

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



# Elektrooptični pojav v feroelektričnem tekočem kristalu

7. naloga pri Fizikalnem praktikumu V

**Avtor:** Marko Urbanč (28191096)  
**Asistent:** Martin Rigler

7.1.2022

## Kazalo

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Potrebnosti</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Naloge</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Meritve</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Obdelava podatkov</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Izračuni</b>	<b>5</b>
6.1	Sorazmernost odziva z modulacijo . . . . .	5
6.2	Določanje relaksacijskega časa . . . . .	5

# 1 Uvod

Tekoče kristale tvorijo podolgovate molekule, ki se pri ne previsokih temperaturah orientacijsko uredijo. Za smektične tekoče kristale je poleg orientacijskega reda značilna tudi plastovita struktura. Molekule se ureduje v plasti, plasti same se pa vedejo kot dvorazsežna tekočina. V smektikih A kaže odlikovana smer, ki ji pravimo **direktor**, vzdolž normale plasti, v smektikih C pa ne, oklepa nek kot z normalo (10 - 30).

Feroelektrične smektične C\* tvorijo molekule, ki imajo velik električni dipolni moment prečno na vzdolžno os molekul, zato se v teh snoveh pojavi električna polarizacija, ki leži v ravnini plasti in je pravokotna na direktor. Približno je sorazmerna s kotom nagiba. Tekoči kristali so posebej uporabni zaradi dvolumnosti, ki izhaja iz orientacijske urejenosti molekul, kjer je optična os vzporedna z direktorejm.

Polarizacijo plasti lahko uredimo v isto smer bodisi z zunanjim poljem ali tako, da vzorec vgradimo s ploščicama, ki prepisujeta orientacijo molekul. Če je razmik med ploščicama majhen (reda  $\mu m$ ), se direktor uredi v predpisani smeri po vsem vzorcu. Smektične ravnine so pravokotne na ploščici električna polarizacija pa leži v ravnini ploščic.

Pri tankem površinsko stabiliziranem feroelektričnem tekočem kristalu v zunanjem polju se polarizacija deloma zasuka v smeri polja. Tudi direktor se deloma zasuka na stožcu smeri, ki ga določa nagib direktorja glede na normalo plasti. Zasuk električne polarizacije je sorazmeren z električnim poljem, posledično je sorazmeren tudi zasuk optične osi. Linearnemu odzivu lomnega količnika na zunanje električno polje pravimo **elektrooptični pojav**. Zasuk polarizacije je v izmeničnem polju odvisen tudi od frekvence. Če je previsoka polarizacija ne more več slediti polju. Odvisnost spremembe polarizacije ( $\delta P$ ) od frekvence lahko opišemo z Debyjevim relaksacijskim modelom:

$$\delta P = \delta P_0 \frac{1}{1 + i\omega\tau} \quad (1)$$

Relaksacijski čas  $\tau$  je odvisen od viskoznosti TK in od debeline vzorca.

Spremembo smeri optične osi zaznamo tako, da opazujemo kako se spremeni polarizacija svetlobe pri prehodu skozi vzorec. Na vzorec posvetimo s polarizirano svetlobo in merimo svetlobno moč, ki jo prepušča analizator za vzorcem. Prepuščeno moč merimo s pomočjo fotodiode. V TK je zasuk optične osi  $\psi$  zaradi viskoznosti snovi zakasnen glede na zunanje električno polje. Del, ki je v fazi dobimo kot realni del enačbe 1, del ki je pa zamaknjen za 90 pa kot imaginarni del 1.

$$\psi_r = \frac{\psi_0}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (2)$$

$$\psi_i = -\frac{\psi_0\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (3)$$

## 2 Potrebščine

- Laser
- Fazno občutljivi ojačevalci z multimetrom
- Foto diodo
- Analizator
- Vzorec
- Osciloskop

## 3 Naloge

- Prepričaj se, da je elektrooptični odziv sorazmeren z modulacijo do neke napetosti.
- Nariši obe komponenti signala kot funkciji frekvence in določi relaksacijski čas.
- Nariši razmerje med signaloma v odvisnosti od frekvence in določi relaksacijski čas.

