

ავთნდილ შურდია

არის კი მასა სიჩქარეზე დამოკიდებული?

1987 წელს ჟურნალ American Journal of Physics-ში დაიბეჭდა აღმოსავლეთ კაროლინის უნივერსიტეტის პროფესორის კარლ გ. ადლერის სტატია სათაურით „მამა, მასა მართლა სიჩქარეზეა დამოკიდებული?“ ამ კითხვით შვილმა, სკოლის მოსწავლემ, მიმართა სტატიის ავტორს. მამის პასუხი ასეთი იყო: „სიმართლე რომ ითქვას, არა, მაგრამ მასწავლებელს არ უთხრა“. მამა წერს, რომ მეორე დღეს შვილმა უარი თქვა ფიზიკის სწავლაზე.

ამ ეპიზოდში მნიშვნელოვანი ის არის, რომ ნაწილაკის მასის შესახებ ფარდობითობის თეორიის შემუშავების შემდეგ ორი შეხედულება ჩამოყალიბდა: რელატივისტური მასა m_r , და ინვარიანტული მასა m_0 , რომელსაც უძრაობის მასასაც უწოდებენ.

რელატივისტური მასა m_r სიჩქარის ფუნქციაა:

$$m_r = \frac{E}{c^2} \quad (1)$$

ხოლო ინვარიანტული მასა მუდმივი სიდიდეა და განისაზღვრება ფორმულით:

$$m_0 = \sqrt{\frac{E^2}{c^4} + \frac{p^2}{c^2}} \quad (2)$$

ამ ფორმულებში E ნაწილაკის ენერგიაა, p - მისი იმპულსი, ხოლო c - სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში. ეს ორი მასა ერთმანეთთან დაკავშირებულია ფორმულით, რომელიც რელატივისტური მასის სიჩქარეზე დამოკიდებულებას ასახავს:

$$m_r = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \quad (3)$$

კ. გ. ადლერის ორჭოფული პასუხი განპირობებული იყო იმით, რომ სახელმძღვანელოებში, ისევე როგორც სამეცნიერო-პოპულარულ ლიტერატურაში, გაბატონებული იყო (და დღესაც არის) მასის სიჩქარეზე დამოკიდებულების კონცეფცია, თუმცა მისი პასუხიდან ჩანს, რომ მას ამ დებულების არ სჯეროდა, რამაც გადააწყვეტინა კიდეც ამ წერილის გამოქვეყნება, რომელშიც ინვარიანტული მასის კონცეფციას იცავს.

მასის სიჩქარეზე დამოკიდებულება, გამოსახული (3) ფორმულით, ა. აინშტაინამდე იყო შემჩნეული ტომსონის, ჰევისაიდის, სირლის, პუანკარეს, აბრაჰამის, ლორენცის ნაშრომებში. ცნობილია, რომ ფარდობითობის თეორია სწორედ ჰ. ლორენცის, ა. პუანკარეს, ა. აინშტაინისა და ჰ. მინკოვსკის ნაშრომებში ჩამოყალიბდა, თუმცა, როგორც

ირკვევა, ა. აინშტაინი არც ერთ თავის ნაშრომში, რომელიც ფარდობითობის თეორიას ეძღვნება, არ გულისხმობდა მასის სიჩქარეზე დამოკიდებულებას. მისი თვალთახედვით, ენერგია (1) ფორმულაში უძრავი ნაწილაკის ენერგია იყო და არა სრული. ამას ადასტურებს აინშტაინის ერთ-ერთი წერილიც, რომელიც მან 1948 წელს მისწერა ლინკოლნ ბარნეტს. ამ წერილში იგი წერს: „სხეულის მასის ცნების შემოტანა $M = m / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ თანაფარდობით არ იქნებოდა კარგი, რადგან ეს განმარტება ბუნდოვანია. უმჯობესია უძრაობის მასის m ცნების შემოტანა. M შემოტანის ნაცვლად უმჯობესია აღინიშნოს კავშირი მოძრავი სხეულის იმპულსსა და ენერგიას შორის“. ამ კავშირში ა. აინშტაინი სწორედ (2) ფორმულას გულისხმობდა.

ფარდობითობის თეორიის აინშტაინისეულ ფორმულირებაში (რომელიც მართებულია ათვლის ინერციული სისტემებისთვის) შესაძლებელია ნიუტონის დებულებების შენარჩუნება, თუ შემოტანილი იქნება რელატივისტური მასის ცნება, კერძოდ:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}, \quad \vec{p} = m_r \vec{v}$$

