

თავი III

დიფრაქციის მოვლენის აღმოჩენა და სინათლის ტალღური თეორიის გამარჯვება.
ელექტროდინამიკის განვითარება და მაქსველის მიერ ველის თეორიის შექმნა.
ელექტრომაგნიტური ველი, როგორც მატერიის არსებობის ახალი ფორმა. ლორენცის
გარდაქმნის ფორმულები

მეცხრამეტე საუკუნის შუა ხანებში ინგლისელმა ფიზიკოსმა თომას იუნგმა (1173–1829) და ფრანგმა მეცნიერმა ო. ფრენელმა (1788–1827) აღმოაჩინეს ემპირიული ფაქტი, რომელმაც უდავო გახადა სინათლის გავრცელების ტალღური ხასიათი. ეს ემპირიული ფაქტი იყო სინათლის დიფრაქცია. აღმოჩნდა, რომ ძალზე ვიწრო ხვრელში სინათლის გავლისას დაიკვირვება დიფრაქციის მოვლენა. ეს ფაქტი გახდა მიზეზი იმისა, რომ იმ დროისათვის სრულიად უარყვეს სინათლის კორპუსკულური თეორია; მაგრამ შემდგომში გაირკვა, რომ ამ უარყოფას დროებითი ხასიათი ჰქონდა.

რადგანაც ცნობილი გახდა სინათლის ტალღური თეორიის ემპირიული საფუძველი, მთელი ყურადღება გადავიდა უკვე ეთერის მექანიკური სტრუქტურის შესწავლის საკითხზე; სინათლის გავრცელების ტალღური ხასიათი ეჭვს აღარ იწვევდა, ამიტომ საჭირო შეიქნა ამ ტალღათა ბუნების გარკვევა. ცხადია, იმისდა მიხედვით, თუ როგორი აღმოჩნდებოდა სინათლის ტალღა, გასწვრივი იქნებოდა იგი თუ განივი, შეიძლებოდა შემდგომ ეთერში მიმდინარე იმ მექანიკურ პროცესთა ხასიათზე მსჯელობა, რომელნიც განაპირობებდნენ მასში სინათლის ტალღების გავრცელებას. ასე მაგალითად, თუ სინათლის ტალღები ბგერითი ტალღების მსგავსად გასწვრივი ხასიათის აღმოჩნდებოდნენ, ეს მაჩვენებელი იქნებოდა იმისა, რომ ეთერში არსებობენ სინათლის ტალღის გავრცელების მიმართულების თანხვედნილი რხევითი პროცესები, დაახლოებით იმდაგვარი, როგორიცაა ჰაერის ნაწილაკთა შეკუმშვა-გაფართოებითი რხევა ბგერითი ტალღების გავრცელების დროს; მაგრამ, თუ სინათლის ტალღები განივი ხასიათის იქნებოდნენ, მაშინ ეთერის ნაწილაკები იმოდრავებდნენ წყლის ზედაპირზე პლასტმასის ბურთულას მსგავსად, ე. ი. ტალღის გავრცელების მიმართულების პერპენდიკულარულად.

იმ შემთხვევაში, თუ სინათლის ტალღა გასწვრივი აღმოჩნდებოდა, უნდა გვეფიქრა, რომ ეთერი არის რაღაც გაზისებრი ნივთიერება, რომელშიც ვრცელდება სინათლე; ეს, ერთი მხრივ, მოსახერხებელიც იყო, რადგანაც მაშინ ადვილი იქნებოდა დაშვება იმისა, რომ ეთერი არსებობდა ბუნებაში ყველგან. მაგრამ ექსპერიმენტებით აღმოჩნდა, რომ სინათლის ტალღები ატარებენ განივ ხასიათს. ეს კი უკვე ნიშნავდა

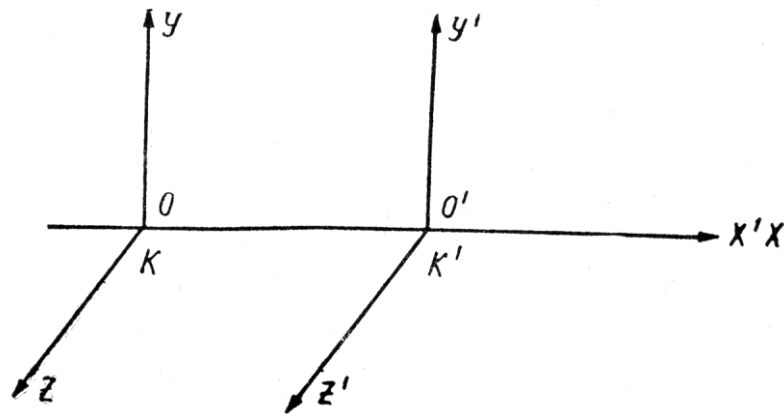
იმას, რომ ეთერი უნდა ყოფილიყო გაზზე გაცილებით სქელი, შედეგებული რაღაც მასა. ასეთი სახის ეთერის არსებობის დაშვება კი დიდ სიძნელეებს ქმნიდა, კერძოდ, ცდებში არ მჟღავნდებოდა მისი არსებობა.