## 4 Meritve

Meritve sem zapisal v svoj laboratorijski dnevnik. Ker imam težave z dotikanjem zvezka, ki je bil na faksu, sem se odločil poskusiti narediti poročilo v .pdf obliki.

$f$ [Hz]	$U$ [V]	$I$ [A]
20	0.001	0.001
20	0.002	0.002
20	0.003	0.003
20	0.004	0.004
20	0.005	0.005
20	0.006	0.006
20	0.007	0.007
20	0.008	0.008
20	0.009	0.009
20	0.010	0.010
20	0.011	0.011
20	0.012	0.012
20	0.013	0.013
20	0.014	0.014
20	0.015	0.015
20	0.016	0.016
20	0.017	0.017
20	0.018	0.018
20	0.019	0.019
20	0.020	0.020
20	0.021	0.021
20	0.022	0.022
20	0.023	0.023
20	0.024	0.024
20	0.025	0.025
20	0.026	0.026
20	0.027	0.027
20	0.028	0.028
20	0.029	0.029
20	0.030	0.030
20	0.031	0.031
20	0.032	0.032
20	0.033	0.033
20	0.034	0.034
20	0.035	0.035
20	0.036	0.036
20	0.037	0.037
20	0.038	0.038
20	0.039	0.039
20	0.040	0.040
20	0.041	0.041
20	0.042	0.042
20	0.043	0.043
20	0.044	0.044
20	0.045	0.045
20	0.046	0.046
20	0.047	0.047
20	0.048	0.048
20	0.049	0.049
20	0.050	0.050
20	0.051	0.051
20	0.052	0.052
20	0.053	0.053
20	0.054	0.054
20	0.055	0.055
20	0.056	0.056
20	0.057	0.057
20	0.058	0.058
20	0.059	0.059
20	0.060	0.060
20	0.061	0.061
20	0.062	0.062
20	0.063	0.063
20	0.064	0.064
20	0.065	0.065
20	0.066	0.066
20	0.067	0.067
20	0.068	0.068
20	0.069	0.069
20	0.070	0.070
20	0.071	0.071
20	0.072	0.072
20	0.073	0.073
20	0.074	0.074
20	0.075	0.075
20	0.076	0.076
20	0.077	0.077
20	0.078	0.078
20	0.079	0.079
20	0.080	0.080
20	0.081	0.081
20	0.082	0.082
20	0.083	0.083
20	0.084	0.084
20	0.085	0.085
20	0.086	0.086
20	0.087	0.087
20	0.088	0.088
20	0.089	0.089
20	0.090	0.090
20	0.091	0.091
20	0.092	0.092
20	0.093	0.093
20	0.094	0.094
20	0.095	0.095
20	0.096	0.096
20	0.097	0.097
20	0.098	0.098
20	0.099	0.099
20	0.100	0.100
20	0.101	0.101
20	0.102	0.102
20	0.103	0.103
20	0.104	0.104
20	0.105	0.105
20	0.106	0.106
20	0.107	0.107
20	0.108	0.108
20	0.109	0.109
20	0.110	0.110
20	0.111	0.111
20	0.112	0.112
20	0.113	0.113
20	0.114	0.114
20	0.115	0.115
20	0.116	0.116
20	0.117	0.117
20	0.118	0.118
20	0.119	0.119
20	0.120	0.120
20	0.121	0.121
20	0.122	0.122
20	0.123	0.123
20	0.124	0.124
20	0.125	0.125
20	0.126	0.126
20	0.127	0.127
20	0.128	0.128
20	0.129	0.129
20	0.130	0.130
20	0.131	0.131
20	0.132	0.132
20	0.133	0.133
20	0.134	0.134
20	0.135	0.135
20	0.136	0.136
20	0.137	0.137
20	0.138	0.138
20	0.139	0.139
20	0.140	0.140
20	0.141	0.141
20	0.142	0.142
20	0.143	0.143
20	0.144	0.144
20	0.145	0.145
20	0.146	0.146
20	0.147	0.147
20	0.148	0.148
20	0.149	0.149
20	0.150	0.150
20	0.151	0.151
20	0.152	0.152
20	0.153	0.153
20	0.154	0.154
20	0.155	0.155
20	0.156	0.156
20	0.157	0.157
20	0.158	0.158
20	0.159	0.159
20	0.160	0.160
20	0.161	0.161
20	0.162	0.162
20	0.163	0.163
20	0.164	0.164
20	0.165	0.165
20	0.166	0.166
20	0.167	0.167
20	0.168	0.168
20	0.169	0.169
20	0.170	0.170
20	0.171	0.171
20	0.172	0.172
20	0.173	0.173
20	0.174	0.174
20	0.175	0.175
20	0.176	0.176
20	0.177	0.177
20	0.178	0.178
20	0.179	0.179
20	0.180	0.180
20	0.181	0.181
20	0.182	0.182
20	0.183	0.183
