

Sisältö

1 Johdanto	3
1.1 Mikä tämä kurssi on	3
1.2 Hieman taustaa	4
1.3 Elektrodynamiikan perusrakenne	5
1.4 Pari sanaa laskennasta	7
1.5 Kirjallisuutta	8
2 Staattinen sähkökenttä	9
2.1 Sähkövaraus ja Coulombin laki	9
2.2 Sähkökenttä	11
2.3 Sähköstaattinen potentiaali	13
2.4 Gaussin laki	14
2.4.1 Maxwellin ensimmäinen yhtälö	14
2.4.2 Gaussin lain soveltamisesta	15
2.5 Sähköinen dipoli	17
2.6 Sähkökentän multipolikehitelmä	18
2.7 Poissonin ja Laplacen yhtälöt	19
2.8 Laplacen yhtälön ratkaiseminen	21
2.8.1 Karteesinen koordinaatisto	21
2.8.2 Pallokoordinaatisto	23
2.8.3 Sylinterikoordinaatisto	28
2.9 Kuvalähdemenetelmä	29
2.10 Greenin funktiot	31

3	Sähkökenttä väliaineessa	35
3.1	Sähköinen polarisoituma	35
3.2	Polarisoituman aiheuttama sähkökenttä	36
3.3	Sähkövuon tiheys	37
3.4	Dielektrisyys ja susceptiivisuus	38
3.5	Sähkökenttä rajapinnalla	39
3.5.1	Eristepallo sähkökentässä	41
3.5.2	Pistevaraus eristepinnan lähellä	43
3.6	Molekulaarinen polarisoituvuus	44
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	52
4.5	Maxwellin jännitystensori sähköstatiikassa	54
5	Staattinen magneettikenttä	57
5.1	Sähkövirta	57
5.1.1	Jatkuvuusyhtälö	58
5.1.2	Ohmin laki	58
5.1.3	Johtavuuden klassinen selitys	60
5.1.4	Samoilla yhtälöillä on samat ratkaisut	61
5.2	Magneettivuon tiheys - Biot'n ja Savartin laki	62
5.3	Ampèren laki	66
5.4	Virtasilmukan magneettimomentti	67
5.5	Magneettikentän potentiaaliesitys	69
5.5.1	Vektoripotentiaali	69
5.5.2	Multipolikehitelmä	70
5.5.3	Magneettikentän skalaaripotentiaali	71
5.6	Lorentzin voima	73

<i>SISÄLTÖ</i>	195
6 Magneettikenttä väliaineessa	75
6.1 Magnetoituma	75
6.2 Magnetoituneen aineen aiheuttama kenttä	76
6.3 Magneettikentän voimakkuus	78
6.4 Suskeptiivisuus ja permeabiliteetti	79
6.5 Magneettikenttävektoreiden rajapintaehdot	80
6.6 Reuna-arvotehtäviä magneettikentässä	81
6.7 Molekulaarinen magneettikenttä	84
6.8 Para- ja diamagnetismista	84
6.9 Ferromagnetismi	86
7 Sähkömagneettinen induktio	89
7.1 Faradayn laki	89
7.2 Itseinduktio	93
7.3 Keskinäisinduktio	94
7.4 Pähkinä purtavaksi: Feynmanin kiekko	95
8 Magneettinen energia	97
8.1 Kytettyjen virtapiirien energia	97
8.2 Magneettikentän energiatiheys	99
8.3 RCL-piiri	101
8.4 Epälineaariset energiahäviöt	102
8.5 Magneettikentän voimavaikutus virtapiireihin	104
8.6 Maxwellin jännitystensori magnetostatiikassa	107
9 Maxwellin yhtälöt	109
9.1 Siirrosvirta	109
9.2 Maxwellin yhtälöt	111
9.3 Sähkömagneettinen kenttä rajapinnalla	112
9.4 Sähkömagneettinen energia ja liikemäärä	114
9.4.1 Poyntingin teoreema: energian säilyminen	114
9.4.2 Maxwellin jännitystensori	115

9.4.3	Liikemäärän ja liikemäärämomentin säilyminen	117
9.5	Aaltoyhtälö ja kenttien lähteet	117
9.5.1	Aaltoyhtälö tyhjöissä	117
9.5.2	Potentiaaliesitys	118
9.5.3	Viivästyneet potentiaalit	119
9.5.4	Aaltoyhtälön Greenin funktio	121
9.6	Mittainvarianssi	123
10	Sähkömagneettiset aallot	125
10.1	Tasoaallot eristeessä	125
10.2	Aaltojen polarisaatio	128
10.3	Sähkömagneettisen aallon energia	130
10.4	Tasoaallot johteessa	131
10.5	Druden ja Lorentzin oskillaattorimalli	133
10.6	Palloaallot	136
11	Aaltojen heijastuminen ja taittuminen	139
11.1	Kohtisuora saapuminen kahden eristeen rajapinnalle	139
11.2	Saapuva aalto mielivaltaisessa kulmassa	141
12	Aaltoputket ja resonanssikaviteetit	147
12.1	Sylinteriputki	147
12.2	Suorakulmainen aaltoputki	150
12.3	Resonanssikaviteetit	152
13	Liikkuvan varauksen kenttä	155
13.1	Liénardin ja Wiechertin potentiaalit	155
13.2	Kenttien laskeminen	156
13.2.1	Vakionopeudella liikkuvan varauksen kenttä	159
13.2.2	Kiihtyvässä liikkeessä olevan varauksen kenttä	160

<i>SISÄLTÖ</i>	197
14 Elektrodynamiikka ja suhteellisuusteoria	163
14.1 Lorentzin muunnos	163
14.2 Tensorilaskentaa	167
14.3 Lorentzin muunnokset ja dynamiikka	169
14.4 Elektrodynamiikan kovariantti formulointi	174
14.5 Kenttien muunnokset	176
14.6 Potentiaalien muunnokset	178
14.7 Säilymislait	179
15 Varatun hiukkasen liike SM-kentässä	181
15.1 Säteilyhäviöiden vaikutus	181
15.2 Homogeeninen ja staattinen B	182
15.3 Homogeeniset ja staattiset B ja E	184
15.4 Liiketyhtälö kanonisessa formalismissa	184
16 Ihan oikea esimerkki	187
16.1 Avaruussäästä	187
16.2 GI-virran laskeminen sähköverkossa	188