ამრიგად, ეთერის სტრუქტურა, რომელიც უნდა აეხსნათ მის ნაწილაკთა შორის მექანიკური ძალების მოქმედების საფუძველზე, ძალზედ საიდუმლოებებით მოცული აღმოჩნდა. შეიქმნა პარადოქსული სიტუაცია: ერთი მხრივ, იმის გამო, რომ ეთერი წარმოადგენდა სინათლის გავრცელების საშუალებას, იგი უნდა არსებულიყო ყველგან და აქედან გამომდინარე არავითარი ცარიელი სივრცე არ არსებობდა. ასეთ შემთხვევაში ეთერს, თუ მას შედეგებული მასის ფორმა ჰქონდა, უნდა ემოქმედა მატერიალურ სხეულთა მოძრაობაზე და ემპირიულად როგორღაც გამოემჟღავნებინა თავისი თავი; მაგრამ სხეულთა მოძრაობაში ეთერის არავითარი არსებობა არ იგრძნობოდა. მეორე მხრივ, სხვადასხვა გარემოში სინათლის გავრცელების დროს სიჩქარე იცვლებოდა. ეთერის საფუძველზე ამ ოპტიკური ფაქტის ახსნა შეიძლებოდა მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დავუშვებდით, რომ ეთერის ნაწილაკებსა და ნივთიერებებს შორის ადგილი ჰქონდა ურთიერთქმედებას. ე. ი. ერთი მხრივ, ოპტიკურ მოვლენათა მიმდინარეობის ხასიათი ითხოვდა ეთერსა და ნივთიერებას შორის ურთიერთქმედების არსებობის დაშვებას, ხოლო, მეორე მხრივ, მექანიკურ მოვლენებზე დაკვირვებებში არ მჟღავნდებოდა ასეთი ურთიერთქმედების არსებობის ფაქტი. შედეგი საკმაოდ პარადოქსული იყო.

ყველა წინააღმდეგობა, რომელიც კი ამ პერიოდისთვის დაგროვდა, გამოწვეული იყო ელექტრული და ოპტიკური მოვლენების მექანიკური თვალსაზრისით აღწერის მცდელობით; მაგრამ ძირითადი პრინციპები, რომელნიც ნიუტონის მექანიკას ედო საფუძვლად, საკმაოდ დამაჯერებლად გამოიყურებოდნენ და საჭირო იყო საწინააღმდეგო ემპირიული მონაცემების ძალზე დიდი რაოდენობა, რათა საბოლოოდ დამდგარიყო ამ პრინციპთა შეცვლისა და ახალი დებულებების წამოყენების საკითხი. დროთა განმავლობაში ცდებით გროვდებოდა ეს მასალა. მაგალითად, მაგნიტურ ისარზე მოქმედი ძალა აშკარად არ იყო ნიუტონის მექანიკაში მოქმედი ძალის მსგავსი, წინააღმდეგობანიც ეთერის მექანიკური სტრუქტურის ახსნაში ნიშნავდა მექანიციზმის პროგრამის მარცხს. იზრდებოდა ეჭვი ეთერის არსებობისა და ელექტრომაგნიტური მოვლენების მექანიკური თვალსაზრისით ახსნის შესაძლებლობის მიმართ.

მე-19 საუკუნის მეორე ნახევრიდან მ. ფარადეის (1791–1867), ჯ. მაქსველისა (1831–1879) და ჰ. ჰერცის (1857–1894) შრომების შემდეგ კიდევ უფრო მეტად გაიზარდა საფუძველი სამყაროს ახალი, მექანიკურისაგან განსხვავებული სურათის შექმნისათვის.

თავის დროზე, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ნიუტონის მექანიკამ საფუძველი ჩაუყარა ემპირიულ ბუნებისმეტყველებას და განსაკუთრებით წამოსწია წინა პლანზე ცდის როლი შემეცნების პროცესში; მაგრამ, მიუხედავად ამისა, ნიუტონთან შემოიტანეს მაინც ისეთი ცნებებიც, რომელნიც უშუალოდ არ იყვნენ დაკავშირებულნი ცდასთან. ასეთებია, მაგალითად, „აბსოლუტური დრო“ და „აბსოლუტური სივრცე“, რომელთა საფუძველზეც ხდება ძირითადად ინერციულ და არაინერციულ სისტემათა განსხვავება; ვთქვათ, გვაქვს ათვლის ორი სისტემა: K და K_1 . K იყოს ინერციული, ხოლო K_1 – ამ ინერციული სისტემის მიმართ რაიმე \vec{a}_0



ნახ. 3

აჩქარებით მოძრავი არაინერციული სისტემა. დავუშვათ, რომ K_1 მოძრაობს K -ს მიმართ თანაბრად აჩქარებულად X ღერძს გასწვრივ: ერთი სისტემიდან (K) მეორეზე (K_1) გადასვლა მოხდება ამ დროს შემდეგი ფორმულით: $X = X_1 + 00_1$, ანუ $X = X_1 + \frac{a_0 t^2}{2}$. (1);

რაც შეეხება დროს, დრო ერთი და იგივე იქნება ორივე სისტემაში:

$$t = t_1;$$

(1) ფორმულიდან აჩქარებისათვის მივიღებთ შემდეგ კავშირს: $a = a_1 + a_0 \dots$ (2).

