



## Fizikalni praktikum IV

### Poročilo

# Vaja: Dielektrična anizotropija tekočih kristalov

Simon Bukovšek

Datum vaje: 20. marec 2023

Datum oddaje poročila: 27. marec 2023

## 1 Teoretični uvod

V nematični fazi tekočega kristala je dielektričnost odvisna od smeri poravnosti kristalov. Velja

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{\perp} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{\parallel} \end{bmatrix},$$

pri čemer sta  $\varepsilon_{\perp}$  in  $\varepsilon_{\parallel}$  dielektričnosti v smeri pravokotno in vzporedno na vektor usmerjenosti kristalov, imenovan direktor. Mera za urejenost tekočih kristalov  $S$  je premo sorazmerna z razliko v dielektričnosti tekočega kristala v smeri direktorja in pravokotno nanj. Pri prehodu iz nematske v tekočo fazo se urejenost skokoma spremeni, zato se spremeni tudi dielektrična anizotropija.

Ko na tekočekristalno celico pritismo napetost v smeri pravokotno na direktor, se celica nekoliko deformira, saj se kristali želijo orientirati v smeri polja. Sprememba v orientaciji se zgodi šele po neki mejni napetosti, ko ta sprememba postane energijsko ugodna. Mejna napetost je podana po formuli

$$U_c = \pi \sqrt{\frac{K_1}{\Delta\varepsilon\varepsilon_0}},$$

kjer je  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}$  in  $K_1$  orientacijska elastična konstanta tekočega kristala.

## 2 Pripomočki

- Eksperimentalna priprava je sestavljena iz grelca (dveh avtomobilskih žarnic) in osrednjega dela, v katerem sta dve celici tekočega kristala E7, urejenega v ravnini stekelc in pravokotno nanje, ter senzor temperature PT100;
- GWinstek L/C/R meter 800;
- Agilent 34410A multimeter;

- izvor napetosti za napajanje žarnic;
- celica tekočega kristala urejenega v ravnini stekelc;
- osciloskop (Tektronix TDS 2012B);
- funkcijski generator (GW Instek SFG-2004);
- vezje za merjenje karakteristike  $U(I)$ .

### 3 Meritve

Njprej smo merili kakšna je dielektrična konstanta tekočega kristala pri različnih temperaturah v dveh smereh – v smeri poravnave kristalov in v smeri pravokotno na to. V drugem delu smo merili kapacitivnost tekočerkristalne celice za različne pritisnjene napetosti in opazovali Frederickov prehod.

### 4 Izmerjeni podatki

Najprej smo pri različnih temperaturah merili kapacitivnost tekočerkristalne celice v dveh smereh: pravokotno in vzporedno na orientacijo kristalov. Meritve so podane v spodnji tabeli. Kapacitivnosti praznih kondenzatorjev je  $C_{\perp} = 53.4 \text{ pF}$  in  $C_{\parallel} = 56.5 \text{ pF}$

Nato smo merili tok skozi tekočerkristalni kondenzator v odvisnosti od napetosti pri frekvenci  $\nu = 10 \text{ kHz}$ . Podatki so zbrani v spodnji tabeli. V drugem stolpcu je napetost na upor  $R = 1 \text{ k}\Omega$ , skozi katerega je tekkel tok.

### 5 Analiza podatkov

Iz izmerjenih kapacitivnosti smo izračunali primerne dielektrične konstante:

$$\varepsilon_{\perp} = \frac{C_{\text{izm}}}{C_{\perp}}, \quad \varepsilon_{\parallel} = \frac{C_{\text{izm}}}{C_{\parallel}},$$

nato pa še dve kombinaciji dielektričnosti

$$\varepsilon_{\text{avg}} = \frac{2\varepsilon_{\perp} + \varepsilon_{\parallel}}{3} \quad \text{in} \quad \Delta\varepsilon = \varepsilon_{\perp} - \varepsilon_{\parallel}.$$

Izračuni so podani v spodnji tabeli.

