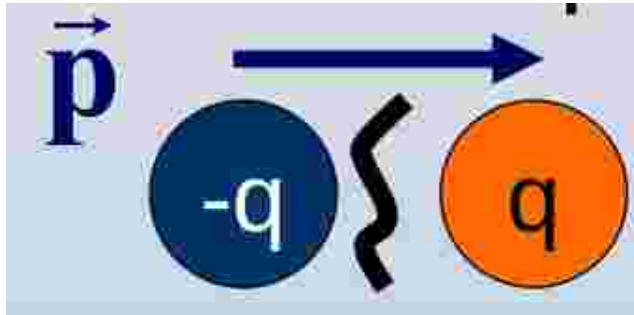


Magnetski monopol?

električni dipol



prerezan → dva monopola
(naboja)

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

Gaussov zakon

magnetski dipol

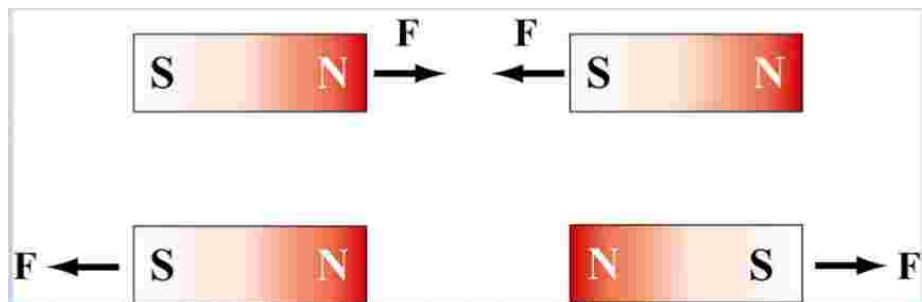


Prerezan: dva dipola

$$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

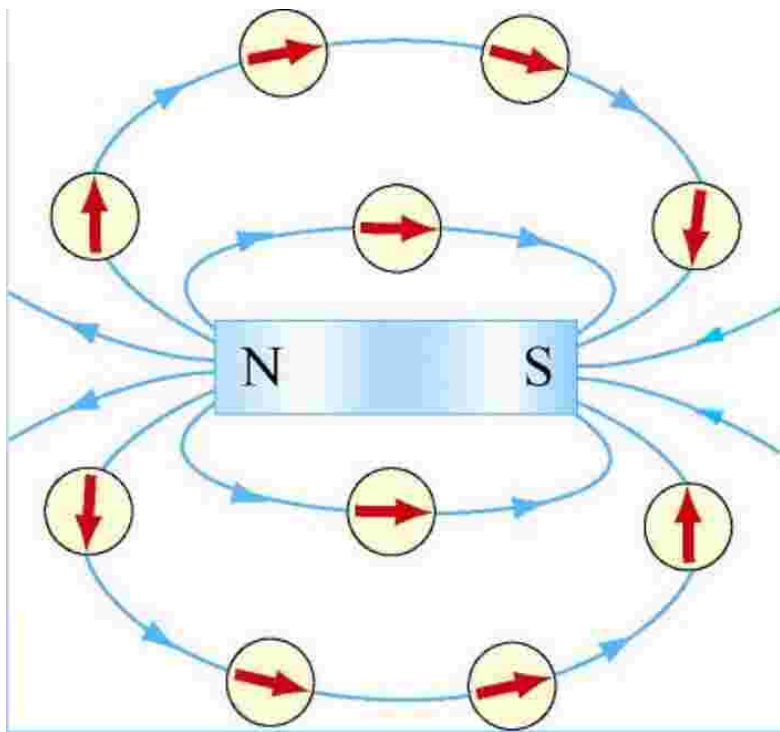
magnetski Gaussov zakon

Štapičasti magnet



* dipol

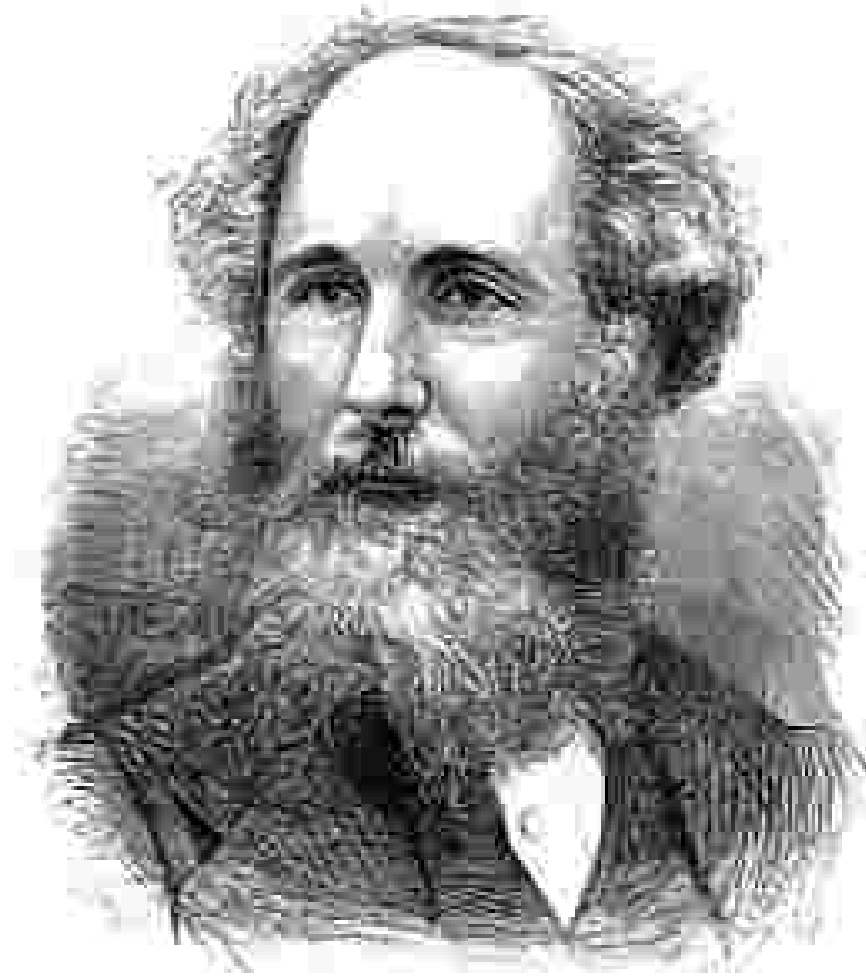
* ne da se svesti na magnetski monopol



Ampère-Maxwellov zakon



André-Marie Ampère
1775.-1836.



James Clerk Maxwell
1831.-1879.

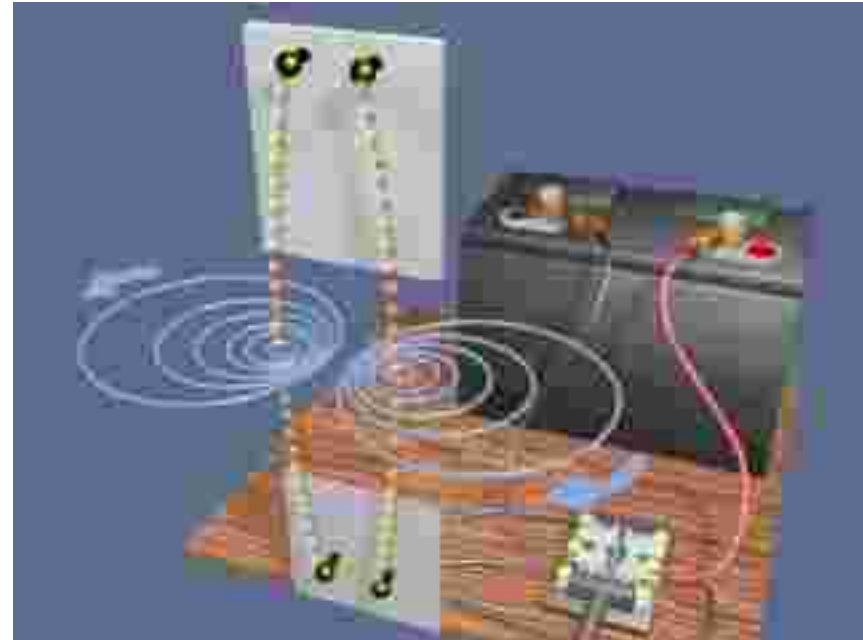
Dva usporedna vodiča kojima teku struje

a) istim smjerom



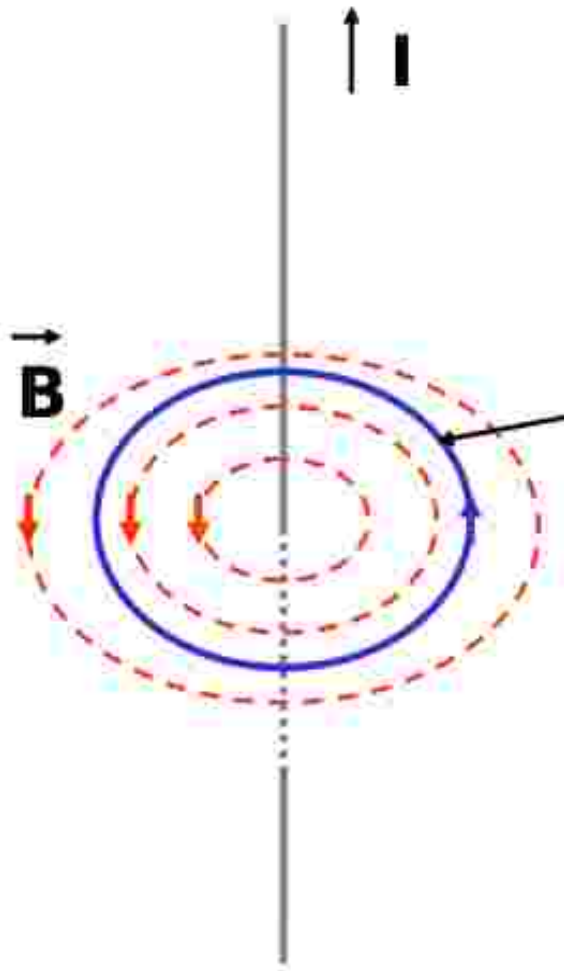
privlače se

b) suprotnim smjerom



odbijaju se

Ampèreov zakon



zatvorena linija

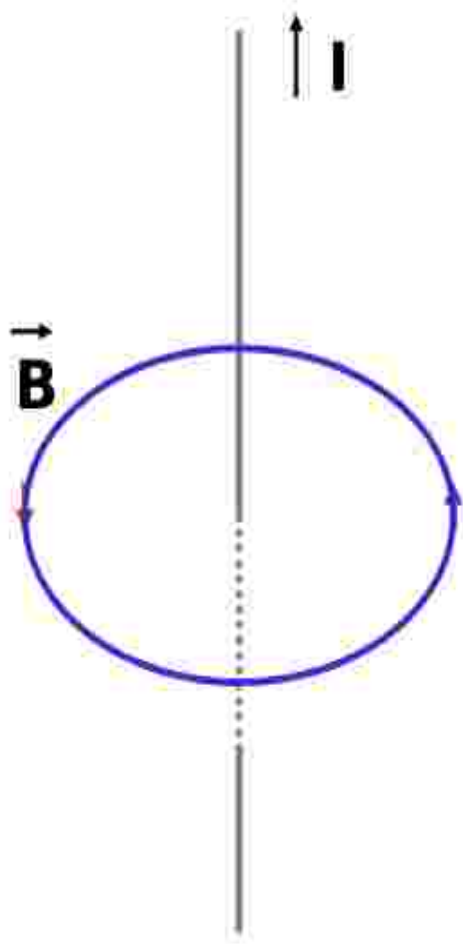
Ampèreova ideja: povezati magnetsko polje \vec{B} sa njegovim izvorom, strujom I

- magnetske silnice su zatvorene
- pravilo desne ruke

Ampèreov zakon: $\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{obuhv}}$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$

Ampèreov zakon



Krivuljni integral magnetskog polja duž bilo kojeg puta ovisi samo o obuhvaćenoj struji.

