

podľa ktorých $\sum er_i^+ = qr_+^*$, $\sum er_i^- = qr_-^*$. Dipólový moment polarizovanej molekuly bude potom tiež $\mathbf{p} = q(\mathbf{r}_+^* - \mathbf{r}_-^*) = q\mathbf{a}$. Je teda daný rovnakým vzorcom ako dipólový moment polarizovaného atómu vodíka, avšak vektor \mathbf{a} v poslednom vzorci je polohový vektor ťažiska kladného náboja molekuly vzhľadom na ťažisko jej záporného náboja. Ak v objemovej jednotke nevodiča je n takýchto molekúl, jej dipólový moment je $n\mathbf{p} = nq\mathbf{a} = \rho'\mathbf{a} = \mathbf{P}$. Touto podrobnejšou úvahou vychádzajúcou z vnútornej štruktúry nevodiča sme sa presvedčili, že vektor polarizácie \mathbf{P} , ktorý sme zaviedli vzorcom (1), má význam elektrického dipólového momentu objemovej jednotky nevodiča. Súčasne sme spresnili aj význam vektora \mathbf{a} .

Sú však známe aj také nevodivé látky, ktorých molekuly sa vyznačujú nenulovým elektrickým momentom aj za neprítomnosti vonkajšieho elektrického poľa. Nazývajú sa *polárnymi*. K nim patrí napríklad chlorovodík HCl, ktorého molekuly sa skladajú z kladného iónu vodíkového a záporného iónu chlórového, ktoré sú v určitej vzdialenosti od seba, takže tvoria dipól. V dôsledku tepelného pohybu dipóly chlorovodíka sú však v náhodilých vzájomných polohách a ich elektrické polia v okolí priestore sa vzájomne rušia. Keď sa však takáto látka vloží do vonkajšieho elektrického poľa, na jej dipóly pôsobia v ňom sily, ktoré sa snažia stotožniť osi dipólov so siločiarami poľa. Tomu však bráni tepelný pohyb molekúl, takže nastane len čiastočné natočenie osí dipólov do smeru siločiar poľa. Aj to však už značí polarizáciu prostredia, ktorá sa rovná geometrickému súčtu elektrických momentov dipólov v objemovej jednotke ako vektorov. K tejto orientačnej polarizácii pristupuje obyčajne už vyššie opísaná *deformačná* polarizácia. Z pokusov vyplýva, že v poliach, s ktorými sa obyčajne stretávame, polarizácia nevodičov s polárnymi molekulami je tiež úmerná intenzite poľa. Odchýlky od tejto priamej úmernosti sa pozorujú až vo veľmi silných poliach, keď sa začína uplatňovať vplyv *nasýtenia*, pri ktorom osi skoro všetkých dipólov sú už rovnobežné so siločiarami poľa.

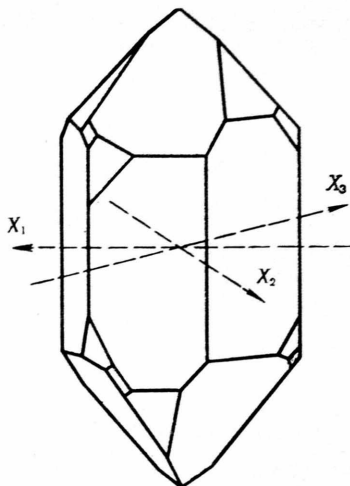
1.8. Seignettoelektrické, piezoelektrické a pyroelektrické látky. Relatívna dielektrická susceptibilita väčšiny nevodivých pevných látok je v intervale čísel 1 až asi 10. Sú však známe kryštalické pevné látky, ktorých relatívna susceptibilita dosahuje mimoriadne veľké hodnoty 10^3 až 10^4 . Keďže jav bol pozorovaný najskôr na Seignettovej soli (hydrát vinanu sodnodraselného), látky s mimoriadne veľkou dielektrickou susceptibilitou sa nazývajú *seignettoelektrickými*.

Podrobné štúdium vlastností seignettoelektrických látok ukázalo, že príčinou ich ľahkej polarizovateľnosti je existencia tzv. *domén*, t. j. malých oblastí, v ktorých je látka samovoľne a silno polarizovaná, a to prakticky až do

nasýtenia, avšak v jednotlivých oblastiach v rozličných smeroch. V dôsledku toho sa polarizácia oblastí navonok neprejavuje. Vonkajšie elektrické pole môže však túto orientáciu pomerne ľahko usmerniť. Vonkajším elektrickým poľom takto spolpolarizovaná seignettoelektrická látka ostáva spolpolarizovaná ako celok aj po odstránení vonkajšieho poľa.