ინვარიანტული მასის ცნება აქტუალური გახდა ჰ. მინკოვსკის ნაშრომის შემდეგ, რომელშიც ავტორმა შემოიტანა ოთხგანზომილებიანი დრო-სივრცის ცნება. ამ სივრცეში ნაწილაკის მასა ინვარიანტული სიდიდეა და სიჩქარეზე არ არის დამოკიდებული. ამავე დროს ჰ. მინკოვსკიმ ამ ოთხგანზომილებიან სივრცეში შემოიტანა 4-ვექტორის ცნება და განსაზღვრა 4-განზომილებიანი იმპულსი, რომლის დროითი მდგენელია ენერგია, ხოლო სამი სივრცული მდგენელი - სამგანზომილებიანი იმპულსის ვექტორი. სწორედ ამ 4-ვექტორის კვადრატი, განმარტებული მინკოვსკის სივრცეში, წარმოადგენს ნაწილაკის ინვარიანტულ მასას. ასეთი მიდგომის კიდევ ერთი უპირატესობა ის არის, რომ ფარდობითობის ზოგად თეორიაში, სადაც ინერციული ათვლის სისტემა მხოლოდ ლოკალურად არსებობს, მინკოვსკის სივრცის განზოგადება მრუდე სივრცეზე შედარებით ადვილია.

ინვარიანტული მასის სასარგებლოდ მეტყველებს კვანტური მექანიკის რ. ფეინმანისეული ფორმულირებაც. ფეინმანმა თავისი თეორიის საშუალებით მოახერხა კვანტური ელექტრომაგნიტური თეორიის შემუშავება, რომელიც ძალიან კარგად ხსნის თანამედროვე ექსპერიმენტულ მონაცემებს. ეს თეორია კი სწორედ მინკოვსკის სივრცეშია ჩამოყალიბებული და, ამდენად, ინვარიანტული მასის კონცეფციას იზიარებს. აქვე უნდა ითქვას, რომ მკვლევრები თავიანთ გამოთვლებში სწორედ ინვარიანტულ მასას (ნაწილაკის უძრაობის მასას) იყენებენ და არა რელატივისტურს. ატომებისა და სუბატომების ფიზიკაში დომინირებს ოთხგანზომილებიანი სივრცე და ნაწილაკისა და ენერგიის მინკოვსკისეული ინტერპრეტაცია.

ინვარიანტული მასის კონცეფცია დომინირებს აგრეთვე ფარდობითობის თეორიის კლასიკურ სახელმძღვანელოში „სივრცისა და დროის ფიზიკა“, რომლის ავტორები არიან ე. ფ. ტეილორი და ჯ. ა. უილერი. „რელატივისტური მასის კონცეფცია გაუგებრობის

შედეგია და ამიტომაც არ ვიყენებთ მას, - ვკითხულობთ ამ წიგნში, - პირველი: ის იყენებს ტერმინს მასა, რომელიც ოთხგანზომილებიანი ვექტორის სიდიდეა და ეკუთვნის არსებითად განსხვავებულ კონცეფციას - 4-ვექტორის დროით მდგენელს. მეორე: ის განიხილავს ენერჯის ზრდას სიჩქარესთან ერთად როგორც სხეულის შინაგანი სტრუქტურის ცვლილების შედეგს. სინამდვილეში ენერჯის ზრდის მიზეზია არა სხეული, არამედ დრო-სივრცის გეომეტრიული თვისებები“.

მე-20 საუკუნის ოთხმოციანი წლებიდან მოყოლებული, ინვარიანტული მასის კონცეფციას ენერჯიულად ავითარებს და მხარს უჭერს რუსი მეცნიერი ლ. ბ. ოკუნი. მან ამ პრობლემას არაერთი სტატია მიუძღვნა, რომლებშიც დაწვრილებით არის განხილული ფარდობითობის თეორიის შექმნის ისტორია და მასაზე ორივე შეხედულების არსებობა. იგი არგუმენტირებულად ასაბუთებს ინვარიანტული მასის კონცეფციის უპირატესობას, უფრო მეტიც - მიიჩნევს, რომ რელატივისტური მასის კონცეფცია მცდარი კონცეფციაა. თუმცა არ შეიძლება არ აღინიშნოს, რომ რელატივისტური მასის კონცეფცია შესაძლოა უფრო მისაღები იყოს თავიდან, როდესაც დაინტერესებული პირი, რომელმაც იცის ნიუტონისეული მექანიკა, აპირებს ფარდობითობის რელატივისტური თეორიის შესწავლას. ამ შემთხვევაშიც კი ინვარიანტული მასის კონცეფციაზე გადასვლა და თეორიის მინკოვსკის სივრცეში განხილვა უფრო გასაგებს ხდის თეორიას. შევნიშნავთ, რომ ორივე კონცეფცია დღეს აქტუალურია, ოღონდ სამეცნიერო პუბლიკაციებში ერთმნიშვნელოვნად დომინირებს ინვარიანტული მასის ცნება, მაშინ როდესაც სახელმძღვანელოებში, განსაკუთრებით - სასკოლოში, მიღებულია რელატივისტური მასის კონცეფცია.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. <http://sasuke.econ.hc.keio.ac.jp/~ken/physics-faq/mass.html>
2. Л. Б. УФН, “Формула Эйнштейна: $E_0 = mc^2$ “ т. 178, (2008), стр. 541
3. C. G. Adler, "Does mass really depend on velocity, dad?" American Journal of Physics 55 (1987), pg. 739
4. Taylor and Wheeler, "Space-Time Physics" 2nd edition, Freeman Press (1992)