

Sisältö

1 Johdanto	3
1.1 Mikä tämä kurssi on	3
1.2 Hieman taustaa	4
1.3 Elektrodynamiikan perusrakenne	6
1.4 Kirjallisuutta	8
2 Staattinen sähkökenttä	9
2.1 Sähkövaraus ja Coulombin laki	9
2.2 Sähkökenttä	11
2.3 Sähköstaattinen potentiaali	12
2.4 Gaussin laki	13
2.4.1 Maxwellin ensimmäinen yhtälö	13
2.4.2 Gaussin lain soveltamisesta	14
2.5 Sähköinen dipoli	17
2.6 Sähkökentän multipolikehitelmä	19
2.7 Pistevarauksen jakautuma	20
2.8 Poissonin ja Laplacen yhtälöt	20
2.9 Laplacen yhtälön ratkaiseminen	22
2.9.1 Muuttujien erottelu	23
2.9.2 Ratkaisu pallokoordinaateissa	26
2.9.3 Ratkaisu sylinterikoordinaateissa	28
2.10 Peilivarausmenetelmä	29
2.11 Poissonin yhtälön ratkaisemisesta	31

3	Sähkökenttä väliaineessa	35
3.1	Sähköinen polarisoituma	35
3.2	Polarisoituman aiheuttaman sähkökentän määrittäminen	36
3.3	Sähkövuon tiheys	38
3.4	Dielektrisyys ja susceptiivisuus	39
3.5	Sähkökenttä rajapinnalla	40
4	Sähköstaattinen energia	47
4.1	Varausjoukon potentiaalienergia	47
4.2	Varausjakautuman sähköstaattinen energia	48
4.3	Sähköstaattisen kentän energia	49
4.4	Sähkökentän voimavaikutukset	51
5	Staattinen magneettikenttä	55
5.1	Sähkövirta	55
5.1.1	Jatkuvuusyhtälö	56
5.1.2	Ohmin laki	56
5.1.3	Stationaariset virtaukset	58
5.2	Magneettivuon tiheys - Biot'n ja Savartin laki	60
5.3	Ampèren laki	63
5.4	Lorentzin voima	64
5.5	Virtasilmukan magneettimomentti	65
5.6	Magneettikentän potentiaaliesitys	67
5.6.1	Vektoripotentiali	67
5.6.2	Magneettikenttä kaukana virtasilmukasta	68
5.6.3	Magneettikentän skalaaripotentiali	69
5.7	Magneettivuo	71
6	Magneettikenttä väliaineessa	73
6.1	Magnetoituma	73
6.2	Magnetoituneen aineen aiheuttama kenttä	75

<i>SISÄLTÖ</i>	219
6.3	Magneettikentän voimakkuus 76
6.4	Suskeptiivisuus ja permeabiliteetti 77
6.5	Magneettikenttävektoreiden reunaehdot rajapinnalla 78
6.6	Reuna-arvo-ongelmia magneettikentässä 79
7	Sähkömagneettinen induktio 83
7.1	Faradayn laki 83
7.2	Itseinduktanssi 86
7.3	Keskinäisinduktanssi 88
7.4	Pähkinä purtavaksi 90
8	Magneettinen energia 91
8.1	Kytettyjen virtapiirien energia 91
8.2	Magneettikentän energiatiheys 92
8.3	Magneettikentän voimavaikutus virtapiireihin 95
9	Maxwellin yhtälöt 99
9.1	Siirrosvirta 99
9.2	Maxwellin yhtälöt 101
9.3	Sähkömagneettinen energia ja liikemäärä 102
9.3.1	Poyntingin teoreema 102
9.3.2	Maxwellin jännitystensori 104
9.3.3	Liikemäärän säilyminen 106
9.4	Sähkömagneettinen kenttä rajapinnalla 107
9.5	Aaltoyhtälö ja kenttien lähteet 110
9.5.1	Aaltoyhtälö tyhjössä 110
9.5.2	Potentiaaliesitys 110
9.5.3	Viivästyneet potentiaalit 111
9.5.4	Aaltoyhtälön Greenin funktio 113
9.6	Mittainvarianssi 115

10 Sähköiset ja magneettiset materiaalit	119
10.1 Molekulaarinen polarisoituvuus	120
10.2 Ionikiteen sähköstaattinen energia	122
10.3 Sähkönjohtavuus mikroskooppisesti	123
10.4 Molekulaarinen magneettikenttä	125
10.5 Para- ja diamagnetismista	125
10.6 Ferromagnetismi	128
10.7 Epälineaariset energiahäviöt	129
11 Sähkömagneettiset aallot	133
11.1 Tasoaallot eristeessä	133
11.2 Aaltojen polarisaatio	137
11.3 Sähkömagneettisen aallon energia	138
11.4 Tasoaallot johteessa	140
11.5 Palloaallot	142
12 Aaltojen heijastuminen ja taittuminen	147
12.1 Kohtisuora saapuminen kahden eristeen rajapinnalle	147
12.2 Saapuva aalto mielivaltaisessa kulmassa	149
12.3 Druden ja Lorentzin oskillaattorimalli	154
13 Aaltoputket ja resonanssikaviteetit	159
13.1 Sylinteriputki	159
13.2 Suorakulmainen aaltoputki	162
13.3 Resonanssikaviteetit	164
14 Liikkuvan varauksen kenttä	167
14.1 Liénardin ja Wiechertin potentiaalit	167
14.2 Kenttien laskeminen	168
14.2.1 Vakionopeudella liikkuvan varauksen kenttä	171
14.2.2 Kiihtyvässä liikkeessä olevan varauksen kenttä	173

<i>SISÄLTÖ</i>	221
15 Säteilevät systeemit	175
15.1 Värähtelevän dipolin kenttä	175
15.2 Puoliaaltoantenni	178
15.3 Liikkuvan varausjoukon aiheuttama kenttä	180
15.4 Aallon vaimeneminen ja Thomsonin sironta	182
16 Elektrodynamiikka ja suhteellisuusteoria	185
16.1 Lorentzin muunnos	185
16.2 Tensoriformalismia	188
16.3 Lorentzin muunnokset ja dynamiikka	190
16.4 Elektrodynamiikan kovariantti formulointi	194
16.5 Kenttien muunnokset	196
16.6 Potentiaalien muunnokset	198
16.7 Säilymislait	199
17 Varatun hiukkasen liike SM-kentässä	201
17.1 Säteilyhäviöiden vaikutus	201
17.2 Homogeeninen ja staattinen B	202
17.3 Homogeeniset ja staattiset B ja E	204
17.4 Liikkeyhtälö kanonisessa formalismissa	205
18 Lisäaineistoa	209
18.1 Laplacen yhtälön ratkaisu laatikossa	209
18.2 Pistevaraus eristepinnan lähellä	210
18.3 Vektoripotentiaalin multipolikehitelmä	212
18.4 RLC-piiri	213
18.5 Lorentz-muunnos	214