Ampèreov zakon omogućuje biranje puta integracije

$$\vec{B} \perp d\vec{l} \Rightarrow \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$$

$$\vec{B} \parallel d\vec{l} \Rightarrow \vec{B} \cdot d\vec{l} = B dl$$

Magnetsko polje oko ravnog vodiča kojim teče konstantna struja I , na udaljenosti r od vodiča:

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{obuhv}}$$

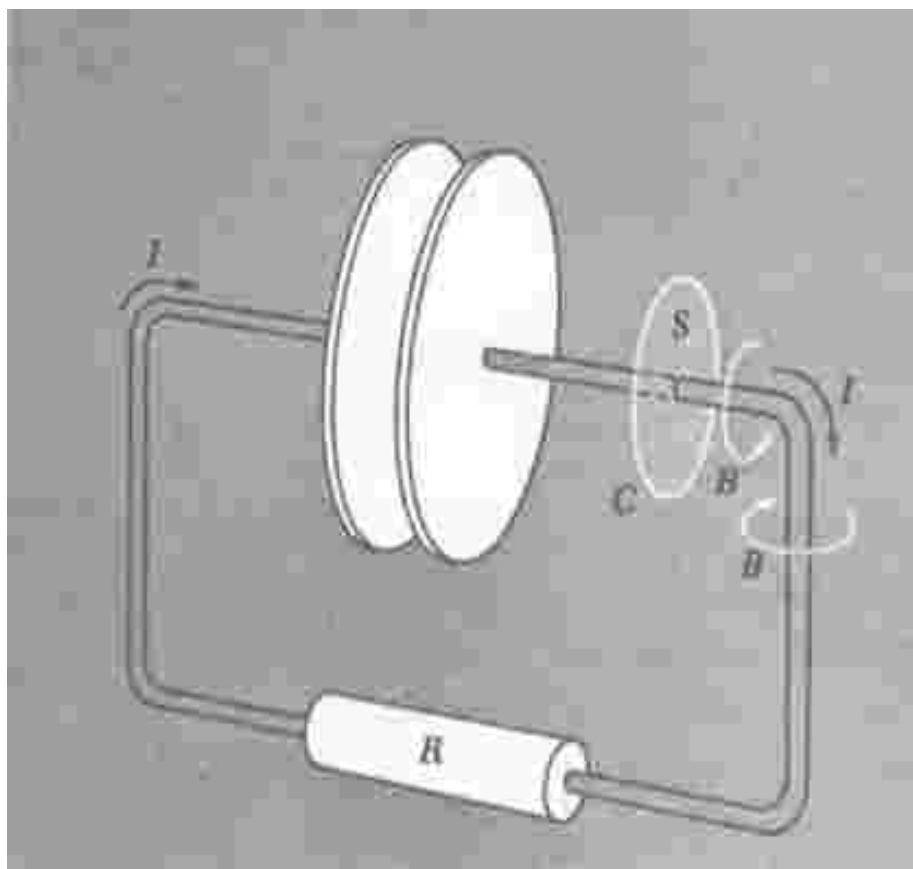
$$B(r) \oint_L d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{obuhv}}$$

$$B(r) 2\pi r = \mu_0 I_{\text{obuhv}}$$

$$B(r) = \mu_0 \frac{I_{\text{obuhv}}}{2\pi r}$$

Maxwellov dodatak Amperèovom zakonu

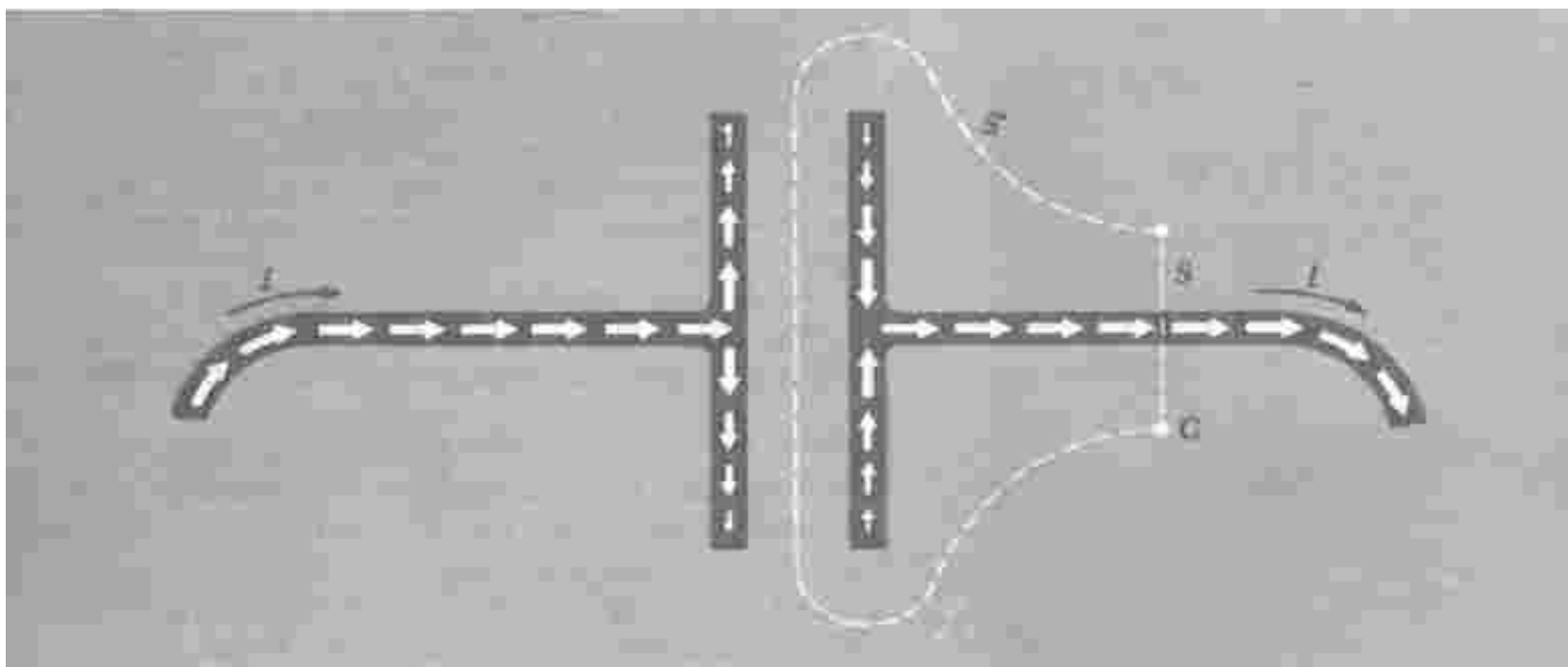
Izbijanje kapacitora kroz otpornik



- lijeva ploča kapacitora bila je nabijena negativno, a desna ploča bila je nabijena pozitivno
- kapacitor se izbija kroz otpornik
- oko vodiča se stvara magnetsko polje
- integral rotacije magnetskog polja po plohi S , kroz koju prolazi vodič, jednak je $\mu_0 I$

$$\int_{S(C)} \nabla \times \vec{B} \cdot d\vec{a} = \mu_0 I$$

Maxwellov dodatak Amperèovom zakonu



Bijele strelice pokazuju tok struje u vodičima. Krivulja C je rubna krivulja plohe S i plohe S' . Kroz plohu S teče struja I , dok kroz plohu S' ne prolazi struja.

Ampère-Maxwellov zakon

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \vec{E}$$

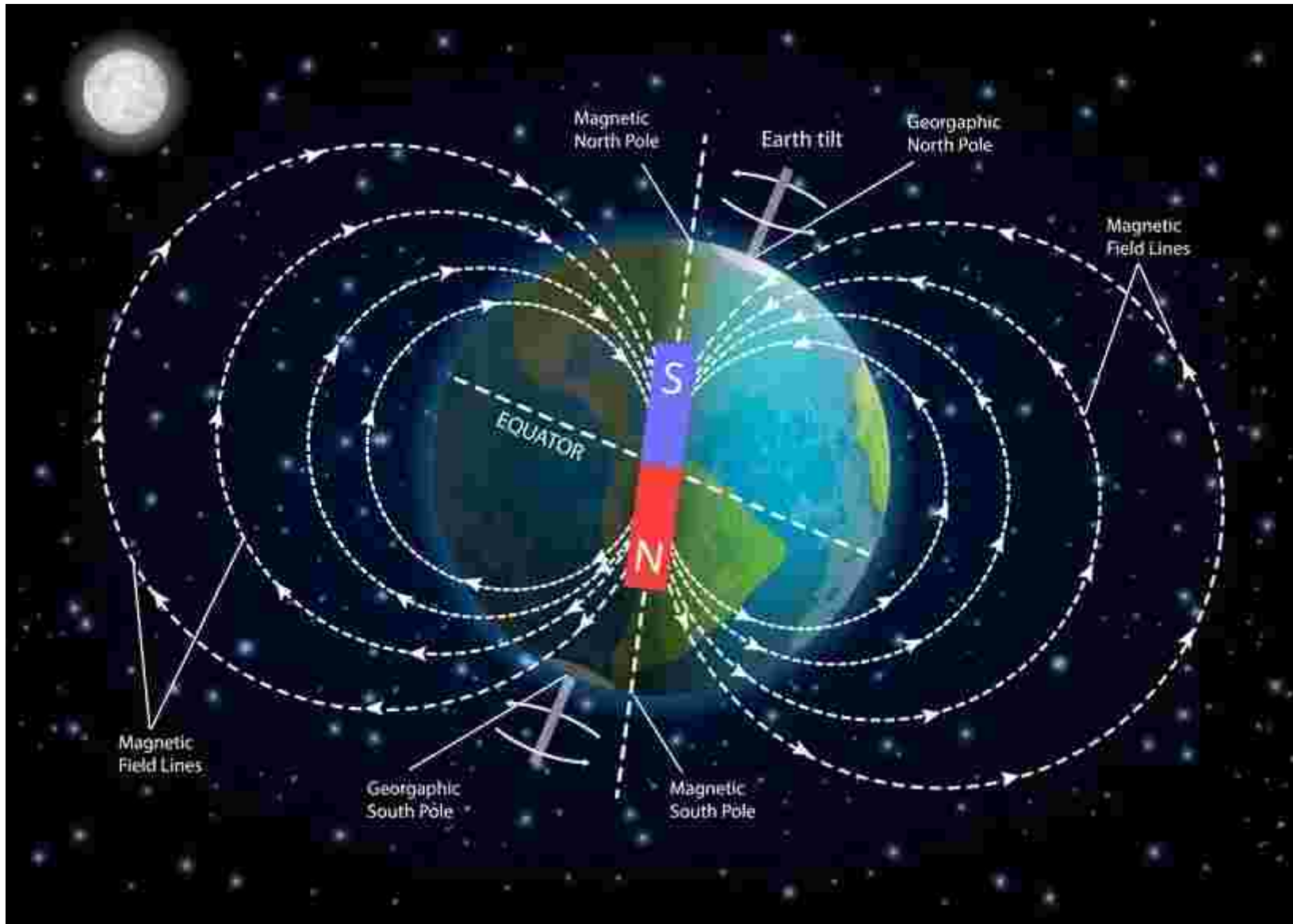
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} \cdot d\vec{S} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Maxwellove rovnice

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{in}}{\epsilon_0} \quad \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_{enc} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

