1. Elektrodinamika

Az elektrodinamika az elektromos és mágneses terek tulajdonságait és azok kölcsönhatásait vizsgálja, különös tekintettel a mozgó töltésekre. Ez az elmélet James Clerk Maxwell munkásságának köszönhetően szilárd matematikai alapokat kapott a 19. században. Maxwell négy egyenlete egyesítette az elektromos és mágneses jelenségeket, megmutatva, hogy ezek egy közös elektromágneses tér különböző aspektusai.

A Maxwell-egyenletek a következő törvényszerűségeket foglalják össze:

Gauss-törvény az elektromos térre: Ez a törvény kimondja, hogy az elektromos tér forrásai az elektromos töltések. Matematikailag ez azt jelenti, hogy az elektromos tér fluxusa egy zárt felületen keresztül arányos a felület által bezárt térfogatban lévő össztöltéssel. Ez az alapja az elektrosztatikának, amely az elektromos tér viselkedését vizsgálja nyugvó töltések esetén.

Gauss-törvény a mágneses térre: Ellentétben az elektromos térrel, a mágneses tér esetében nincsenek elkülönült „mágneses töltések” vagy monopólusok. Ez azt jelenti, hogy a mágneses tér erővonalai mindig zártak, vagyis minden mágnesnek van egy északi és egy déli pólusa.

Faraday-indukció törvénye: Ha egy mágneses tér időben változik, akkor az elektromos tér keletkezik körülötte. Ez az elv alapja az elektromágneses indukciónak, amely az elektromos generátorok és transzformátorok működését magyarázza. Ennek gyakorlati jelentősége rendkívül nagy az elektromos energiaátvitelben.

Ampère–Maxwell törvény: Egy elektromos áram (mozgó töltések) mágneses mezőt hoz létre. Továbbá, nemcsak az áram, hanem egy időben változó elektromos tér is képes mágneses teret generálni. Ez az összefüggés vezetett az elektromágneses hullámok létezésének felismeréséhez.

Ezek az egyenletek megmutatták, hogy az elektromos és mágneses tér kölcsönösen alakítják egymást, és az így kialakuló elektromágneses hullámok vákuumban egy adott sebességgel terjednek. A hullámegyenletből az is következik, hogy az elektromágneses hullámok sebessége éppen megegyezik a fény sebességével, amelynek képlete:

cé egyenlő egy per négyzetgyök alatt mű nulla epsilon nulla

ahol mű nulla a vákuum permeabilitása, epsilon nulla pedig a permittivitása. Ez a felfedezés vezetett ahhoz az elgondoláshoz, hogy a fény is elektromágneses hullám.

Az elektromágneses hullámok transzverzálisak, azaz az elektromos és mágneses tér oszcillációi egymásra és a terjedési irányra merőlegesek. Az elektrodinamika másik fontos eredménye a Lorentz-erő, amely az elektromágneses tér által egy mozgó töltésre kifejtett hatást írja le a következő képlettel:

ef egyenlő qú szorozva zárójelben E plusz vé kereszt Bé

Ez az összefüggés megmagyarázza például az elektromotorok működését, ahol a mágneses tér hatására mozgó töltések irányított erőt kapnak, amely forgómozgássá alakítható.

2. Relativitáselmélet

A klasszikus mechanika és az elektrodinamika összeegyeztethetetlensége vezetett Albert Einstein speciális relativitáselméletének (1905) megalkotásához. Az elmélet két alapfeltevésre épül:

A fizikai törvények minden inerciarendszerben ugyanazok, azaz nincs kitüntetett nyugalmi rendszer.

A fény sebessége vákuumban állandó minden megfigyelő számára, függetlenül attól, hogy a fényforrás vagy a megfigyelő milyen sebességgel mozog.

Ezek az elvek mély következményekkel járnak a tér és az idő viselkedésére:

Idődilatáció: Egy gyorsan mozgó rendszer órája lassabban jár egy külső megfigyelő szerint. Az időtágulás mértéke a sebesség növekedésével egyre nagyobb, és a következő összefüggés írja le:

delta té vessző egyenlő delta té per négyzetgyök alatt egy mínusz vé négyzet per cé négyzet

Ez azt jelenti, hogy ha egy űrhajó fénysebességhez közeli sebességgel utazik, az űrhajón belül eltelt idő sokkal rövidebb lesz, mint egy külső megfigyelő órája szerint.

Hosszkontrakció: Egy mozgó tárgy hossza a mozgás irányában rövidebbnek tűnik egy külső megfigyelő számára, a következő képlet szerint:

El vessző egyenlő El szorozva négyzetgyök alatt egy mínusz vé négyzet per cé négyzet

Ez a hatás csak nagyon nagy sebességeknél válik észrevehetővé.

Relativisztikus tömeg és energia: Einstein híres egyenlete kimondja, hogy a tömeg és az energia ekvivalens:

E egyenlő em cé négyzet

Ez az összefüggés alapvető szerepet játszik a magfizikában és a részecskefizikában, ahol a tömeg átalakulhat energiává és fordítva.

A relativitáselmélet megmutatta, hogy az elektromos és mágneses tér relatív fogalmak: egy adott megfigyelő számára elektromos térnek tűnő jelenség egy másik, mozgó megfigyelő számára mágneses térként jelentkezhet. A Lorentz-transzformációk biztosítják az elektrodinamika egyenleteinek érvényességét minden inerciarendszerben.

A speciális relativitáselmélet továbbfejlesztésével Einstein kidolgozta az általános relativitáselméletet, amely a gravitációt nem erőként, hanem a téridő görbületeként értelmezi. Ez az elmélet magyarázza a gravitációs idődilatációt, a fekete lyukak és a gravitációs hullámok jelenségeit.

Összegzés

Az elektrodinamika és a relativitáselmélet egyaránt forradalmi hatással volt a modern fizikára. Maxwell egyenletei egységesítették az elektromos és mágneses jelenségeket, míg Einstein relativitáselmélete újradefiniálta a tér és az idő fogalmát. Ezen elméletek alkalmazása kiterjed a csillagászattól a kvantumelméletig, az elektronikai eszközöktől a részecskefizikai kutatásokig.