ვთქვათ, K სისტემაში სხეულზე არავითარი ძალა არ მოქმედებს, მაშინ იგი იმოძრაავებს K სისტემის მიმართ რაღაც მუდმივი სიჩქარით, ე. ი. $a = 0$. ასეთ შემთხვევაში (2)-დან გამოდის, რომ $a_1 = -a_0 \neq 0$; ე. ი. მიუხედავად იმისა, რომ სხეულზე არავითარი ძალები არ მოქმედებენ და მისი აჩქარება K სისტემის მიმართ $a = 0$, მაინც K_1 სისტემის მიმართ სხეულს გააჩნია გარკვეული a_1 აჩქარება, რომელიც $\neq 0$; ე. ი. არაინერციული სისტემისათვის ძალაში აღარ არის ინერციის პრინციპი, ამის გამო მასში სახეს იცვლის ნიუტონის კანონებიც. ასე მაგალითად, თუ ინერციული სისტემისათვის ნიუტონის მეორე კანონს აქვს ასეთი სახე: $\vec{F} = m\vec{a}$, არაინერციული

სისტემისათვის გვექნება $m\vec{a}_1 = \vec{F} - m\vec{a}_0$. $m\vec{a}_0$ არის დამატებითი ძალა, რომელსაც ინერციის ძალას უწოდებენ (F_{in}) და რომლის მოქმედებაც გამოწვეულია სისტემის არაინერციულობის გამო. ე. ი. $m\vec{a}_1 = \vec{F} + \vec{F}_{in}$. თუ სხეულზე მოქმედი ძალის F ძალის გარდა, გავითვალისწინებთ ინერციის \vec{F}_{in} ძალასაც, მაშინ შეიძლება ითქვას, რომ ნიუტონის მეორე კანონი არაინერციულ სისტემებშიც მოქმედებს. საჭიროა აღინიშნოს, რომ \vec{F}_{in} პროპორციულია ინერციის მასისა და ამიტომ ერთი და იმავე სხეულისათვის იგი ყოველთვის ერთი და იგივე იქნება.

ამრიგად, არაინერციულ სისტემებში ინერციის ძალების არსებობის გამო ყოველი სხეული მიიღებს დამატებით აჩქარებას; ეს ემპირიულად დაკვირვებადი ფაქტი, ნიუტონის აზრით, მიუთითებდა აბსოლუტური სივრცის არსებობაზე, მაგრამ ამ „აბსოლუტური სივრცის“ ცნება საიდუმლოებით იყო მოცული.

მეორე მომენტი, რომელსაც ყურადღება უნდა მივაქციოთ ნიუტონის მექანიკაში, არის გრავიტაციული ურთიერთქმედების ახსნა მანძილზე მყისიერად მოქმედი ძალების არსებობის დაშვების საფუძველზე. შორი ქმედების თეორია, რომელიც ამ თვალსაზრისს ავითარებდა, ნიუტონის დროიდანვე ტოვებდა გარკვეულად ხელოვნურის შთაბეჭდილებას და უკვე ბადებდა გრავიტაციული ეფექტების უფრო სრულყოფილი ახსნის სურვილს.

გარდა ამისა, ნიუტონის მექანიკა ვერ ხსნიდა გრავიტაციული და ინერციული მასების ტოლობის ფაქტს, რომელზეც ადრე გვექონდა საუბარი და რასაც ყურადღება მიექცა უკვე ნიუტონის დროიდან.

ყოველივე ზემოთ თქმულთან ერთად დაგროვილი ემპირიული მასალაც უბიძგებდა მეცნიერულ აზრს ბუნების მოვლენათა უფრო ღრმა და საფუძვლიანი კვლევისაკენ.

სიძნელეები ეთერის მექანიკური სტრუქტურის კვლევაში თანდათან უფრო და უფრო მწვავედებოდა და ბოლოს დაისვა კითხვა: აქვს კი საერთოდ აზრი ასეთ ძიებას და არსებობს კი მართლა ეთერი? გ. ლორენცი (1853–1928) ამ პერიოდისათვის წერდა: „მართალია, უკანასკნელ ხანებში ეთერში მიმდინარე პროცესთა მექანიკური ახსნა სულ უფრო და უფრო გადადის უკანა პლანზე, მაგრამ მაინც მექანიკური ანალოგიები გვეხმარებიან ვიფიქროთ ამ მოვლენებზე და წარმოადგენენ ახალ იდეათა წყაროს“ (22.36)

მექანიკური ანალოგიებით ოპტიკურ მოვლენათა კვლევის ასეთი გზა საბოლოოდ მხოლოდ მაქსველის შემდეგ იქნა უარყოფილი. ფიზიკურ მოვლენათა შესწავლის პროცესში მაქსველმა მიმართა მათემატიკური აღწერის მეთოდს. მაქსველის ველის თეორიით მიეცა დასაბამი თეორიულ ფიზიკას, დაიწყო ახალი ეტაპი ფიზიკის განვითარებაში და საფუძველი ჩაეყარა სამყაროს ელექტრო-მაგნიტური სურათის შექმნას.