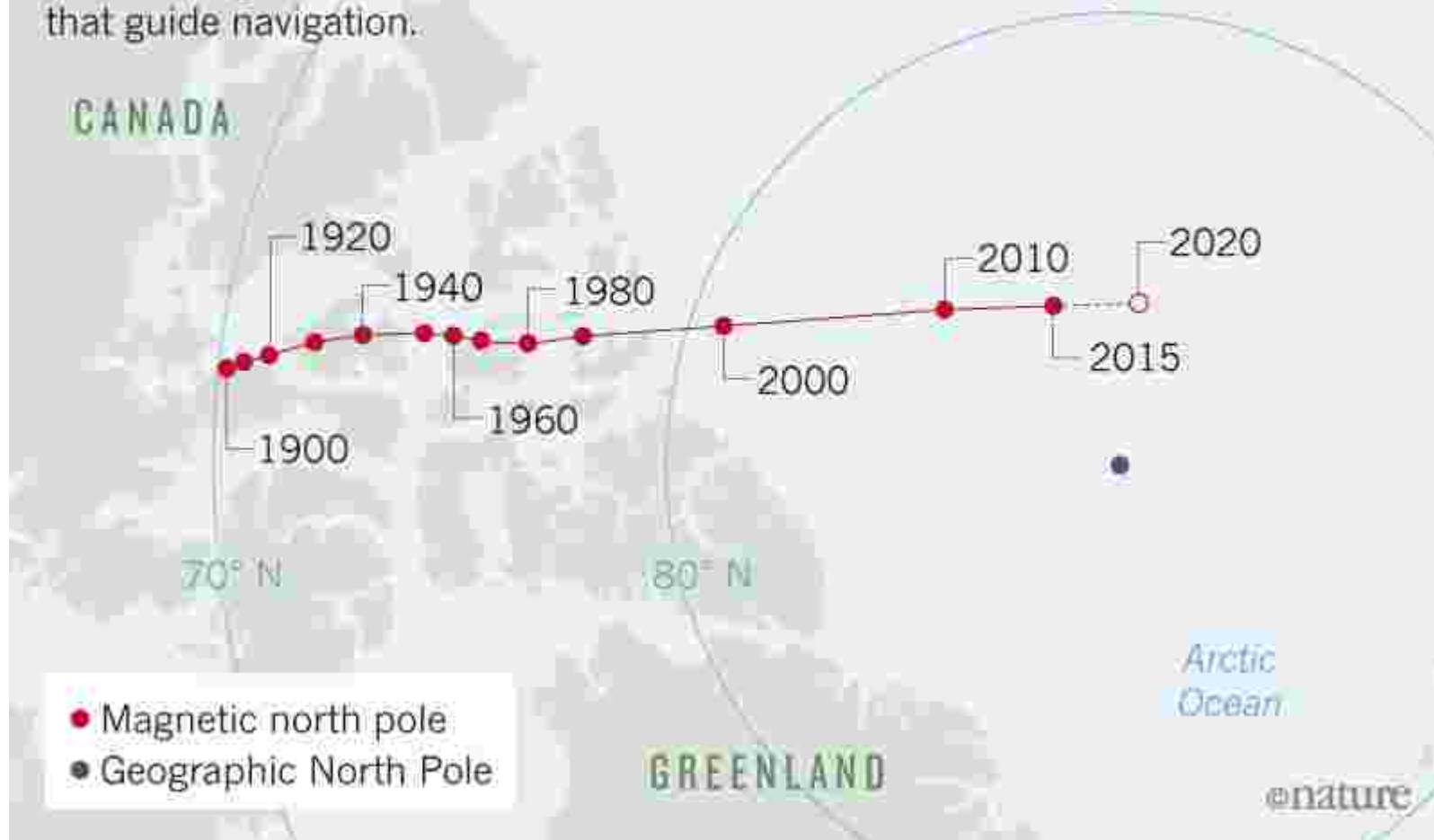
Zemljino magnetsko polje



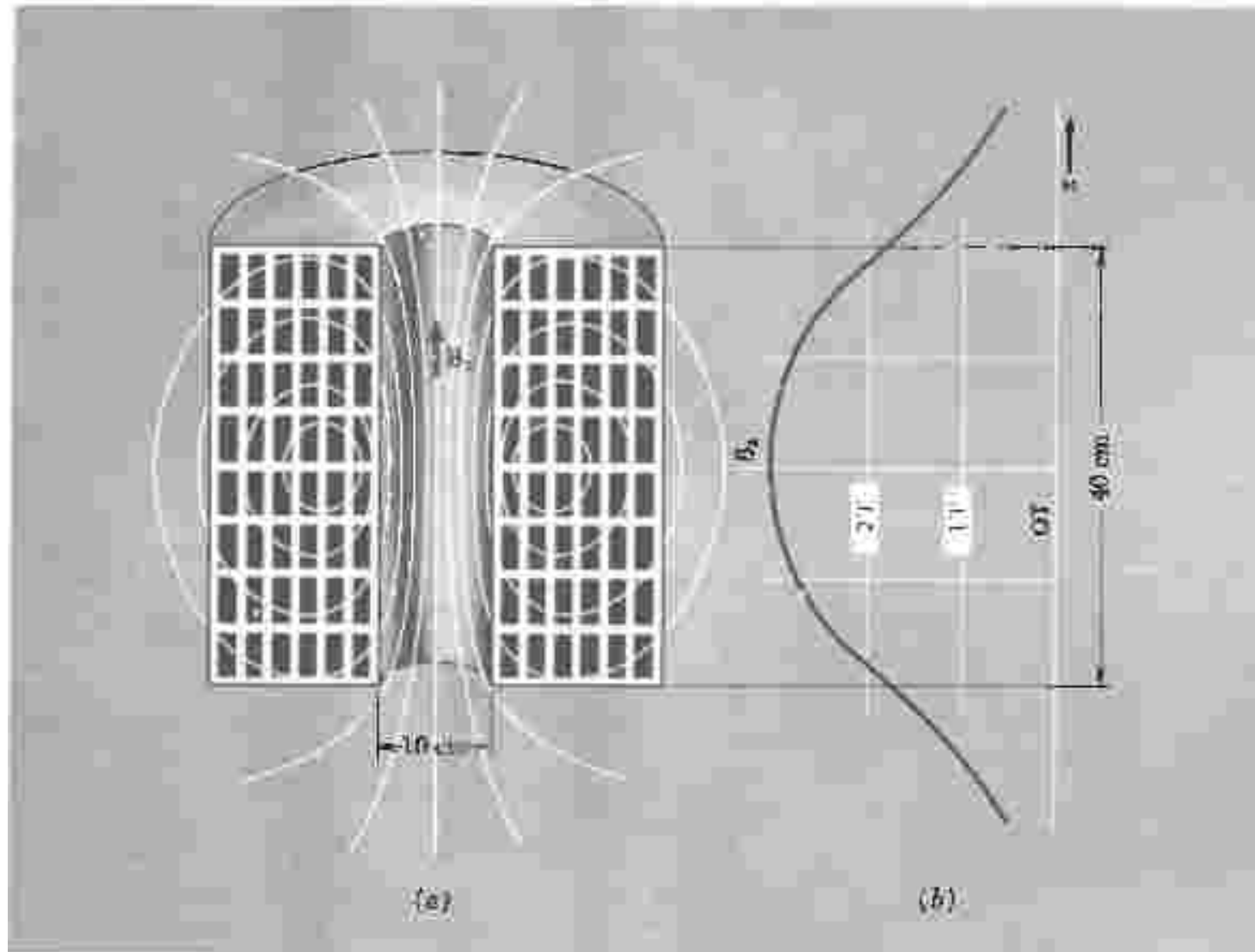
Zemljino magnetsko polje

MAGNETIC MOTION

The north magnetic pole is heading from Canada into Siberia, and recently crossed the International Date Line. Its rapid motion, plus other shifts in Earth's magnetic field, have forced scientists to revise the magnetic models that guide navigation.

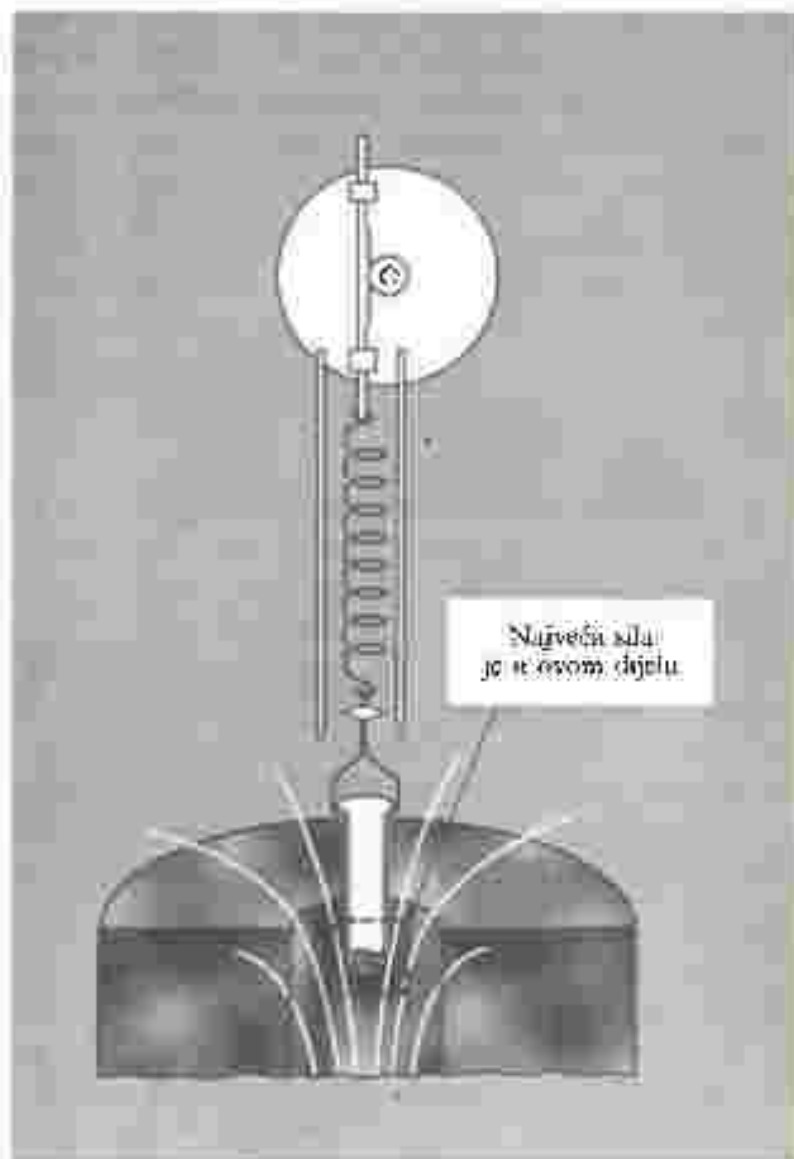


Svojstva tvari u magnetskom polju



Slika 10.1. Zavojnica za dobivanje snažnog magnetskog polja. Svirak se prikazuje u presjeku. Bakreni vodiči (crni pravokutnici) imaju uzdužnu rupu kroz koju protječe voda za hlađenje.
(b) Jakost magnetskog polja B_z na ovoj zavojnici.