Grafirali smo posamezne dielektričnosti v odvisnosti od temperature. Odvisnosti so prikazane na spodnjih grafih. Iz tega grafa je zelo težko oceniti temperaturni prehod, ampak zdi se, da je okoli  $T_0 = (58.0 \pm 0.5) \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Iz podatkov o tokovih skozi kondenzator pri različnih napetostih smo izračunali kapacitivnosti tekočerkristalne celice pri izmerjenih napetostih:

$$C = \frac{I_{\text{amp}}}{\omega U_{\text{amp}}}.$$

Pri tem je  $U_{\text{amp}} = U_{\text{max}}/\sqrt{2}$ , saj imamo izmenično napetost. Frekvenca je  $10 \text{ kHz}$ . Izračuni so podani v spodnji tabeli in odvisnost prikazana na spodnjem grafu.

Ocenimo lahko, da je kritična napetost pri kateri pride do Friderickovega prehoda enaka

$$U_c = (0.85 \pm 0.01) \text{ V}.$$

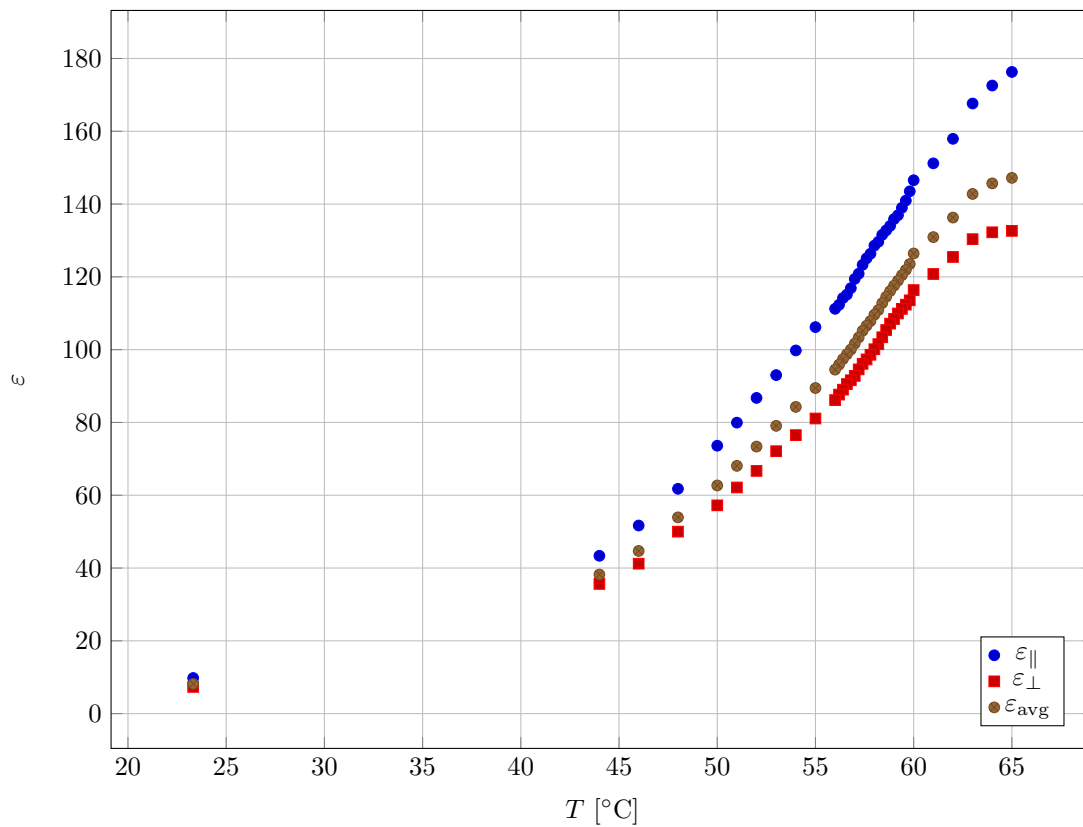
Dobimo

$$K_1 = \frac{U_c^2}{\pi^2} \Delta\varepsilon\varepsilon_0 = 1.588 \cdot 10^{-12} \text{ N}.$$