ელექტრომაგნიტურ მოვლენათა კვლევის სფეროში განსაკუთრებული სიახლე შეიტანეს ფარადეის შრომებმა; როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ელექტრული მოვლენების შესწავლის დროს გამოძვინდა, რომ წრიულ დენიანი გამტარის შიგნით მოთავსებულ მაგნიტურ ისარზე მოქმედებს საკმაოდ უჩვეულო ხასიათის მქონე ძალა, რომელიც გამტარის სიბრტყის პერპენდიკულარულად არის მიმართული და სიდიდით დამოკიდებულია შემქმნელი მუხტის მოძრაობის სიჩქარეზე. რადგანაც დენიანი გამტარის მახლობლად ყოველთვის იქმნებოდა ასეთი ვითარება, ანუ მაგნიტურ ისარზე ყოველთვის მოქმედებდა აღნიშნული ხასიათის ძალა, ამიტომ შეიქმნა აზრი რომ დენიანი გამტარი ქმნის თავის ირგვლივ მაგნიტურ ველს; ცდების შედეგად გაირკვა, რომ ანალოგიურ ველს ქმნის თავის ირგვლივ მაგნიტური ღეროც; ამავე დროს აშკარაა, რომ მაგნიტის ღეროსთვის თვისებები განსხვავდებიან დენიანი გამტარის თვისებებისაგან; მიუხედავად ამისა, ცდები უჩვენებენ, რომ მათ მიერ შექმნილი ველები ერთნაირად მოქმედებენ მაგნიტურ ისარებზე; თანაც ურთიერთქმედების ხასიათს ამ დროს განსაზღვრავს ველის ბუნება და იგი ნაკლებადაა დამოკიდებული ველის წარმომშობ წყაროზე. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ველის სახით საქმე გვაქვს მატერიის ახალ ფორმასთან, რომელიც განსხვავდება მისი წარმომშობი წყაროსგან, დენიანი გამტარი იქნება ეს თუ მაგნიტის ღერო.

ველის ცნება კარგ გამოყენებას პოულობს ელექტრომაგნიტური მოვლენების ახსნაში. მისი საშუალებით იხსნება, მაგალითად, ელექტრულ მუხტებს შორის არსებული ურთიერთქმედება; შეიძლება ვთქვათ, რომ ყოველი მუხტი თავის ირგვლივ ქმნის ველს ისევე, როგორც დენიანი გამტარი ან მაგნიტი; მუხტის მიერ შექმნილ ველს ელექტროსტატიკური ველი ეწოდება. თუ მაგნიტურ ისარს მოვთავსებთ დამუხტული სხეულის ელექტროსტატიკურ ველში, ისარზე ურთიერთქმედებას ადგილი არ ექნება, მაგრამ თუ დამუხტული სხეული დაიწყებს მოძრაობას, მაშინ მუხტის მოძრაობის გამო აღიძვრება მაგნიტური ველი, რომელიც დაიწყებს მოქმედებას მაგნიტურ ისარზე. ეს ფაქტი მეტად მნიშვნელოვანია; იგი მიუთითებს იმაზე, რომ ვიდრე ელექტრული მუხტი მოძრავი იყო და ქმნიდა მხოლოდ ელექტროსტატიკურ ველს, მაგნიტურ ისარზე არავითარი ძალა არ მოქმედებდა, მაგრამ როგორც კი მუხტმა დაიწყო მოძრაობა, მას მოჰყვა ელექტროსტატიკური ველის ცვლილება დროში და მაშინვე წარმოიშვა მაგნიტური ველი, რომელმაც დაიწყო მოქმედება ისარზე; ეს მოქმედება მით მეტი იქნება, რაც მეტი იქნება მუხტის მოძრაობის სიჩქარე, ანუ რაც უფრო სწრაფად მოხდება ელექტრული ველის ცვალებადობა.

ფარადეის მიერ ჩატარებული ცდების საფუძველზე გაირკვა, რომ არა მხოლოდ ცვალებად ელექტრულ ველს შეუძლია წარმოშვას მაგნიტური ველი, არამედ, პირიქით, ცვლადი მაგნიტური ველიც იწვევს თურმე გამტარში ელექტრული დენის წარმოშობას. მაგალითად, თუ ავიღებთ მაგნიტის ღეროს, მივიტანთ მას

სოლენოიდთან და შემდეგ გამოვწევთ ისევ უკან, დავინახავთ, რომ სოლენოიდში აღიძვრება ელექტრული დენი; საკმარისია გავაჩეროთ მაგნიტი, რომ სოლენოიდში დენი გაქრება, მაგრამ, თუ გავაგრძელებთ ისევ მაგნიტის მოძრაობას, დენი კვლავ იარსებებს. საინტერესოა, რომ სხვა, მეორე სოლენოიდი, თუ მასში იქნება ელექტრული დენი, იმავე მოქმედებას გამოიწვევს ჩვენი სოლენოიდის ახლოს მოძრაობის შემთხვევაში, რაც გამოიწვია მაგნიტის ღერომ, ე. ი. წარმოშობს ელექტრულ დენს; ეფექტი იგივე იქნება, თუ დენიანი სოლენოიდის მოძრაობის ნაცვლად მაგნიტური ველის ცვლილებას გამოვიწვევთ მასში გამავალი დენის ცვალებადობის საფუძველზე, მაშინაც პირველ სოლენოიდში აღიძვრება დენი.