Svojstva tvari u magnetskom polju



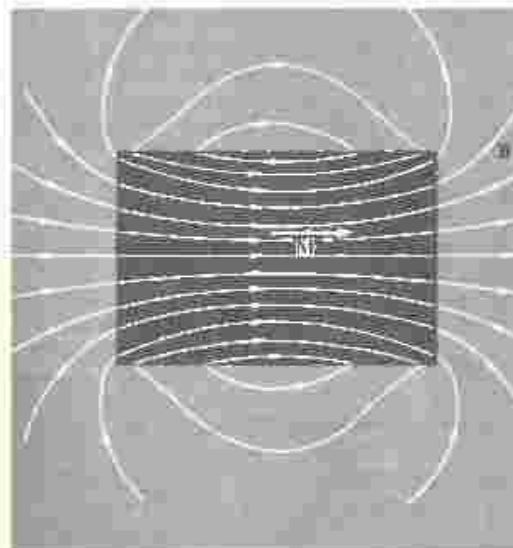
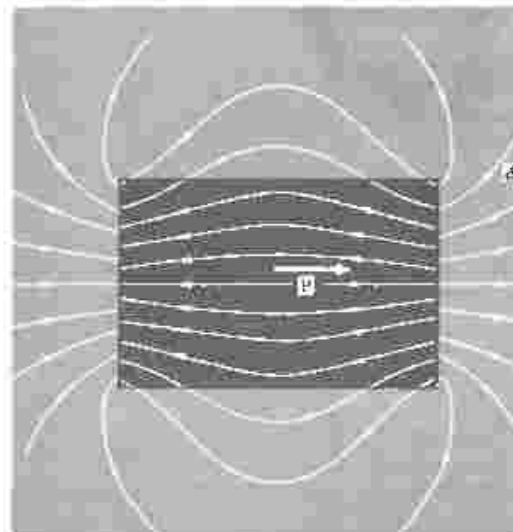
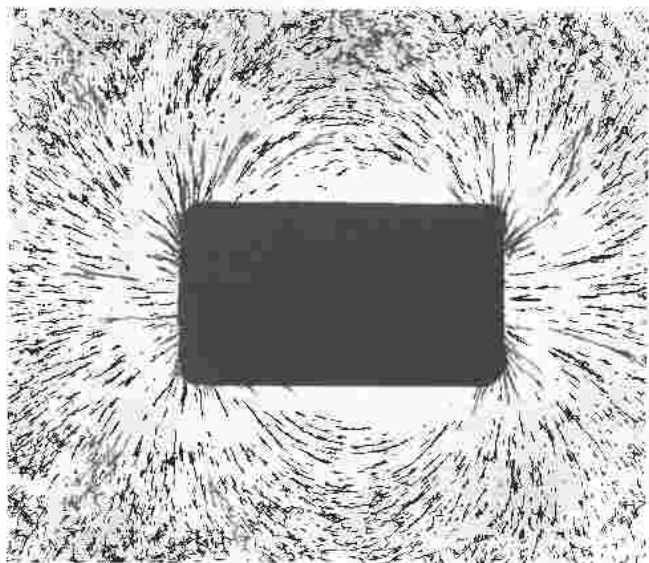
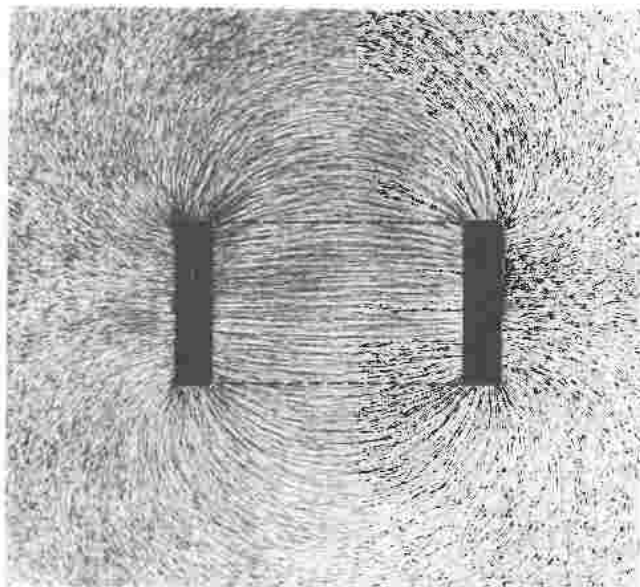
Slika 11.2. Uređaj za mjerenje sile na uzorak u magnetskom polju.

Svojstva tvari u magnetskom polju

Tablica 10.1. Sila po kilogramu mase za male uzorke u polju
 $H_0 = 1,8 \text{ T}$ i $\partial H_0/\partial z = 17 \text{ T/m}$.

Tvar		Sila/većina
Diamagnetici		
Voda	H_2O	-0,22 N/kg
Bakar	Cu	-0,026
Olovo	Pb	-0,37
Natrijev klorid	NaCl	-0,15
Kremen (kvare)	SiO_2	-0,16
Sumpar	S	-0,16
Djamat	C	0,16
Grafit	C	-1,10
Tekući dušik	N_2 (78 K)	-0,10
Paramagnetici		
Natrij	Na	+0,20 N/kg
Aluminij	Al	+0,17
Bakarni klorid	CuCl_2	+2,80
Nikaljni sulfat	NiSO_4	+8,30
Tekući kisik	O_2 (90 K)	+75
Feromagnetici		
Željezo	Fe	-4000 N/kg
Magnez	Fe_3O_4	-1200 N/kg

Svojstva tvari u magnetskom polju



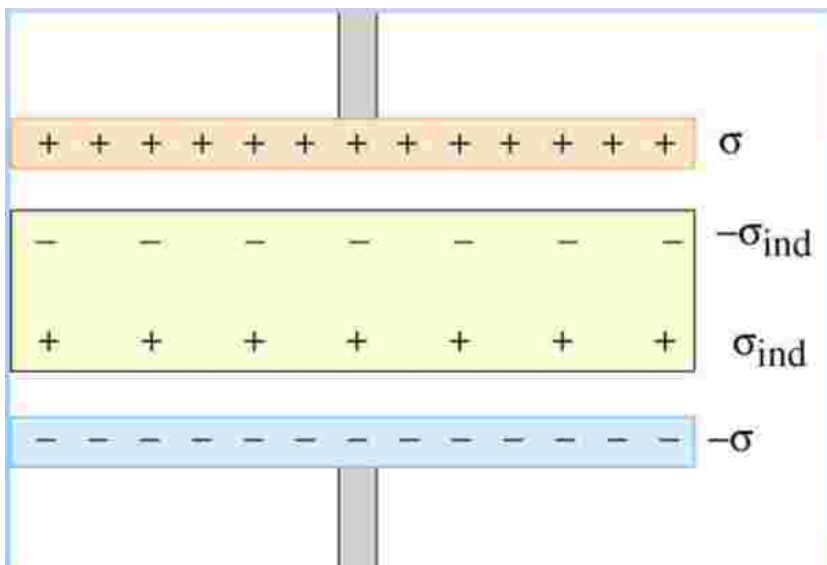
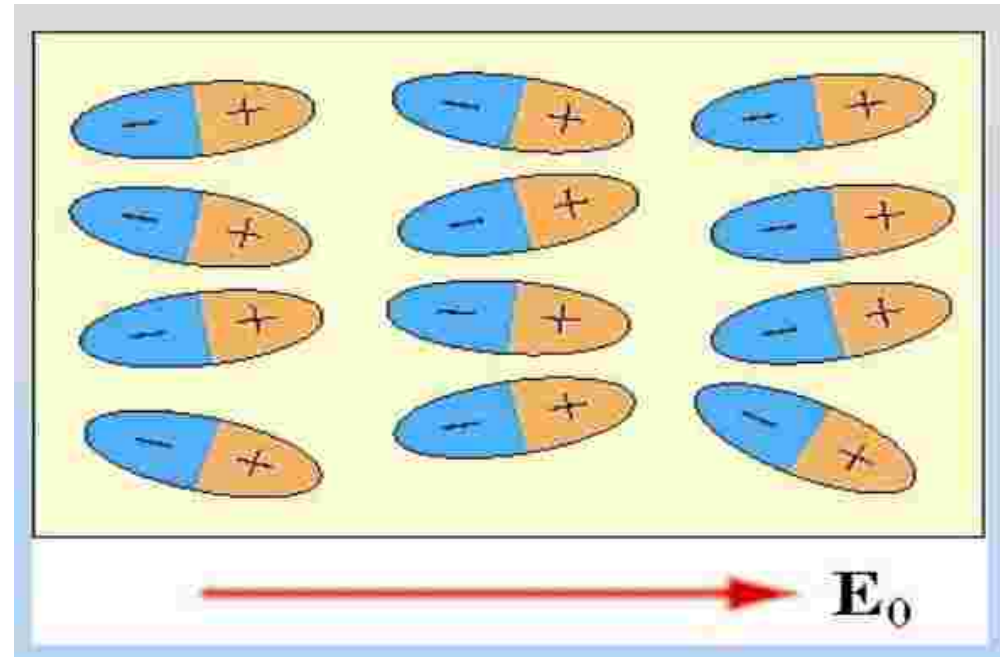
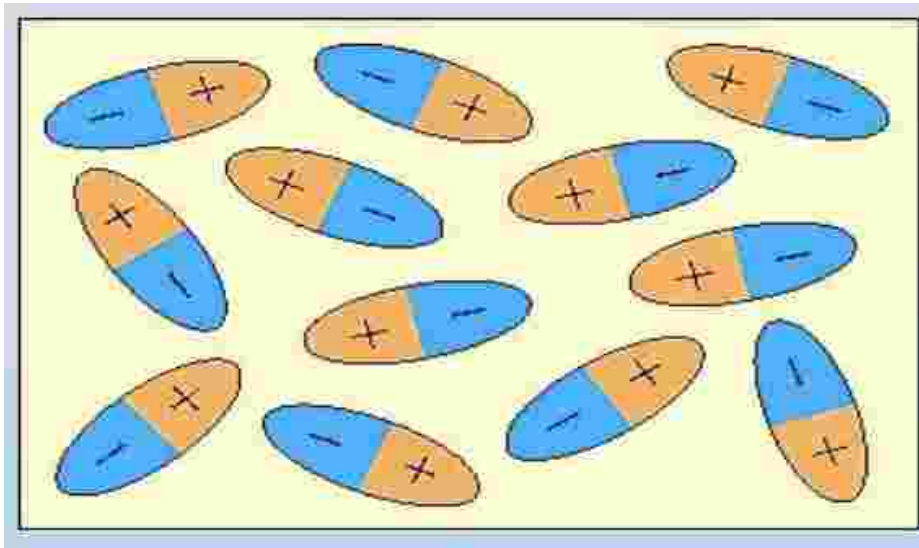
Slika 10.3. (a) Dvije suprotno nabijene plošice (u presjeku se vide kao crni pravokutnici) stvaraju električno polje koje je jednako polju električno polariziranog štapa. To znači, ako bismo imali polariziran štap u prostoru od lijevog kraja lijeve do desnog kraja desne plošice (označeno crvenom), njegovo vanjsko polje bilo bi jednako oblika kao na ovoj slici. Slinke električnog polja nastaju se najlakše pomoću sitnih crnih nečistoća u ulju. Niti se namjeravaju dati silnica polja. Tu otkriveni metoda za prikazivanje oblika ciklotronnog polja razvio je H. M. Waage, Palmerov fizički laboratorij, Princetonsko sveučilište. On je ljubazno načinio originalnu fotografiju za ovo sliku.

(b) Magnetsko polje oko magnetiziranog valjka prikazuje se pomoću sitnih komadića nikalne žice, koji su urotinjeni u glicerin. (Ovaj postupak da se poboljša neobdijeljeni način prikazivanja magnetskog polja primjenom željezne piljevine nije se pokazao naročito uspješnim. Nikalne žice spajale su se u dugačke nizove koje je magnet privukao na sebe.) Izračunati likovi silnica polja oba sustava prikazuju se na sl. 10.21.

Slika 10.21. (a) Električno polje E izvan i unutar jednoliko polariziranog valjka.