20	0.184	0.184
20	0.185	0.185
20	0.186	0.186
20	0.187	0.187
20	0.188	0.188
20	0.189	0.189
20	0.190	0.190
20	0.191	0.191
20	0.192	0.192
20	0.193	0.193
20	0.194	0.194
20	0.195	0.195
20	0.196	0.196
20	0.197	0.197
20	0.198	0.198
20	0.199	0.199
20	0.200	0.200
20	0.201	0.201
20	0.202	0.202
20	0.203	0.203
20	0.204	0.204
20	0.205	0.205
20	0.206	0.206
20	0.207	0.207
20	0.208	0.208
20	0.209	0.209
20	0.210	0.210
20	0.211	0.211
20	0.212	0.212
20	0.213	0.213
20	0.214	0.214
20	0.215	0.215
20	0.216	0.216
20	0.217	0.217
20	0.218	0.218
20	0.219	0.219
20	0.220	0.220
20	0.221	0.221
20	0.222	0.222
20	0.223	0.223
20	0.224	0.224
20	0.225	0.225
20	0.226	0.226
20	0.227	0.227
20	0.228	0.228
20	0.229	0.229
20	0.230	0.230
20	0.231	0.231
20	0.232	0.232
20	0.233	0.233
20	0.234	0.234
20	0.235	0.235
20	0.236	0.236
20	0.237	0.237
20	0.238	0.238
20	0.239	0.239
20	0.240	0.240
20	0.241	0.241
20	0.242	0.242
20	0.243	0.243
20	0.244	0.244
20	0.245	0.245
20	0.246	0.246
20	0.247	0.247
20	0.248	0.248
20	0.249	0.249
20	0.250	0.250
20	0.251	0.251
20	0.252	0.252
20	0.253	0.253
20	0.254	0.254
20	0.255	0.255
20	0.256	0.256
20	0.257	0.257
20	0.258	0.258
20	0.259	0.259
20	0.260	0.260
20	0.261	0.261
20	0.262	0.262
20	0.263	0.263
20	0.264	0.264
20	0.265	0.265
20	0.266	0.266
20	0.267	0.267
20	0.268	0.268
20	0.269	0.269
20	0.270	0.270
20	0.271	0.271
20	0.272	0.272
20	0.273	0.273
20	0.274	0.274
20	0.275	0.275
20	0.276	0.276
20	0.277	0.277
20	0.278	0.278
20	0.279	0.279
20	0.280	0.280
20	0.281	0.281
20	0.282	0.282
20	0.283	0.283
20	0.284	0.284
20	0.285	0.285
20	0.286	0.286
20	0.287	0.287
20	0.288	0.288
20	0.289	0.289
20	0.290	0.290
20	0.291	0.291
20	0.292	0.292
20	0.293	0.293
20	0.294	0.294
20	0.295	0.295
20	0.296	0.296
20	0.297	0.297
20	0.298	0.298
20	0.299	0.299
20	0.300	0.300
20	0.301	0.301
20	0.302	0.302
20	0.303	0.303
20	0.304	0.304
20	0.305	0.305
20	0.306	0.306
20	0.307	0.307
20	0.308	0.308
20	0.309	0.309
20	0.310	0.310
20	0.311	0.311
20	0.312	0.312
20	0.313	0.313
20	0.314	0.314
20	0.315	0.315
20	0.316	0.316
20	0.317	0.317
20	0.318	0.318
20	0.319	0.319
20	0.320	0.320
20	0.321	0.321
20	0.322	0.322
20	0.323	0.323
20	0.324	0.324
20	0.325	0.325
20	0.326	0.326
20	0.327	0.327
20	0.328	0.328
20	0.329	0.329
20	0.330	0.330
20	0.331	0.331
20	0.332	0.332
20	0.333	0.333
20	0.334	0.334
20	0.335	0.335
20	0.336	0.336
20	0.337	0.337
20	0.338	0.338
20	0.339	0.339
20	0.340	0.340
20	0.341	0.341
20	0.342	0.342
20	0.343	0.343
20	0.344	0.344
20	0.345	0.345
20	0.346	0.346
20	0.347	0.347
20	0.348	0.348
20	0.349	0.349
20	0.350	0.350
20	0.351	0.351
20	0.352	0.352
20	0.353	0.353
20	0.354	0.354
20	0.355	0.355
20	0.356	0.356
20	0.357	0.357
20	0.358	0.358
20	0.359	0.359
20	0.360	0.360
20	0.361	0.361
20	0.362	0.362
20	0.363	0.363
20	0.364	0.364
20	0.365	0.365
20	0.366	0.366
20	0.367	0.367
20	0.368	0.368
20	0.369	0.369
20	0.370	0.370
20	0.371	0.371
20	0.372	0.372
20	0.373	0.373
20	0.374	0.374
20	0.375	0.375
20	0.376	0.376
20	0.377	0.377
20	0.378	0.378
20	0.379	0.379
20	0.380	0.380