ცდებმა უჩვენეს ისიც, რომ თუ გვაქვს მაგნიტური ველი (სულ ერთია მიღებული იქნება იგი მაგნიტური ღეროს საშუალებით, თუ დენიანი სოლენოიდით) და მოვათავსებთ მასში წრიული ფორმის მქონე ჩაკეტილ გამტარს, მაშინ მანამდე, ვიდრე ადგილი არ ექნება მაგნიტური ველის ცვლილებას, გამტარში დენი არ გაივლის; მაგრამ საკმარისია დაიწყოს მაგნიტური ველის ცვალებადობა, რომ გამტარში მაშინვე აღიძვრება ელექტრული დენი, რომელიც სიდიდით დამოკიდებული იქნება მაგნიტური ველის ცვალებადობაზე. ე. ი. ცვლადი მაგნიტური ველი წარმოქმნის ინდუქციურ დენს, ხოლო მოძრავი მუხტების ირგვლივ შეიქმნება ელექტრული ველი.

აღნიშნული ემპირიული მონაცემები უჩვენებენ, რომ ცვლად ელექტრულ ველს ახლავს თან მაგნიტური ველი და პირიქით, ცვლადი მაგნიტური ველი წარმოშობს თავის მხრივ ელექტრულ ველს. ველის ცნების საფუძველზე კარგად აიხსნება ყველა ელექტრომაგნიტური მოვლენა, მაშინ, როდესაც მექანიკური თვალსაზრისით მათი ახსნა მთელ რიგ წინააღმდეგობებს აწყდებოდა. აქედან გამომდინარე, თანდათან განმტკიცდა აზრი იმის შესახებ, რომ არა მარტო ხელსაყრელია ველის ცნების ტერმინებში ელექტრომაგნიტურ მოვლენათა აღწერა, არამედ ბუნებაში ნამდვილად უნდა არსებობდნენ ელექტრული და მაგნიტური ველები.

ფარადეის კონცეფცია ბუნებაში მატერიის ახალი ფორმის – „ველის“ არსებობის შესახებ საფუძველად დაედო შემდგომში მაქსველის თეორიას. მეცნიერები ყოველთვის ცდილობდნენ განეხილათ ველი, როგორც სივრცეში ეთერის არსებობის გარკვეული მექანიკური მდგომარეობა, მაგრამ ველის ასეთი მექანიკური გაგების მიმართულებით ჩატარებული ყოველგვარი ცდა უშედეგოდ მთავრდებოდა; თანდათან შემუშავდა აზრი, რომ ელექტრომაგნიტური ველი განეხილათ, როგორც ფიზიკური რეალობის ახალი ფორმა. ამასთან დაკავშირებით ველის ცნება გათავისუფლდა ჯერ ყოველგვარი მექანიკური წარმოდგენებისგან (ჰ. ჰერცი), ხოლო შემდეგ უარყოფილ იქნა ის მატერიალური გადამტანი, რომელსაც არსებული წარმოდგენების მიხედვით უნდა ეწარმოებინა ელექტრომაგნიტური ტალღის გადატანა სივრცეში (გ. ლორენცი). ეს ნიშნავს იმას, რომ ელექტრომაგნიტური ველის

სახით საქმე გვაქვს რეალობის ახალ, არანივთიერ ფორმასთან, რომელიც თვითონვე ვრცელდება სივრცეში და დროში. „როდესაც ეს ევოლუცია დამთავრდა, მიზიდულობის სფეროშიც კი აღარავის აღარ ჰქონდა უკვე დარჩენილი მანძილზე უშუალო, მყისიერი ქმედების შესახებ რწმენა“, – წერდა შემდეგ აინშტაინი (26.186).