vzporedno			pravokotno		
$T$ [°C]	$C$ [nF]	$R$ [kΩ]	$T$ [°C]	$C$ [nF]	$R$ [kΩ]
(±0.01 °C)	(±0.001 nF)	(±0.01 kΩ)	(±0.01 °C)	(±0.001 nF)	(±0.01 kΩ)
65.0	7.083	70.42	65.0	9.961	66.81
64.0	7.062	70.51	64.0	9.750	67.40
63.0	6.961	71.00	63.0	9.471	68.32
62.0	6.700	72.31	62.0	8.923	69.85
61.0	6.450	74.15	61.0	8.542	71.36
60.0	6.214	75.92	60.0	8.280	73.65
59.8	6.064	77.09	59.8	8.108	74.76
59.6	6.000	77.67	59.6	7.964	75.68
59.4	5.938	78.21	59.4	7.852	76.36
59.2	5.871	78.81	59.2	7.737	76.99
59.0	5.790	79.56	59.0	7.677	77.41
58.8	5.722	80.21	58.8	7.571	78.05
58.6	5.628	81.29	58.6	7.501	78.51
58.4	5.522	82.45	58.4	7.433	78.92
58.2	5.421	83.70	58.2	7.324	79.43
58.0	5.346	84.78	58.0	7.265	79.91
57.8	5.265	86.00	57.8	7.139	80.57
57.6	5.197	87.02	57.6	7.067	80.87
57.4	5.132	88.14	57.4	6.967	81.38
57.2	5.051	89.95	57.2	6.829	81.94
57.0	4.955	91.17	57.0	6.748	82.33
56.8	4.891	92.74	56.8	6.605	82.75
56.6	4.835	94.00	56.6	6.505	83.06
56.4	4.753	96.12	56.4	6.451	83.28
56.2	4.681	98.25	56.2	6.346	83.58
56.0	4.600	99.78	56.0	6.284	83.79
55.0	4.330	107.1	55.0	6.000	84.65
54.0	4.086	114.5	54.0	5.638	86.00
53.0	3.850	120.8	53.0	5.255	88.33
52.0	3.561	127.7	52.0	4.901	91.26
51.0	3.318	134.5	51.0	4.517	95.23
50.0	3.056	142.0	50.0	4.159	99.78
47.7	2.670	154.5	48.0	3.49	109.2
45.7	2.200	172.1	46.0	2.92	119.2
44.0	1.903	187.0	44.0	2.45	129.2
23.32	0.392	292.3	23.32	0.5531	1135.3

$U_{\text{amp}}$ [V] ( $\pm 0.02$ V)	$U_I$ [mV] ( $\pm 10$ mV)
0.7	90
0.8	105
0.9	115
1.0	110
1.1	115
1.2	110
1.3	125
1.4	130
1.5	135
1.6	150
1.7	160
1.8	170
1.9	175
2.0	200
2.1	220
2.2	225
2.3	230
2.4	250
2.5	255
3.0	320
3.5	400
4.0	480
4.5	520
5.0	590

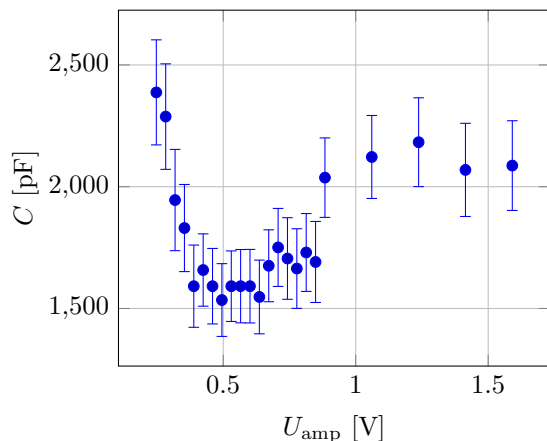
Odvisnost dielektričnosti tekočega kristala od temperature



