ. ივანენკო, გ. სარდანაშვილი, 1983) და სხვა. ექსპერიმენტული შემოწმება ჯერჯერობით არ იძლევა საფუძველს, უარყოფილ იქნას ფზთ და გაკეთდეს არჩევანი რომელიმე ამ თეორიის სასარგებლოდ.

საქართველოში ახალშექმნილი ფთ-ის და ფზთ-ის ფილოს. და მათ. ასპექტებს ჯერ კიდევ XX ს. დასაწყისში (1924-27) განიხილავდნენ მ. გოგიბერიძე, ა. რაზმაძე, ნ. მუსხელიშვილი. თბილისის სახელმწ. უნ-ტში 1964-იდან გ-ის თეორიას ავითარებდნენ მ. მირიანაშვილი და მისი მოწაფეების ჯგუფი: შ. გობეჯიშვილი, რ. გოქსაძე, გ. ვეფხვაძე, ვ. თარგამაძე, ა. კერესელიძე, თ. ლეჟავა, ვ. ქირია. მათ მიერ შემუშავებულია ფზთ-ის ფორმულირება არაპოლონომურ ბაზისში, შესწავლილია დამუხტულ და ელექტრონიტრალურ ნაწილაკთა რელატივისტური აჩქარებული მოძრაობა, კერძოდ, ე. ნ. ჰიპერბოლური მოძრაობა და სხვა.

1967 თბილისში ჩატარდა საერთაშორისო კონფერენცია GR-V, სადაც შეჯამდა იმ დროისათვის მსოფლიოში, მ. შ. საქართველოში, გ-ის შესწავლაში მიღწეული შედეგები.

მნიშვნელოვანი შედეგები აქვთ მიღებული დ. თარხნიშვილს, დ. კურდღელაიძეს (კვარკული ვარსკვლავები, სპინორული გეომეტრია), ნ. პოლიევქტოვ-ნიკოლაძეს, ჯ. ჯავახიშვილს (პლაზმა ძლიერ გრავიტაციულ ველში). გ-ის თანამედროვე ფუნდამენტურ და გამოყენებით საკითხებზე (ფზთ-ის განტოლებების ბუსტი ამოხსნები, პლანეტური სისტემების ევოლუცია, კოსმოლოგიის საკითხები, კერძოდ, ადრეული სამყაროს ევოლუცია, მსხვილმასშტაბური სტრუქტურის წარმოქმნა და გალაქტიკათა წარმოშობის პრობლემა, მაგნ. ველების გრავიტაციული თვისებები, რელიქტური გრავიტაციული გამოსხივება, ასტროფიზ. ობიექტების ძლიერ გრავიტაციულ ველში, კერძოდ, ნეიტრონული ვარსკვლავების და შავი ხვრელების აკრეციულდი სკოებში მიმდინარე პროცესები და სხვ.) მუშაობენ აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის თეორიული განცების მეცნიერები: თ. ბორჩხაძე, მ. გიგოლაშვილი, ა. თევზაძე, თ. კახნიაშვილი, რ. კილაძე, ჯ. ლომინაძე, გ. მაჩაბელი, ა. როგავა, ლ. სამუშია, გ. ლოლობერიძე, გ. ჩაგელიშვილი, დ. წიკლაური, ლ. ხარბედია და სხვები; ა. რაზმაძის სახ. მათემატიკის ინ-ტში (სივრცედროის ტოპოლოგიის ცვლილებით გამოწვეული ეფექტები, არააბელური შავი ხვრელები და მათი სტაბილურობა, გ. ორგანზომილებიან სივრცეში და სხვ.) - გ. ლავრელაშვილი, გ. ჯორჯაძე; ე. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინ-ტში (მდგარი გრავიტაციული ტალღები დამატებით-განზომილებებიან სამყაროში, ბრანების გ. და სხვ.) - ა. ბარნაველი, მ. გოგბერაშვილი, ა. კობახიძე, მ. მაზიაშვილი და სხვები; გორის უნ-ტში (ფიზიკური მოვლენები მრავალგანზომილებიან სივრცედროში) - პ. მიდოდაშვილი; ასევე, საზღვარგარეთის სამეცნიერო ცენტრებში მომუშავე ქართველი ფიზიკოსები - ზ. ბერეჟიანი, გ. გაბადაძე, შ. ვაშაკიძე, მ. მესტვირიშვილი, თ. ყანჩელი და სხვები. მნიშვნელოვანი შედეგები აქვს

მიღებული გ. დვალს. მისი ჰიპოთეზის თანახმად, $10^{-5}-10^{-8}$ მ-ზე მცირე მანძილებზე გრავიტაციული ძალა უფრო სწრაფად უნდა იზრდებოდეს მანძილის შემცირებასთან ერთად, ვიდრე ამას ამტკიცებს ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონი. ეს დასკვნა გამომდინარეობს ვარაუდიდან დამატებითი ფარული განზომილებების კომპაქტიფიკაციის რადიუსის მაკროსკოპულობის შესახებ (ნ. არკანი-ჰამედი, ს. დიმოპოულოსი, გ. დვალი, 1998). მსოფლიოს რამდენიმე წამყვან ლაბორატორიაში მიმდინარეობს ექსპერიმენტები ამ ჰიპოთეზის შესამოწმებლად. გ. დვალის კიდევ ერთი წინასწარმეტყველება უკავშირდება მიკროსკოპული შავი ხვრელების წარმოქმნის შესაძლებლობას მაღალი ენერგიის მქონე ელემენტარული ნაწილაკების შეჯახებისას. ასეთ მოვლენებს, თანამედროვე შეხედულებებით, ადგილი უნდა ჰქონოდა სამყაროს განვითარების ადრეულ ეტაპებზე. გ. დვალის ამ ჰიპოთეზის შემოწმება დაგეგმილია დიდ ჰადრონულ კოლაიდერზე მიმდინარე ექსპერიმენტებში.

ლიტ.: მ ი რ ი ა ნ ა შ ვ ი ლ ი მ., ფარდობითობის თეორია, გამოც. მე- 2, თბ., 2005; З е л ь д о в и ч Я. Б., Н о в и к о в И. Д., Строение и эволюция Вселенной, М., 1975; Л а н д а у Л. Д., Л и ф ш и ц Е. М., Теория поля, 8-е изд., стереотип, М., 2006 («Теоретическая физика», т. 2); T h o r n e K. S., M i s n e r Ch. W., W h e e l e r J. A., Gravitation, vol. 1-3, San Francisco, 1973; W e i n b e r g S., Gravitation and Cosmology. John Wiley & Sons, 1972.

ი. ლომიძე