ფარადეის ზოგადი კონცეფცია ელექტრომაგნიტური მოვლენების შესახებ მათემატიკურ გაფორმებას ითხოვდა; სწორედ ამ ასპექტში დადგა საკითხი მაქსველის წინაშე. მაქსველმა აჩვენა, რომ სინათლეს და ელექტრომაგნიტური მოვლენების შესახებ ამ პერიოდისათვის დაგროვილი ინფორმაცია მათემატიკურ ენაზე კარგად გამოიხატება დიფერენციალური განტოლებების საშუალებით, სადაც ელექტრული და მაგნიტური ველები ურთიერთდაკავშირებული ცვლადების სახით იქნებიან წარმოდგენილნი. ამ განტოლებათა მექანიკური ინტერპრეტაციის ცდა უშედეგოდ დამთავრდა. აშკარა იყო, რომ მაქსველის განტოლებები, რომელნიც კარგად გამოხატავდნენ ველში მოქმედი კანონზომიერების არსს და მის რაოდენობრივ მხარეს, პრინციპულად განსხვავდებოდნენ მექანიკის განტოლებებისგან. ამ განსხვავებას გააჩნია თავისი ონტოლოგიური საფუძველი; იგი მდგომარეობს შესაბამის საკვლევ ობიექტთა თვისებრივ განსხვავებულობაში; მთავარი, რაც განასხვავებს ველს, როგორც რეალობის ფორმას მექანიკის ობიექტებისგან, არის ის, რომ მექანიკის ობიექტები ყოველთვის ლოკალიზებული არიან სივრცის რომელიმე წერტილში, ველი კი განფენილია მთელ სივრცეზე. გარდა ამისა, ნიუტონის კანონები აღწერენ სხეულთა მოძრაობას მათი ტრაექტორიების მიხედვით; ნიუტონის თეორია გრავიტაციის შესახებ წარმოდგენას გვაძლევს იმაზე, თუ როგორია სხეულის მოძრაობა მაშინ, როდესაც მასზე მოქმედებს მისგან გარკვეული მანძილით დაშორებული სხვა სხეული, ე. ი. მოძრაობა ამ დროს განიხილება, როგორც გარკვეული მანძილით დაშორებულ ნივთიერ სხეულთა შორის არსებული ურთიერთქმედების შედეგი. ველის სახით კი ჩვენ საქმე გვაქვს მატერიის ახალ, არანივთიერ ფორმასთან, რომელიც თვითონვე ვრცელდება სივრცესა და დროში, მაქსველის განტოლებები გამოხატავენ სწორედ ველის მდგომარეობათა ცვალებადობის ამ პროცესს; ეს პროცესი აისახება ელექტრომაგნიტური ტალღის ცნებით. ელექტრომაგნიტური ტალღა წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური ველის მდგომარეობათა ცვალებადობას და თავისით ვრცელდება სივრცეში; ასე მაგალითად, რომ ავიღოთ და რხევით მოძრაობაში მოვიყვანოთ რკინის რაიმე დამუხტული ბურთულა, ეს უკანასკნელი თავის ირგვლივ შექმნის ცვლად ელექტრულ ველს; ეს ველი, თავის მხრივ, წარმოშობს მაგნიტურ ველს, ცვლადი მაგნიტური ველი – ელექტრულს და ა. შ. მიიღება ელექტრომაგნიტური ტალღა. იმ შემთხვევაში, თუ შევაჩერებთ დამუხტული ბურთულის რხევას, წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური ტალღები განაგრძობენ მაინც გავრცელებას სივრცეში; ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ელექტრომაგნიტურ ტალღებს გააჩნიათ თავიანთი,

დამოუკიდებელი, ნივთიერებებისგან განსხვავებული მატერიალური არსებობა. თეორიულად ნაწინასწარმეტყველები იყო ისიც, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელების სიჩქარე ტოლი უნდა იყოს სინათლის გავრცელების სიჩქარისა.

ემპირიული დადასტურება მაქსველის თეორიამ ჰპოვა ჰერცის მიერ ჩატარებული გამოკვლევების შემდეგ. ჰერცმა ექსპერიმენტულად აღმოაჩინა ელექტრომაგნიტურ ტალღათა არსებობა და ექსპერიმენტულადვე დაადგინა, რომ მისი გავრცელების სიჩქარე ნამდვილად ტოლია სინათლის სიჩქარისა; ეს იყო ტალღური თეორიის უდიდესი გამარჯვება.

მაქსველის თეორიის თვისებრივი სიახლე ეჭვს აღარ იწვევდა; მათემატიკური აპარატი ყოველგვარი წინააღმდეგობების გარეშე იძლეოდა ემპირიული მონაცემების აღწერის საშუალებას; ახლა საჭირო იყო ამ თეორიის ფიზიკური მხარის გარკვევა.

უკვე ცნობილი იყო, რომ ელექტრომაგნიტურ ტალღას გააჩნია მისი წარმომშობი წყაროსგან დამოუკიდებელი არსებობა და რომ გავრცელების პროცესში ამ ტალღას გადააქვს ენერგია, მაგრამ ითვლებოდა მაინც, რომ ეს პროცესი მექანიკური ხასიათის უნდა ყოფილიყო; ამიტომ, ბუნებრივია, ფიქრობდნენ, რომ ელექტრომაგნიტურ ტალღას უნდა ჰქონოდა მსგავსება სხვა მექანიკური ხასიათის ტალღურ პროცესებთან, იქნებოდა ეს ჰაერში ბგერის გავრცელება, წყალში მიმდინარე ტალღური პროცესი თუ სხვ. მაგრამ ცდების მიხედვით ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელების ხასიათი საკმაოდ განსხვავებული აღმოჩნდა მექანიკურ ტალღათა გავრცელების ხასიათისგან. ასე მაგალითად, ბგერითი ტალღების შემთხვევაში დაიკვირვება შემდეგი: თუ ავიღებთ ბგერითი ტალღების რაიმე წყაროს და დამკვირვებელი დაიწყებს დაშორებას ამ ბგერითი წყაროდან რაღაც v სიჩქარით, მაშინ ბგერითი ტალღა ასეთი დამკვირვებლის მიმართ იმოძრაავს ბგერის გავრცელების V სიჩქარეზე ნაკლები $V - v$ სიჩქარით და ბგერებს ეს დამკვირვებელი გაიგონებს უფრო გვიან, ვიდრე მაშინ, უძრავად რომ ყოფილიყო იგი წყაროს მიმართ; ანალოგიურად, თუ იგივე დამკვირვებელი იმავე v სიჩქარით იმოძრაავს არა ბგერითი წყაროდან დაშორების მიზნით, არამედ ბგერითი წყაროსაკენ, მაშინ ბგერაც დამკვირვებლისკენ წავა უფრო მეტი სიჩქარით ($V + v$) და ცხადია, რომ მივა მასთან შედარებით ადრე. დამკვირვებელს რომ შეეძლოს გაიქცეს ბგერითი წყაროდან ბგერის გავრცელების V სიჩქარეზე მეტი სიჩქარით, მაშინ იგი ამ წყაროდან წამოსულ ბგერებს ვერასოდეს ვერ გაიგონებს, რადგანაც ბგერითი ტალღები ყოველთვის მის უკან იქნებიან; და პირიქით, თუ დამკვირვებელი გაეკიდება ბგერით ტალღას V -ზე მეტი სიჩქარით, მაშინ მას შეეძლება ხელმეორედ აღიქვას იგივე ბგერა. ანალოგიურ მოვლენებს ექნებათ ადგილი იმ შემთხვევაშიც, თუ დამკვირვებელი კი არა, ოთახი, რომელშიც ბგერითი წყაროა მოთავსებული, დაიწყებს მოძრაობას დამკვირვებლის მიმართ; თუ ოთახი იმოძრაავს დამკვირვებლის მიმართულებით, ბგერა ადრე მივა დამკვირვებლამდე, ხოლო თუ ოთახის მოძრაობა იწარმოებს დამკვირვებლის