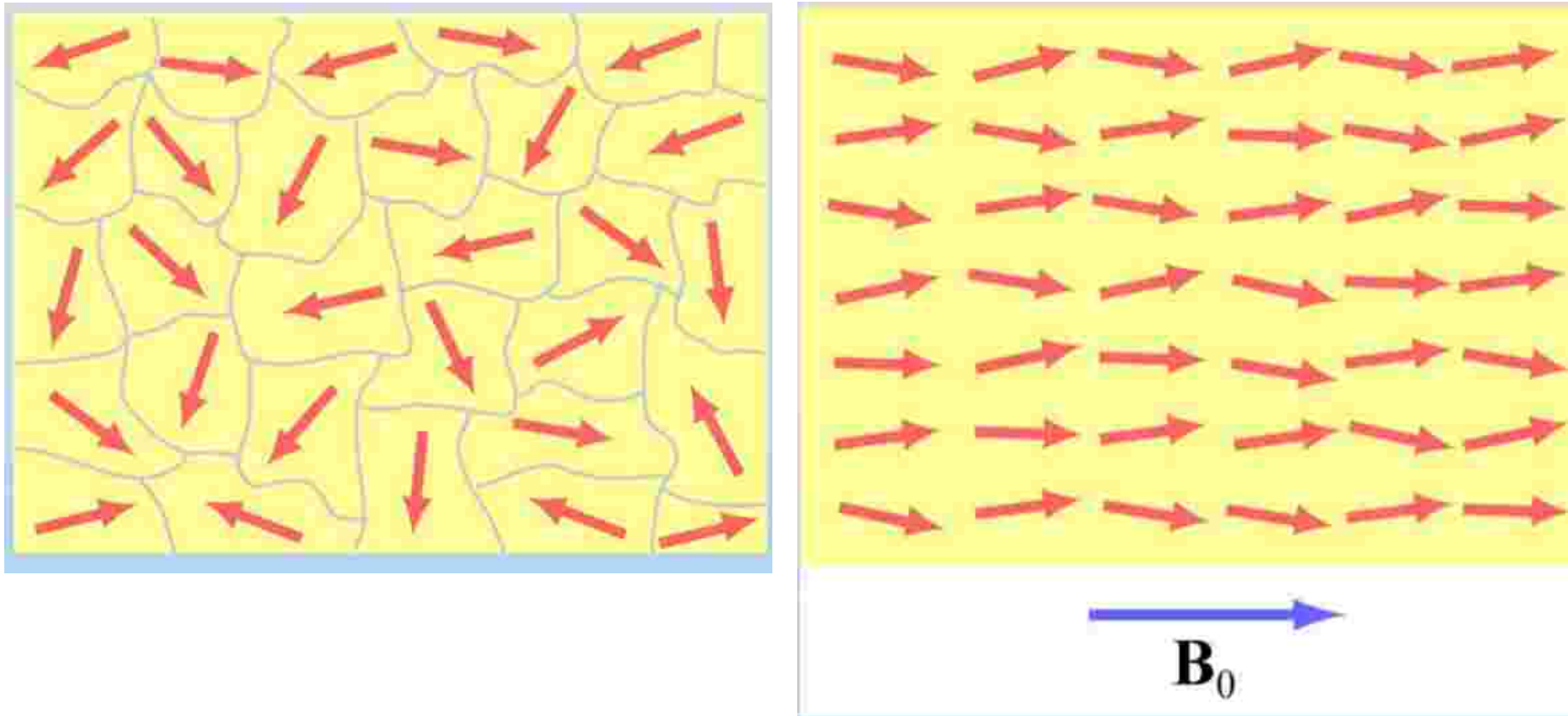
(b) Magnetsko polje B izvan i unutar jednoliko magnetiziranog valjka. U oba se slučaja u unutrašnjosti valjka prikazuje makroskopsko polje, tj. presjek atomskog ili makroskopskog polja u svakom dijelu valjaka.

Polarni dielektrici



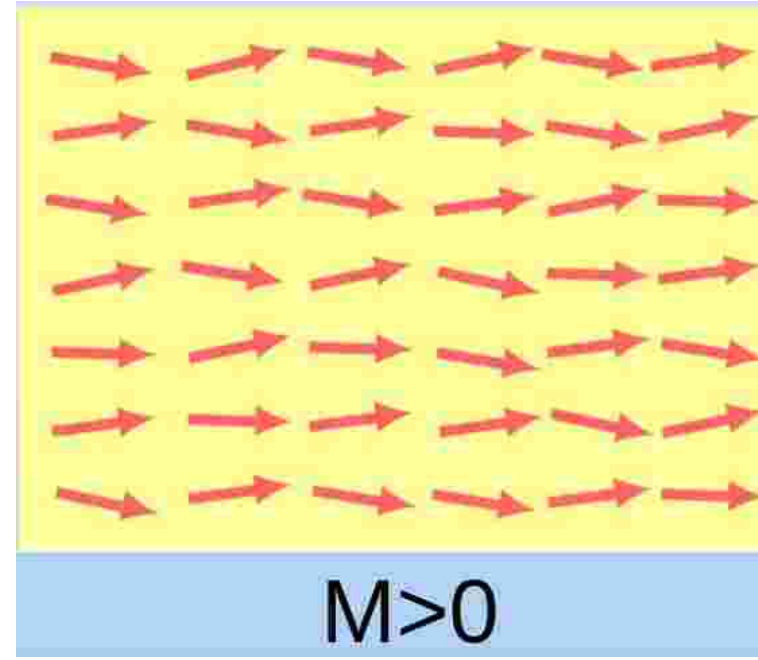
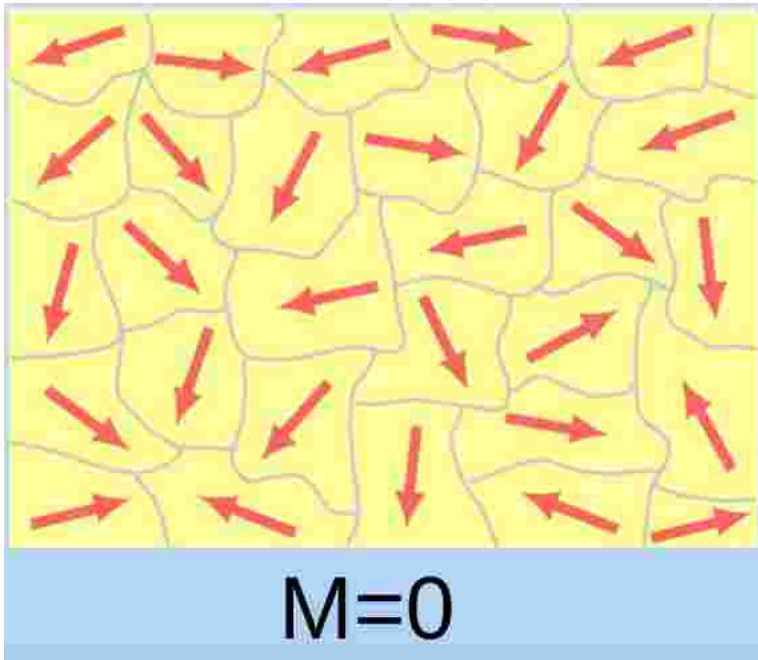
- dielektička polarizacija smanjuje električno polje

Paramagnetizam / feromagnetizam



- primjenjeno vanjsko polje B_0 nastoji urediti atomske magnetske momente

Magnetizacijski vektor

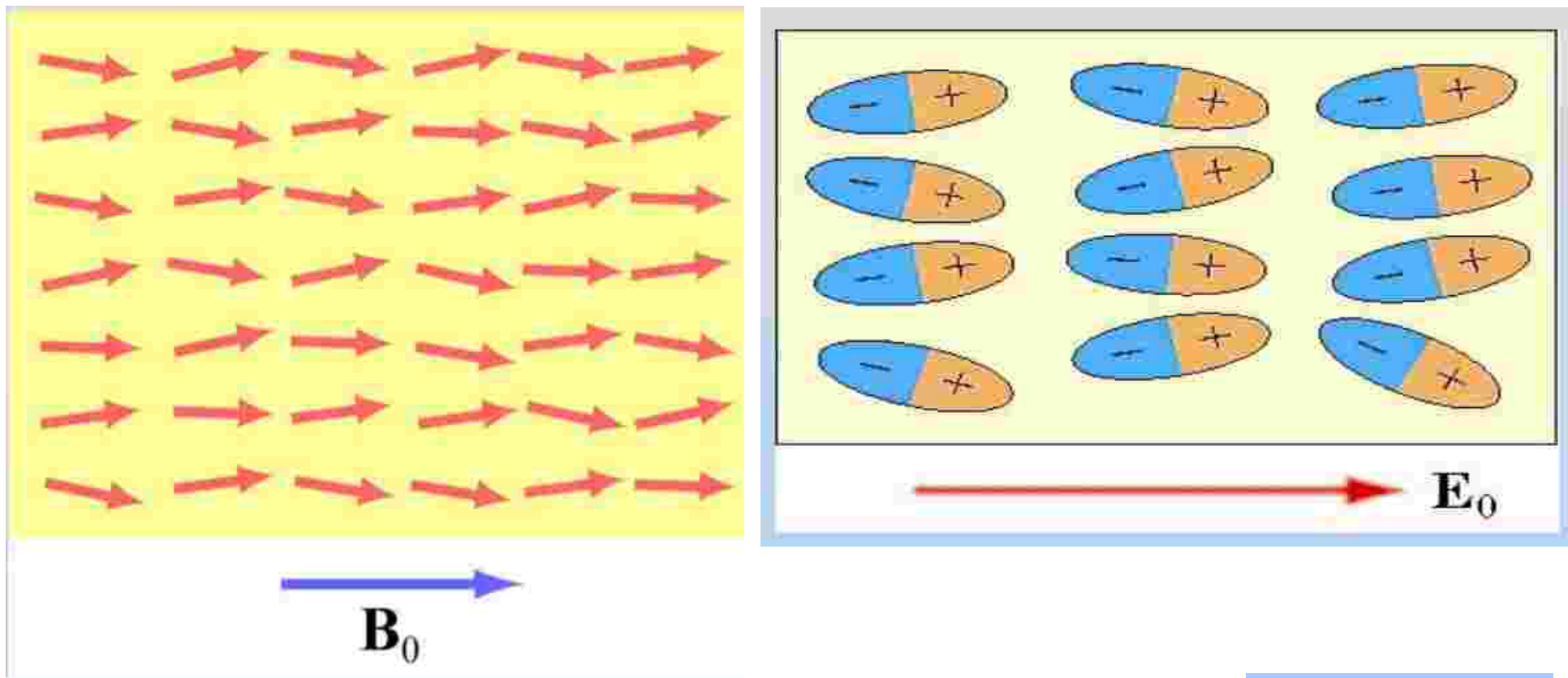


- korisno je definirati magnetizaciju materijala

$$\vec{\mathbf{M}} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \vec{\mu}_i = \frac{\vec{\mu}}{V}$$