U = 0,142 V  $P_{\text{max}} = 0$

$\gamma [V]$	$X [V]$	$Y [V]$	$\gamma$	X	Y	$\gamma$	X	Y
1	-0,039	0,283	7,6	0,66	0,489	30	0,349	-0,261
4,1	-0,039	0,324	8	0,66	0,482	30,5	0,349	-0,260
12	0,000	0,347	9,5	0,660	-0,006	32	0,351	-0,261
13	0,038	0,347	9	0,658	-0,023	33	0,343	-0,262
14	0,064	0,333	9,5	0,647	-0,049	34	0,335	-0,262
15	0,091	0,304	10	0,630	-0,076	35	0,328	-0,262
16	0,121	0,265	11	0,624	-0,097	36	0,320	-0,262
17	0,149	0,214	12	0,621	-0,113	37	0,313	-0,263
18	0,174	0,163	13	0,590	-0,135	38	0,304	-0,263
19	0,200	0,118	14	0,573	-0,163	39	0,300	-0,262
2	0,222	0,430	15	0,557	-0,179	40	0,293	-0,262
2,5	0,237	0,433	16	0,540	-0,191	41	0,285	-0,262
3	0,241	0,434	17	0,524	-0,201	42	0,277	-0,262
3,5	0,241	0,414	18	0,509	-0,212	43	0,269	-0,262
4	0,236	0,401	19	0,493	-0,220	44	0,261	-0,262
4,5	0,226	0,380	20	0,479	-0,227	45	0,254	-0,261
5	0,216	0,376	22	0,456	-0,238	46	0,250	-0,259
5,5	0,199	0,268	23	0,442	-0,242	47	0,244	-0,257
6	0,182	0,123	24	0,430	-0,246	48	0,241	-0,257
6,5	0,165	0,113	25	0,420	-0,250	49	0,240	-0,254
7	0,157	0,107	27	0,398	-0,264	50	0,239	-0,254
			28	0,389	-0,264	52	0,231	-0,252
			29	0,378	-0,255	54	0,221	-0,252