Pre tieto svoje ako aj niektoré iné vlastnosti, ktorými — vzhľadom na ich magnetizovateľnosť — sa podobajú *feromagnetickým látkam*, seignettoelektrické látky (nie dosť vhodne) nazývajú sa tiež *feroelektrickými* a v polarizovanom stave *elektretmi*. Z niektorých organických látok možno zhotoviť elektrety tak, že sa roztopia a nechajú potom stuhnúť v potrebné silnom vonkajšom elektrickom poli. Polarizovateľnosť seignettoelektrických látok závisí značne od intenzity elektrického poľa a obyčajne zložitým spôsobom aj od teploty.

Kryštalografická os kryštálu sa nazýva *polárnou*, keď oba s ňou rovnobežné smery nie sú kryštalograficky, fyzikálne alebo chemicky rovnocenné. Polárne osi má napríklad kryštál kremeňa patriaci do trigonálnej sústavy. Polárne sú jeho vedľajšie osi X_1 , X_2 a X_3 (obr. 1.15), zatiaľ čo jeho hlavná kryštalografická os Z je nepolárna. Polárnosť osí X kryštálu kremeňa sa na jeho vonkajšom ohraničení prejavuje tým, že jeho vzájomne protilahlé zvislé hrany nie sú obklopené rovnakými ploškami. Je zrejmé, že kryštál vyznačujúci sa nepolárnou osou nemá stred súmernosti.



Obr. 1.15.

Na doštičke vybrúsenej z kryštálu, ktorý má aspoň jednu polárnu os, najlepšie tak, aby jej základne boli na túto os kolmé, možno pozorovať javy nazývané *piezoelektrickými*. Ťahom aj tlakom objavujú sa na základniach doštičky elektrické náboje opačných znamienok (priamy piezoelektrický jav). Ak doštičku vložíme do homogenného elektrického poľa tak, aby siločiar poľa boli na doštičku kolmé, podľa orientácie siločiar poľa zmenší alebo zväčší sa jej hrúbka (obrátený piezoelektrický jav). Platia pritom tieto pravidlá:

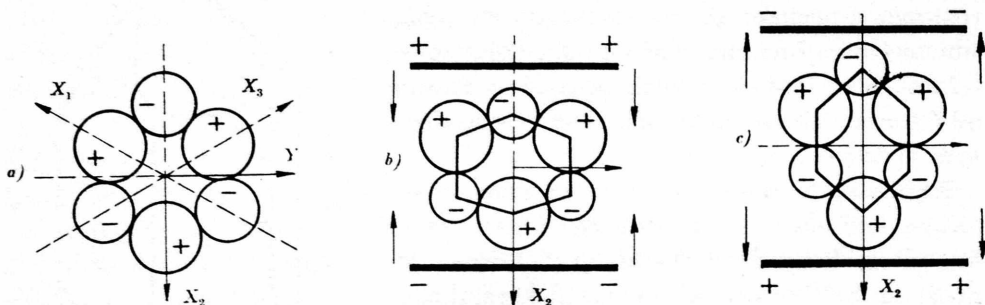
1. Náhrada ťahu tlakom má pri priamom piezoelektrickom jave za následok zmenu znamienok nábojov na základniach doštičky.
2. Zmenou orientácie siločiar poľa mení sa pri obrátenom piezoelektrickom jave kompresia doštičky na dilatáciu a obrátene.
3. Ak ťahom (tlakom) sa na základni doštičky S_1 objavil kladný náboj, takže v doštičke vzniklo elektrické pole so siločiarami orientovanými k zá-

kladni S_2 , potom vonkajšie elektrické pole rovnakej orientácie vyvolá kompresiu (dilatáciu) doštičky.

4. Plošná hustota σ' priamym piezoelektrickým javom vznikajúceho náboja nie je závislá od hrúbky doštičky a je priamo úmerná pôsobiacemu mechanickému napätiu ν v ťahu alebo tlaku.

Konštanta úmernosti k vo vzťahu $\sigma' = k\nu$ nazýva sa *piezoelektrická konštanta*. Piezoelektrická konštanta kremeňa je napríklad $k = 2,3 \cdot 10^{12}$ As/N.

Podstatou priameho piezoelektrického javu je nepochybne vznik dielektrickej polarizácie pôsobením mechanického namáhania a javu obráteného deformácia piezoelektrického kryštálu vplyvom elektrického poľa.



Obr. 1.16.