$$\vec{\mathbf{B}} = \vec{\mathbf{B}}_0 + \mu_0 \vec{\mathbf{M}}$$

Paramagnetizam / feromagnetizam

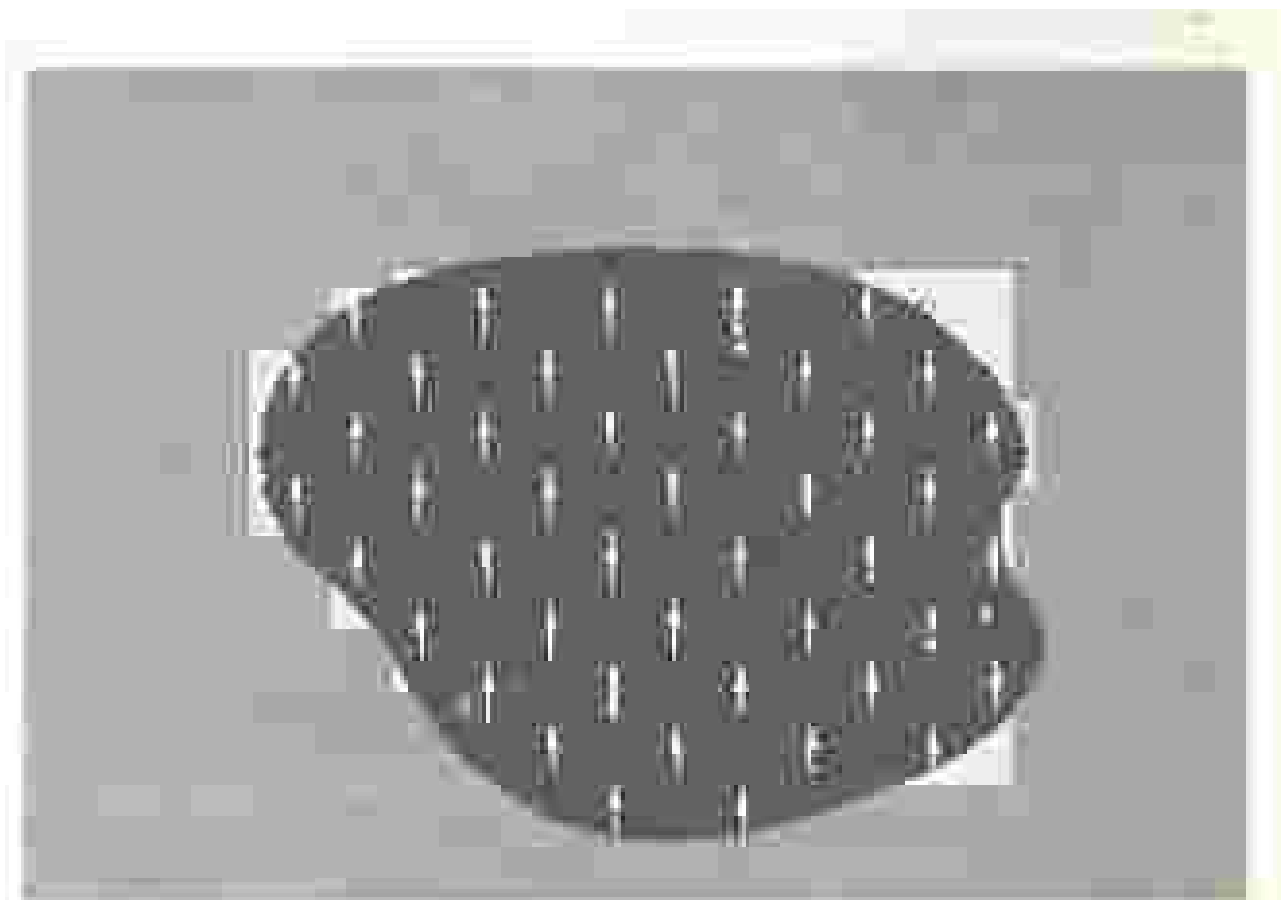


- uređeni momenti nastoje povećati magnetsko polje

$$\vec{\mathbf{B}} = \kappa_m \vec{\mathbf{B}}_0$$

$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{\vec{\mathbf{E}}_0}{\kappa_{E_1}}$$

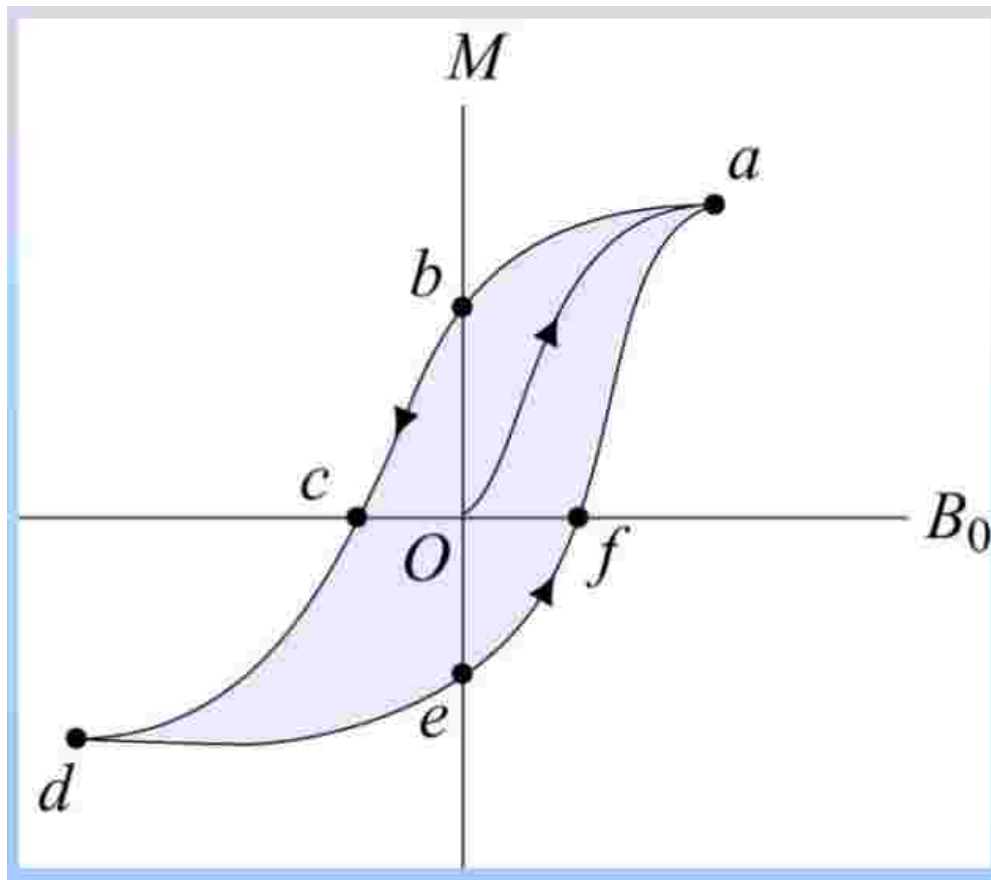
Feromagnetizam



Slika 11.25: Srednjoj spinskih usmjerenja u malom dijelu kristala željeza. Svaka strelica predstavlja magnetski moment jednog atoma željeza.

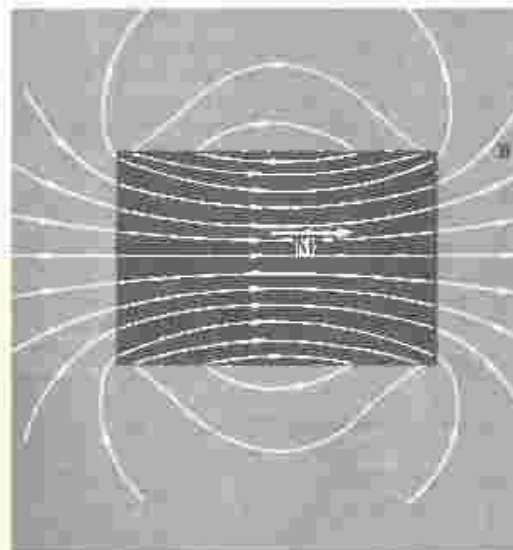
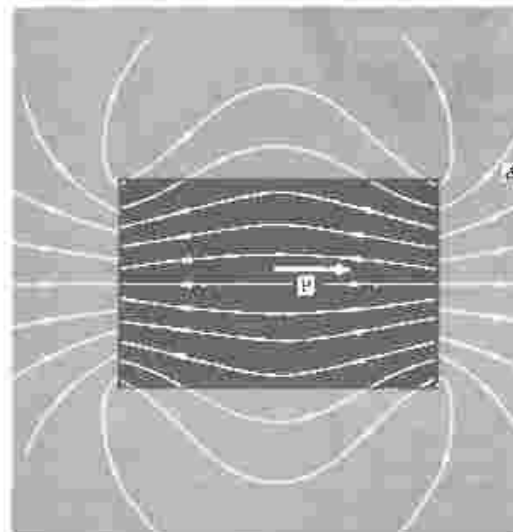
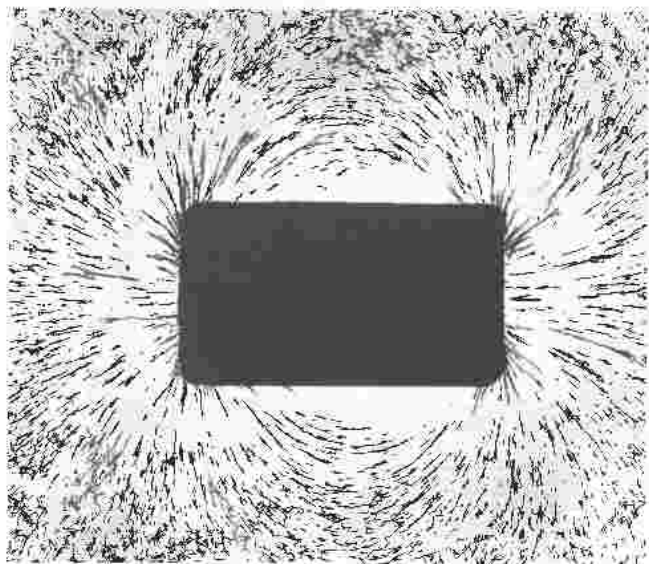
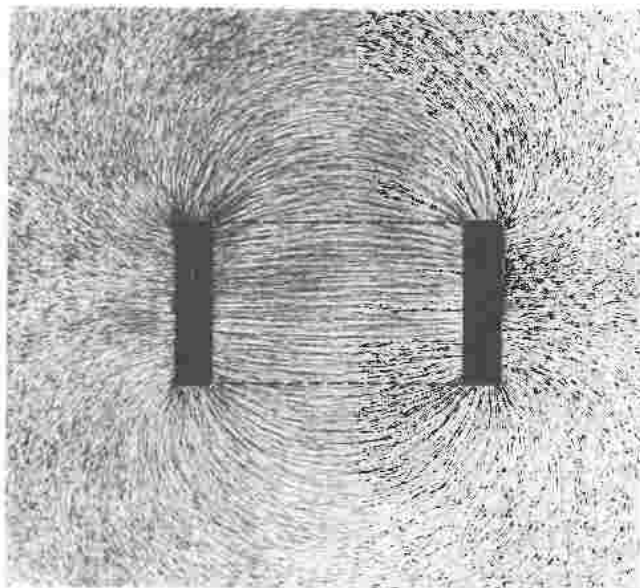
Histereza kod feromagneta