საპირისპიროდ, მაშინ ბგერაც მასთან დაგვიანებით მიაღწევს. ეს ფაქტი მიუთითებს იმაზე, რომ ბგერითი ტალღები, რომელნიც ჰაერის საშუალებით ვრცელდებიან, წარიტაცებიან მოძრავი გარემოს (ოთახის) მიერ, ჰაერთან ერთად. ასევე ხდება წყლის ან სხვა ტიპის მექანიკური ტალღების შემთხვევაშიც.

ფიქრობდნენ, რომ სინათლის ტალღათა გავრცელებას ეთერში უნდა ჰქონოდა ჰაერში ბგერითი ტალღების გავრცელების მსგავსი ხასიათი; ამიტომ ემპირიულად დაკვირვებადი უნდა ყოფილიყო წყაროს მოძრაობის სიჩქარისგან სინათლის გავრცელების სიჩქარის დამოკიდებულების ფაქტი; მაგრამ სინამდვილეში აღმოჩნდა, რომ სინათლე ყველა სისტემაში ვრცელდება ერთი და იმავე სიჩქარით, დამოუკიდებლად იმისგან, იმოდრავებს სინათლის წყარო თუ არა. მიუხედავად მრავალნაირი ცდისეული შემოწმებისა, ეს დასკვნა უცვლელი რჩებოდა. ეს ფაქტი კი ეწინააღმდეგებოდა იმ დროისათვის არსებულ თეორიულ შეხედულებებს ეთერის არსებობისა და მისი საშუალებით სინათლის გავრცელების შესახებ. საბოლოოდ, ამ წინააღმდეგობამ მეცნიერული აზრი მიიყვანა ფარდობითობის თეორიის შექმნამდე, რასაც მოჰყვა თან დროისა და სივრცის შესახებ წარმოდგენების ძირეული ცვლილებანი და გალილეის ფარდობითობის პრინციპის განზოგადება; მაგრამ, ვიდრე აინშტაინი თავის თეორიას ჩამოაყალიბებდა, ბევრნაირი გზით იყო მცდელობა ეთერის შესახებ ჰიპოთეზის გადასარჩენად და ოპტიკურ მოვლენებზე მექანიკური თვალსაზრისის შენარჩუნებისათვის.

ყველაზე საყურადღებო ამ ტიპის ცდებიდან არის ლორენცის თეორია. ლორენცი თავის თეორიაში იცავდა ეთერის ჰიპოთეზას; მან წინა პლანზე წამოსწია სივრცულ-დროითი გაზომვების საკითხი, რომელსაც იგი განიხილავდა ნივთიერების ატომურ აღნაგობასა და ეთერში ნივთიერების მოძრაობასთან დაკავშირებით. ამ პერიოდისათვის ცნობილი იყო უკვე ე. რეზერფორდის (1871–1937) ცდები; ე. ი. იცოდნენ, რომ ყოველი ნივთიერება შედება ატომებისგან, რომელნიც თავის მხრივ შეიცავენ უარყოფითად დამუხტულ ელექტრონებს და დადებითად დამუხტულ პროტონებს. ატომებს შორის მოქმედი ძალები კარგად აიხსნებოდნენ ასეთი წარმოდგენების საფუძველზე.

ამავე დროს ჰერცის ექსპერიმენტებით მაქსველის ელექტრომაგნიტურ ტალღათა არსებობის დადასტურების შემდეგ დამთავრდა სწორედ ევოლუციის ის პერიოდი, რომლის შემდეგაც, როგორც აინშტაინი წერდა, დაიკარგა ყოველგვარი რწმენა შორი ქმედების პრინციპის მიმართ. მართლაც, თუ ელექტრომაგნიტურ ტალღას შეუძლია იარსებოს და გავრცელდეს თავისი წარმომშობი მატერიალური წყაროსგან დამოუკიდებლად, მაშინ ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება აღარ შეიძლება განხილულ იქნეს უკვე შორი ქმედების ტიპის ურთიერთქმედების სახით; ე. ი. ნიუტონის შორი ქმედების პრინციპის ნაცვლად უნდა ვაღიაროთ ველი, რომელსაც გააჩნია სივრცეში სრულიად გარკვეული სიჩქარით გავრცელების უნარი.