Slika 2: Meritve v laboratorijskem dnevniku

$\gamma$	X	Y	$\gamma$	X	Y	$\gamma$	X	Y
56	0,213	-0,249	165	0,049	-0,141	260	0,008	-0,000
58	0,205	-0,247	160	0,046	-0,141	261	0,007	-0,000
60	0,197	-0,245	166	0,044	-0,141	262	0,006	-0,000
65	0,180	-0,239	170	0,041	-0,137	400	0,005	-0,000
70	0,165	-0,233	175	0,039	-0,134	420	0,003	-0,000
75	0,151	-0,227	180	0,037	-0,131	440	0,002	-0,000
80	0,140	-0,221	185	0,035	-0,128	460	0,002	-0,000
85	0,129	-0,215	190	0,033	-0,125	480	0,002	-0,000
90	0,119	-0,209	195	0,032	-0,122	500	0,002	-0,000
95	0,110	-0,203	200	0,029	-0,120	520	0,001	-0,000
100	0,101	-0,197	210	0,027	-0,115	540	0,001	-0,000
105	0,095	-0,192	220	0,024	-0,111	560	0,000	-0,000
110	0,088	-0,186	230	0,021	-0,107	580	0,000	-0,000
115	0,082	-0,180	240	0,019	-0,104	600	0,000	-0,000
120	0,076	-0,174	250	0,017	-0,101	620	0,000	-0,000
125	0,071	-0,167	260	0,016	-0,099	640	0,000	-0,000
130	0,067	-0,161	270	0,015	-0,098	660	0,000	-0,000
135	0,063	-0,155	280	0,014	-0,097	680	0,000	-0,000
140	0,059	-0,150	290	0,013	-0,096	700	0,000	-0,000
145	0,056	-0,145	300	0,012	-0,094	720	0,000	-0,000
150	0,051	-0,140	310	0,011	-0,093	740	0,000	-0,000
			320	0,010	-0,091	760	0,000	-0,000

Slika 3: Meritve v laboratorijskem dnevniku

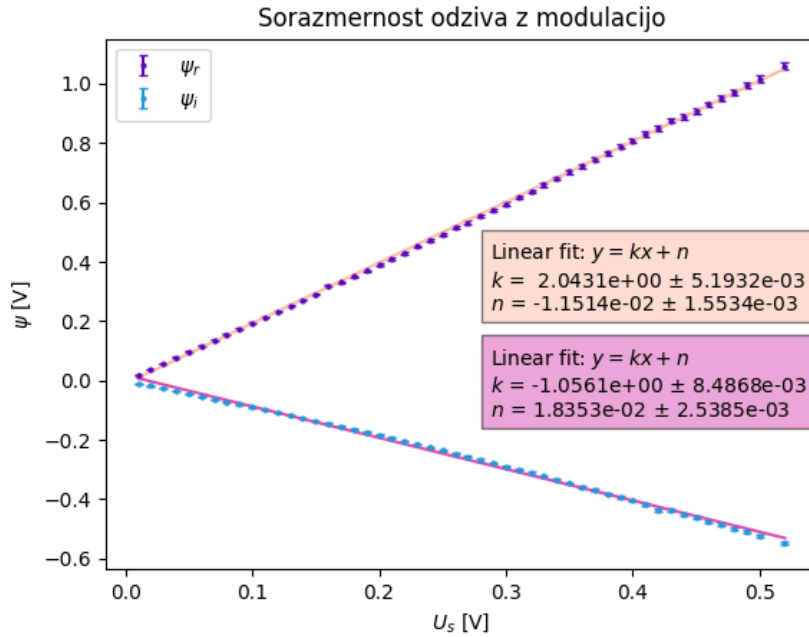
## 5 Obdelava podatkov

Meritve sem prepisal v excel in jih izvozil kot .csv, kar sem nadaljno obdelal v Pythonu z standardnim setom paketov matplotlib, NumPy in rutino za prileganje krivulj `scipy.optimize.curve_fit()`.

## 6 Izračuni

### 6.1 Sorazmernost odziva z modulacijo

Pri fiksni frekvenci  $\nu = 20$  Hz sem preveril, če sta obe komponenti signala odziva res sorazmerna. S prilaganjem premic se vidi, da je odziv res linearen.