- magnetizacija M feromagnetkog materijala ovisi o njegovoj povijesti



- magnetizacija će ostati čak i kad B_0 više nije uključeno

Svojstva tvari u magnetskom polju



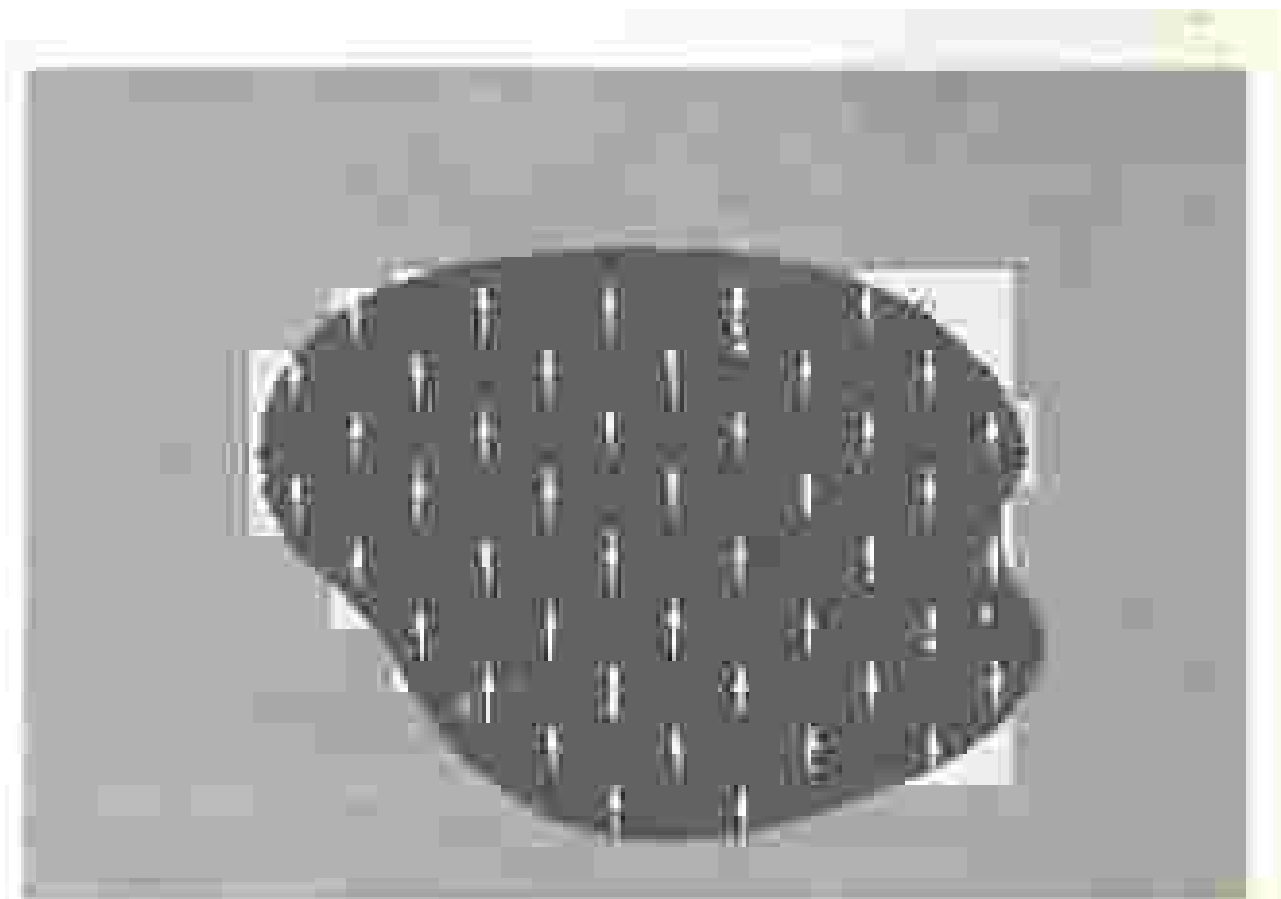
Slika 10.3. (a) Dvije suprotno nabijene plošice (u presjeku se vide kao crni pravokutici) stvaraju električno polje koje je jednako polju električno polariziranog štapa. To znači, ako bismo imali polariziran štap u prostoru od lijevog kraja lijeve do desnog kraja desne plošice (izmađeno crtam), njegovo vanjsko polje bilo bi jednako oblika kao na ovoj slici. Slinke električnog polja nastaju se najlakše pomoću sitnih crnih neč. u ulju. Nju se namjeravaju dati silnica polja. Tu otvoreni metoda za pokazivanje oblika ciklotičnog polja razvio je H. M. Waage, Palmerov fizički laboratorij, Princetonsko sveučilište. On je ljubazno načinio originalnu fotografiju za ovo sliku.

(b) Magnetsko polje oko magnetiziranog valjka prikazuje se pomoću sitnih komadića nikalne žice, koji su urotinjeni u glicerin. (Ovaj postupak da se poboljša neobdijeljeni način prikazivanja magnetskog polja primjenom željezne piljevine nije se pokazao naročito uspješnim. Nikalne žice spajale su se u dugačke nizove koje je magnet privukao na sebe.) Izračunati likovi silnica polja oba sustava prikazuju se na sl. 10.21.

Slika 10.21. (a) Električno polje E izvan i unutar jednoliko polariziranog valjka.

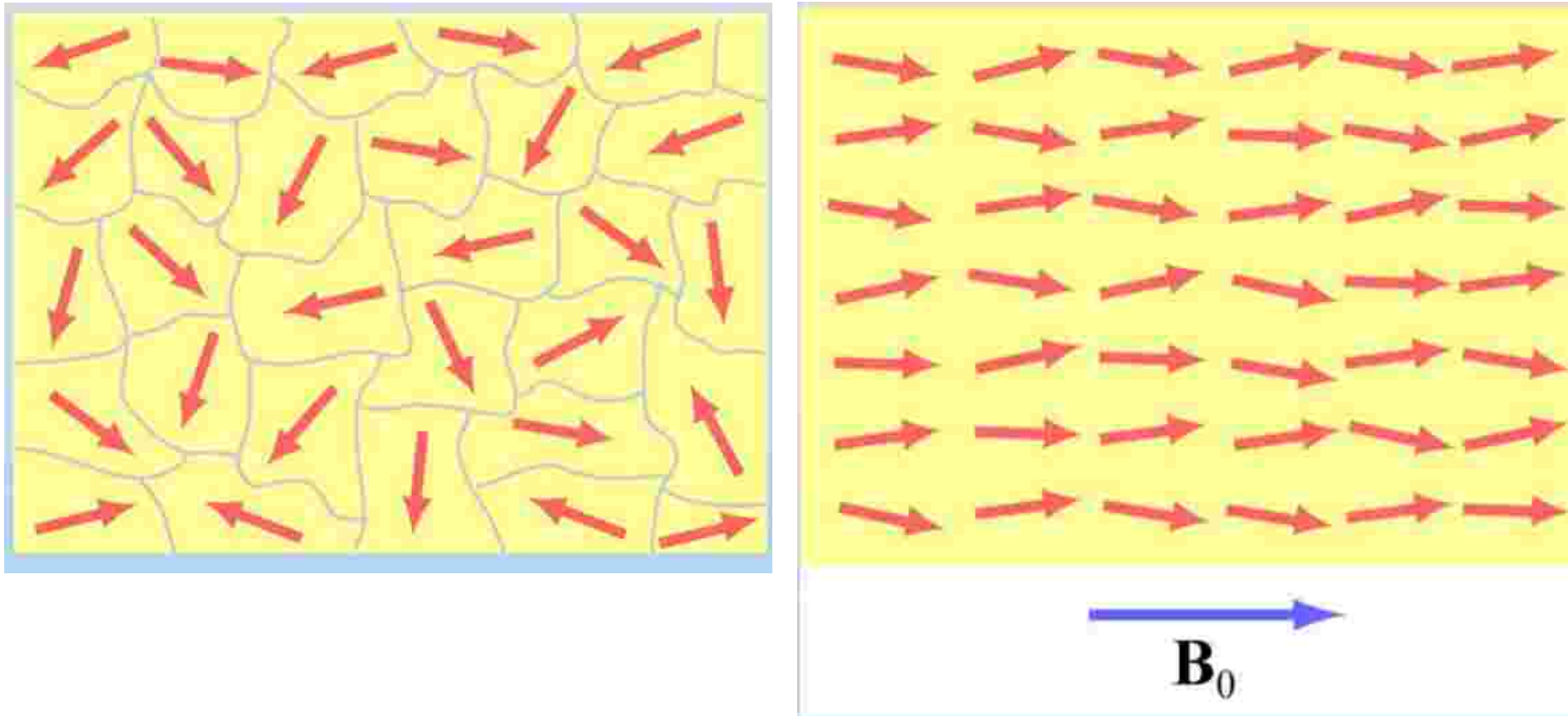
(b) Magnetsko polje B izvan i unutar jednoliko magnetiziranog valjka. U oba se slučaja u unutrašnjosti valjka prikazuje makroskopsko polje, tj. presjek atomskog ili makroskopskog polja u svakom dijelu valjaka.

Feromagnetizam



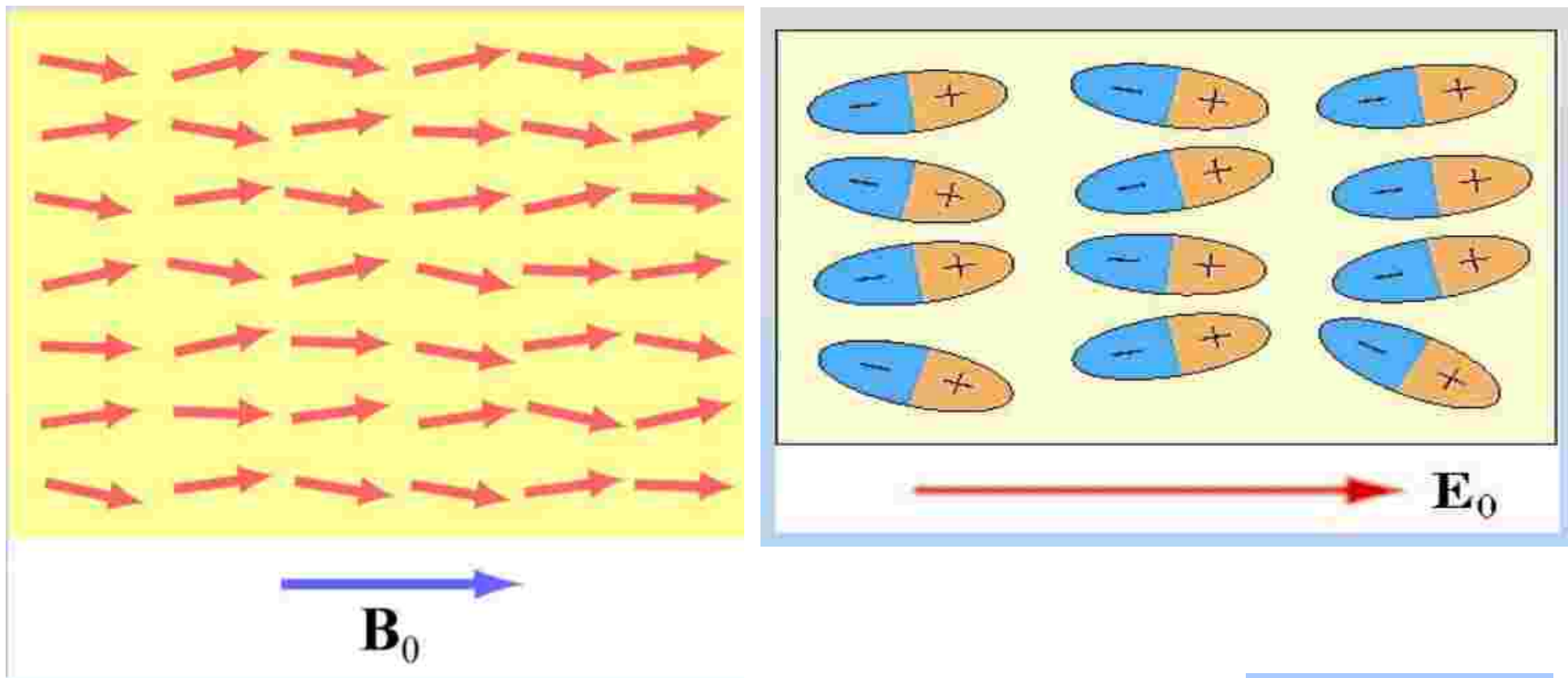
Slika 11.25: Srednjoj spinskih usmjerenja u malom dijelu kristala željeza. Svaka strelica predstavlja magnetski moment jednog atoma željeza.