$T$ [°C]	$\varepsilon_{\perp}$	$\varepsilon_{\parallel}$	$\frac{1}{3}(2\varepsilon_{\perp} + \varepsilon_{\parallel})$	$\Delta\varepsilon$
0.01 °C	$6 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$
65.0	132.64	176.30	147.19	43.66
64.0	132.25	172.57	145.69	40.32
63.0	130.36	167.63	142.78	37.27
62.0	125.47	157.93	136.29	32.46
61.0	120.79	151.19	130.92	30.40
60.0	116.37	146.55	126.43	30.18
59.8	113.56	143.50	123.54	29.95
59.6	112.36	140.96	121.89	28.60
59.4	111.20	138.97	120.46	27.77
59.2	109.94	136.94	118.94	26.99
59.0	108.43	135.88	117.58	27.45
58.8	107.15	134.00	116.10	26.85
58.6	105.39	132.76	114.52	27.37
58.4	103.41	131.56	112.79	28.15
58.2	101.52	129.63	110.89	28.11
58.0	100.11	128.58	109.60	28.47
57.8	98.60	126.35	107.85	27.76
57.6	97.32	125.08	106.57	27.76
57.4	96.10	123.31	105.17	27.20
57.2	94.59	120.87	103.35	26.28
57.0	92.79	119.43	101.67	26.64
56.8	91.59	116.90	100.03	25.31
56.6	90.54	115.13	98.74	24.59
56.4	89.01	114.18	97.40	25.17
56.2	87.66	112.32	95.88	24.66
56.0	86.14	111.22	94.50	25.08
55.0	81.09	106.19	89.46	25.11
54.0	76.52	99.79	84.27	23.27
53.0	72.10	93.01	79.07	20.91
52.0	66.69	86.74	73.37	20.06
51.0	62.13	79.95	68.07	17.81
50.0	57.23	73.61	62.69	16.38
48.0	50.00	61.77	53.92	11.77
46.0	41.20	51.68	44.69	10.48
44.0	35.64	43.36	38.21	7.73
23.3	7.34	9.79	8.16	2.45

$V_{\text{amp}}$ [V] ( $\pm 7$ mV)	$I_{\text{amp}}$ [ $\mu$ A]	$C$ [pF]
0.247	$37 \pm 3$	$2387 \pm 216$
0.283	$41 \pm 4$	$2288 \pm 14$
0.318	$39 \pm 4$	$1945 \pm 13$
0.354	$41 \pm 4$	$1830 \pm 11$
0.389	$39 \pm 4$	$1592 \pm 11$
0.424	$44 \pm 4$	$1658 \pm 9$
0.460	$46 \pm 4$	$1592 \pm 10$
0.495	$48 \pm 5$	$1535 \pm 9$
0.530	$53 \pm 5$	$1592 \pm 9$
0.566	$57 \pm 5$	$1592 \pm 9$
0.601	$60 \pm 6$	$1592 \pm 9$
0.636	$62 \pm 6$	$1547 \pm 10$
0.672	$71 \pm 6$	$1675 \pm 9$
0.707	$78 \pm 7$	$1751 \pm 10$
0.742	$80 \pm 8$	$1705 \pm 11$
0.778	$81 \pm 8$	$1664 \pm 10$
0.813	$88 \pm 8$	$1730 \pm 10$
0.849	$90 \pm 9$	$1691 \pm 10$
0.884	$113 \pm 9$	$2037 \pm 10$
1.061	$141 \pm 11$	$2122 \pm 11$
1.237	$170 \pm 14$	$2183 \pm 11$
1.414	$184 \pm 17$	$2069 \pm 12$
1.591	$209 \pm 18$	$2087 \pm 12$

Odvisnost kapacitivnosti tekočih kristalov od napetosti



Odvisnost dielektrične anizotropije od temperature