Slika 4: Sorazmernost odziva z modulacijo

### 6.2 Določanje relaksacijskega časa

Sedaj sem meril pri fiksni napetosti  $U = 0.242$  V, spreminjal pa sem frekvenco. S prilaganjem funkcij (2) in (3) sem določil relaksacijski čas za vzorec kot (Slika 5):

$$\tau_1 = (0.0037 \pm 0.0002) \text{ s} \quad \tau_2 = (0.0034 \pm 0.0001) \text{ s}$$

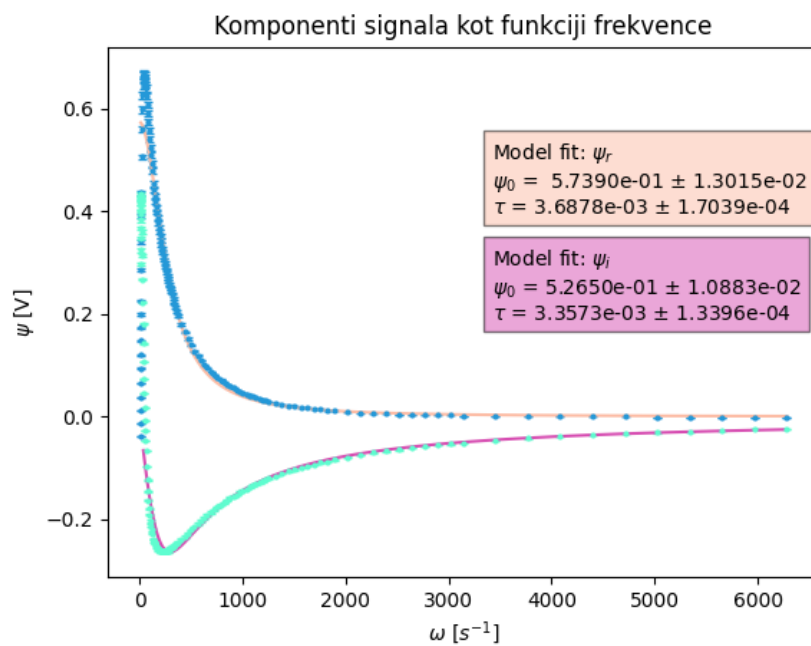
Za konec sem pa izračunal  $\tau$  še tako da sem izračunal kvocient komponent. Z deljenjem (2) in (3) dobimo:

$$\psi_i / \psi_r = -\tau \omega \quad (4)$$

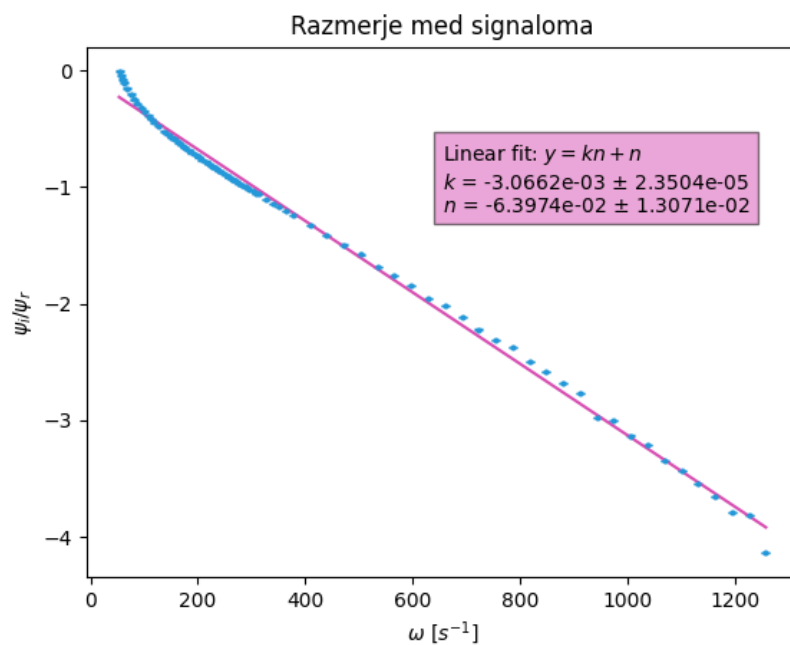
Tako sem dobil še čas (Slika 6):

$$\tau = (0.00306 \pm 0.00001) \text{ s}$$

Kar se pa le zelo grobo ujema z prej dobljenim časom. Verjetno je za odstopanje odgovorno nekoliko bolj slabo "fittanje" modelskih krivulj. Premico je mnogo lažje natančno določiti.



Slika 5: Določanje relaksacijskega časa z prileganjem modela



Slika 6: Razmerje komponent signala