ამასთან ერთად, ლორენცის „ელექტრონული თეორიის“ ჩამოყალიბების წინ ჯ. ტომსონმა (1882–1940) აჩვენა, რომ მაქსველის თეორიის მიხედვით, დამუხტული სხეული მოძრაობისას წარმოქმნის თავის ირგვლივ მაგნიტურ ველს, რომლის ენერგია, ისევე როგორც კინეტიკური ენერგიის შემთხვევაში, დამოკიდებული იქნება სხეულის მოძრაობის სიჩქარეზე, ე. ი. ნაწილაკს, რომელსაც გააჩნია ძალზედ პატარა მექანიკური მასა, მაგრამ დიდი ელექტრონული მუხტი და მოძრაობის დიდი სიჩქარე, შეიძლება ჰქონდეს ძალზედ დიდი ენერჯია. ამასთან დაკავშირებით დაისვა კითხვა, ხომ არ შეიძლებოდა კინეტიკური ენერჯია განეხილათ ველის ენერჯიასთან კავშირში? ანუ ენერჯია, რომელიც წარმოადგენდა ნივთიერების ძირითად თვისებას, ხომ არ შეიძლებოდა ახსნილიყო ველის თეორიის საფუძველზე? სწორედ ამ ასპექტში საკითხის დასმამ განაპირობა ამ დროისათვის ნივთიერების ატომისტური თვისებების კვლევის საკითხის წინა პლანზე წამოწევა და თანაც უშუალოდ ველის თეორიასთან მიმართებაში.

ამ მიმართულებით კვლევა მიზნად ისახავდა ველის თეორიის შევსებას ნივთიერების შესახებ წარმოდგენებით ისე, რომ საბოლოოდ შექმნილიყო მთელი ფიზიკის საფუძველი, მაგრამ ეს ცდები უშედეგოდ დამთავრდა; ამასთან ერთად კი საბოლოოდ დაიკარგა მაქსველის თეორიის მექანიკური ინტერპრეტაციის იმედიც. ამ პერიოდისათვის ლორენცმა წამოაყენა თავისი „ელექტრონული თეორია“ და თეორია მოძრავ სხეულებში ელექტრომაგნიტური მოვლენების მიმდინარეობის შესახებ.

ლორენცმა განავითარა ტომსონის აზრი ელექტრომაგნიტური ველის საფუძველზე ენერჯიის ახსნის შესახებ, და გამოთქვა მოსაზრება, რომ ნაწილაკის მასა შეიძლება უსასრულოდ გაიზარდოს, თუ მისი მოძრაობის სიჩქარე გაიზრდება და თანდათან დაუახლოვდება სინათლის სიჩქარეს. აქედან გამომდინარე სინათლის სიჩქარე უნდა შევიდეს მოძრაობის განტოლებაში მუდმივის სახით; ე. ი. უნდა შეიცვალოს ნიუტონის კანონები. ძალის მოქმედება მასაზე დამოკიდებულია ფარდობაზე $\frac{v}{c}$, სადაც v არის სხეულის მოძრაობის სიჩქარე, c კი – სინათლის სიჩქარე. ამრიგად, ლორენცის თეორიით შესაძლებელია მივიღოთ მოძრაობის ახალი კანონები, რომელნიც შეიცავენ სინათლის სიჩქარეს c მუდმივის სახით, და იმ შემთხვევაში, როდესაც $\frac{v}{c} \ll 1$ იღებენ ნიუტონის კანონების სახეს, ხოლო როდესაც $\frac{v}{c} \sim 1$, მაშინ გამოხატავენ ახალ კანონზომიერებას.

საინტერესოა, რომ ლორენცის თეორიის საფუძველზე მოიხსნა ის წინააღმდეგობანი, რომელნიც შეიქმნა მაიკელსონის ექსპერიმენტულ მონაცემებთან დაკავშირებით; კერძოდ, ლორენცმა წამოაყენა ჰიპოთეზა მოძრაობის მიმართულებით სხეულთა დეფორმაციის (ე. წ. „ლორენცის შეკუმშვა“) შესახებ:

$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, ლორენცის ამ ჰიპოთეზის საფუძველზე შემდგომში დ. ლარმორმა (1857–1942) აჩვენა მაქსველის განტოლების ინვარიანტულობა ერთი სისტემიდან მეორეზე გადასვლის დროს იმ შემთხვევაში, თუ კოორდინატებს შორის იქნებოდა ასეთი დამოკიდებულება:

$$X^1 = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; y' = y; z' = z; t' = \frac{t - \frac{v}{c}x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

ეს ფორმულები იწოდებიან ლორენცის გარდაქმნებად და ასეთივე სახე აქვთ მათ დღეს.

მაგრამ დღეს უნდა აღინიშნოს, რომ ლორენცი, ლარმორი და შემდეგ ა. პუანკარეც (1854–1912) ავითარებდნენ თავიანთ მოსაზრებებს ეთერის ჰიპოთეზაზე დაყრდნობით. მათ აინტერესებდათ ამის საფუძველზე აეხსნათ ძირითადი ოპტიკური მოვლენები და მოძრავ სხეულებში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესები. მათ შეძლეს კიდევ ამ მოვლენათა გარკვეული ახსნა და შესაბამისი მათემატიკური აპარატის შემუშავება.