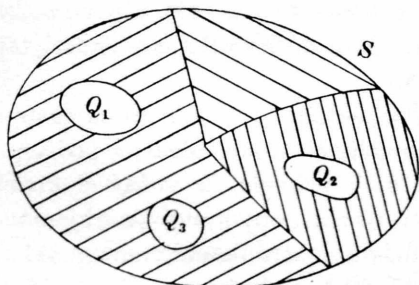
Vysvetlíme si vec opäť na príklade kryštálu kremeňa. Ako nás o tom poučuje vyšetrovanie štruktúry kryštálu kremeňa pomocou rozptylu Röntgenových lúčov, atómy kremíka sú v ňom usporiadané tak, že sa štruktúra kryštálu kremeňa stotožní sama so sebou, ak kryštál pootočíme o 120° okolo jeho hlavnej kryštalografickej osi a okrem toho ho posunieme pozdĺž tejto osi v jednom alebo opačnom smere o potrebnú dĺžku. To však značí, že atómy kremíka tvoria v kryštáli kremeňa pravotočivé alebo ľavotočivé skrutkovice. V blízkosti atómov kremíka sa nachádzajú vždy dva atómy kyslíka. Schematicky, v projekcii na rovinu kolmú na hlavnú kryštalografickú os, je štruktúra kremeňa znázornená na obr. 1.16a, na ktorom kruhy s väčším polomerom znázorňujú atómy kremíka a kruhy s menším polomerom vždy dva atómy kyslíka. Keď takúto skupinu atómov podrobíme napríklad namáhaniu v tlaku v smere niektorej vedľajšej kryštalografickej osi, nastane deformácia štruktúry znázornená na obr. 1.16b. Z obrázku je zrejmé, že po takejto deformácii ťažiská kladného a záporného náboja v skupine troch atómov kremíka a šiestich atómov kyslíka už nie sú súmiestne, teda kryštál je dielektricky polarizovaný. Obr. 1.16c znázorňuje vznik polarizácie tejto skupiny atómov namáhaním v ťahu. Vysvetlenie obráteného piezoelektrického javu z povedaného je už bezprostredne zrejmé.

Priamy piezoelektrický jav sa používa napríklad v gramofónových kryštálových prenoskách na premenu mechanických kmitov na elektrické, nepriamy v kryštálových generátoroch ultrazvuku na premenu elektrických kmitov na mechanické.

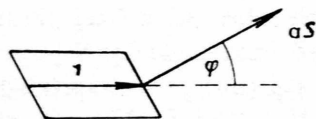
Kryštál kremeňa, ktorý má tri polárne osi, kým sa nenachodí vo vonkajšom elektrickom poli, nie je v polarizovanom stave. Keď však kryštál, napríklad kryštál turmalínu, má len jednu polárnu os, potom aj bez pôsobenia vonkajšieho poľa je už v polarizovanom stave. Napriek tomu v jeho okolí obvykle nie je elektrické pole, lebo viazané náboje samovoľne polarizovaného kryštálu bývajú neutralizované voľnými nábojmi, ktoré si kryštál nájde v podobe iónov aj vo vzduchu. Keď sa však teplota kryštálu dosť rýchle zmení, zmení sa aj polarizácii kryštálu odpovedajúca plošná hustota viazaných nábojov, čím sa v okolí kryštálu vytvorí aspoň na nejaký čas elektrické pole. Jav sa nazýva *pyroelektrickým*.

1.9. Vektor indukcie v elektrickom poli. Predstavme si, že niekoľko elektricky vodivých telies T_i sa nachádza v elektricky nevodivom hmotnom prostredí, v ktorom sa dielektrická susceptibilita κ prípadne od miesta k miestu spojitane alebo aj nespojitane mení (obr. 1.17). Obklopte telesá T_i myslenou v sebe uzavretou plochou S . Keď na tieto telesá privedieme elektrické množstvá Q_i , vytvorí sa v ich okolí elektrické pole intenzity \mathbf{E} , v ktorom sa dielektrikum

spolarizuje. Pri polarizácii dielektrika v dielektriku ľubovoľne uloženou elementárnou ploškou dS , ktorej sme priradili elementárny plošný vektor $d\mathbf{S}$, prechádzajú kladné aj záporné náboje



Obr. 1.17.



Obr. 1.18.

pružne viazané na dielektrikum. Pri používaní označení zavedených na začiatku článku 1.7 cez elementárnu plošku dS na stranu jej orientácie prejde vcelku náboj (obr. 1.18)

$$dQ' = \rho' \mathbf{a}_+ \cdot d\mathbf{S} + (-\rho') \mathbf{a}_- \cdot d\mathbf{S} = \rho' (\mathbf{a}_+ - \mathbf{a}_-) \cdot d\mathbf{S} = \rho' \mathbf{a} \cdot d\mathbf{S} = \mathbf{P} \cdot d\mathbf{S}$$

Z vnútra na vonkajšiu stranu v sebe uzavretej plochy S , ktorá obklopuje telesá s nábojmi Q_i , prejde preto pri polarizácii dielektrika vcelku náboj

$$Q' = \oint \mathbf{P} \cdot d\mathbf{S} \quad (1)$$