Paramagnetizam / feromagnetizam



- primjenjeno vanjsko polje B_0 nastoji urediti atomske magnetske momente

Paramagnetizam / feromagnetizam

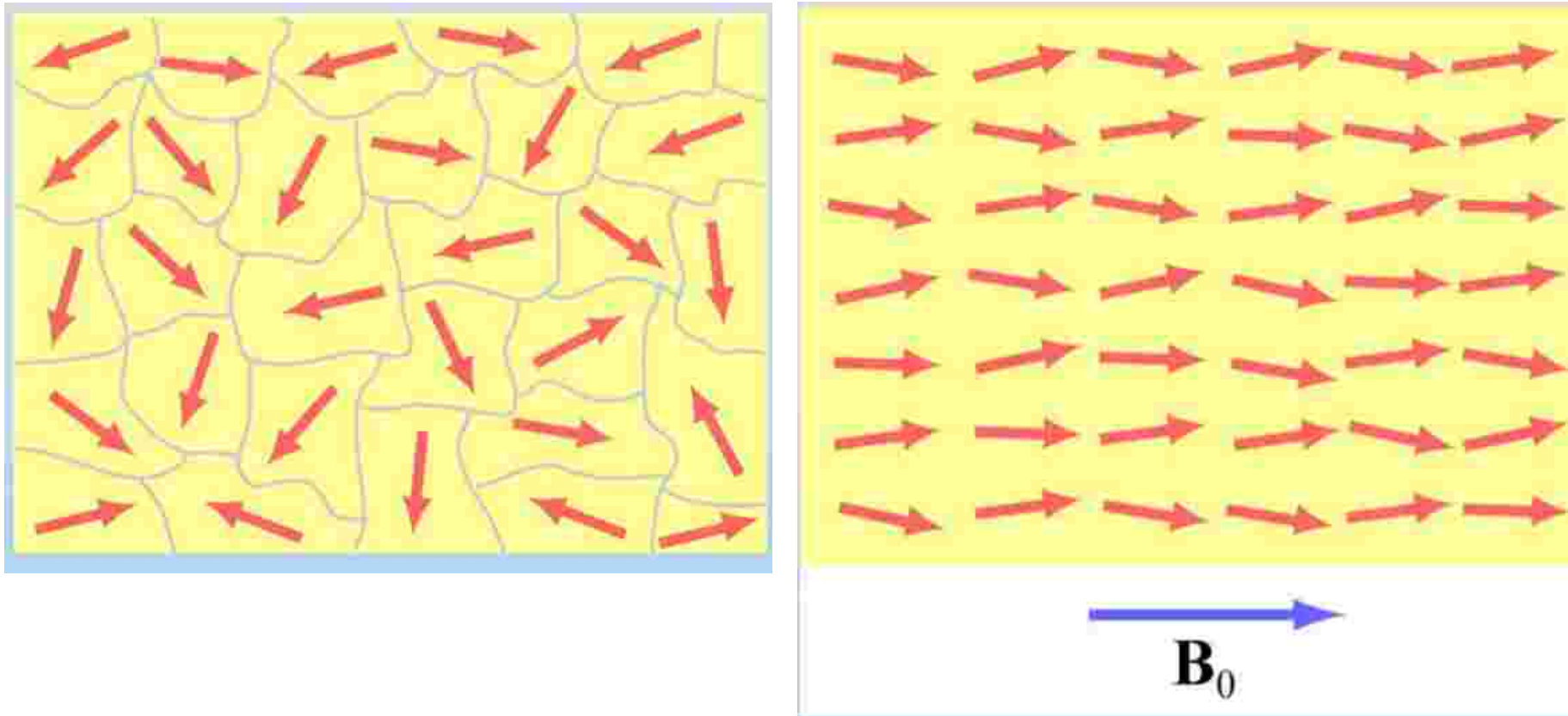


- uređeni momenti nastoje povećati magnetsko polje

$$\vec{\mathbf{B}} = \kappa_m \vec{\mathbf{B}}_0$$

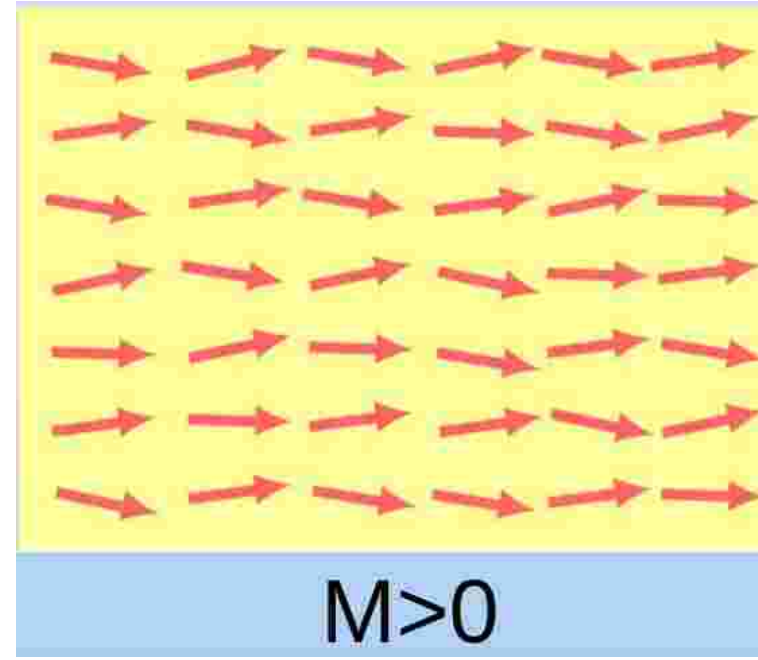
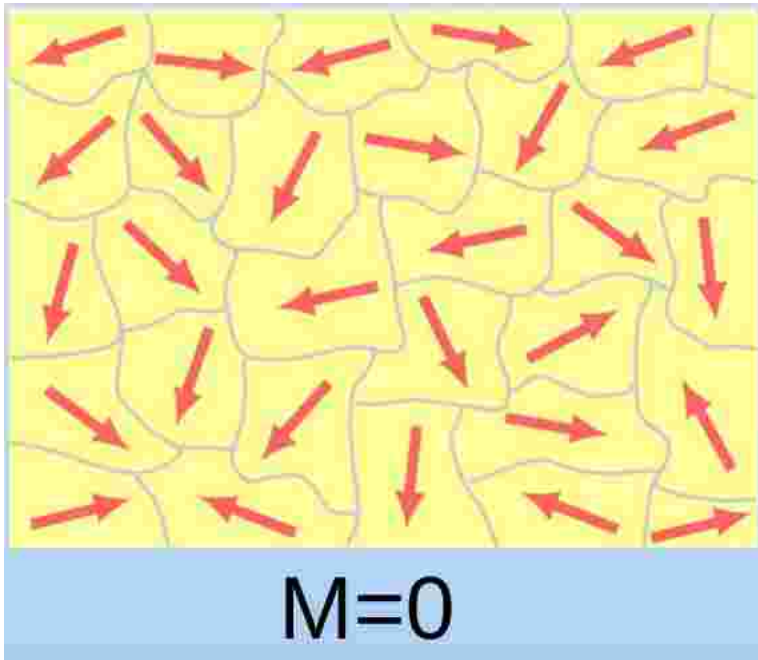
$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{\vec{\mathbf{E}}_0}{\kappa_{E_1}}$$

Paramagnetizam / feromagnetizam



- paramagnet: nakon isključivanja B_0 , neuređeno stanje
- feromagnet: nakon isključivanja B_0 , ostaje djelomično uređeno stanje
- zbog toga je moguće neke predmete uhvatiti magnetom, iako oni ne hvataju druge predmete

Magnetizacijski vektor



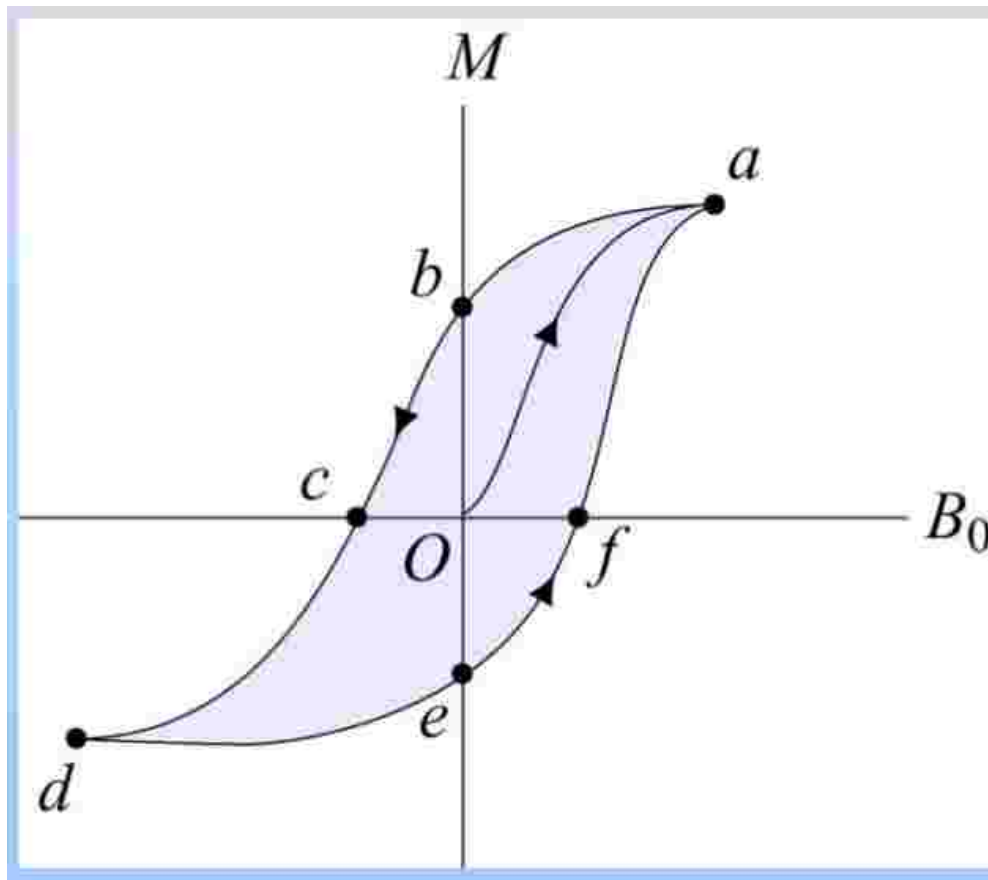
- korisno je definirati magnetizaciju materijala

$$\vec{\mathbf{M}} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \vec{\mu}_i = \frac{\vec{\mu}}{V}$$

$$\vec{\mathbf{B}} = \vec{\mathbf{B}}_0 + \mu_0 \vec{\mathbf{M}}$$

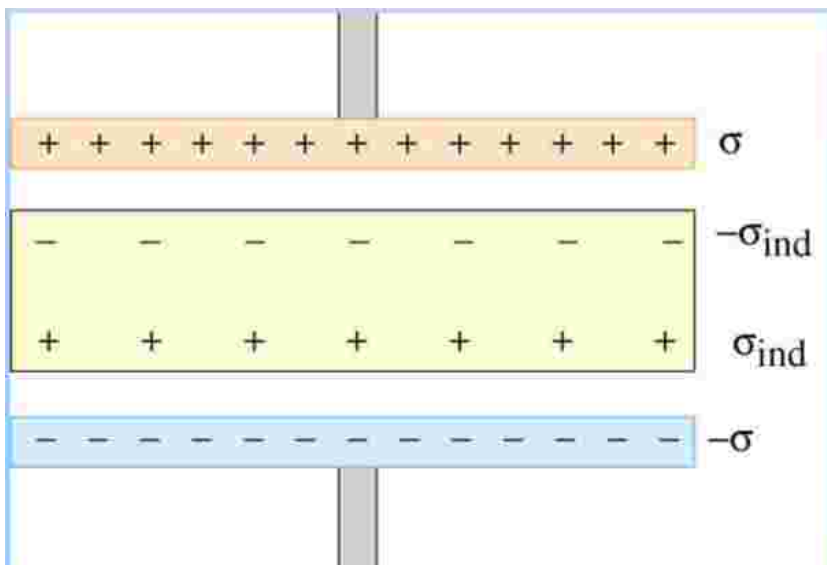
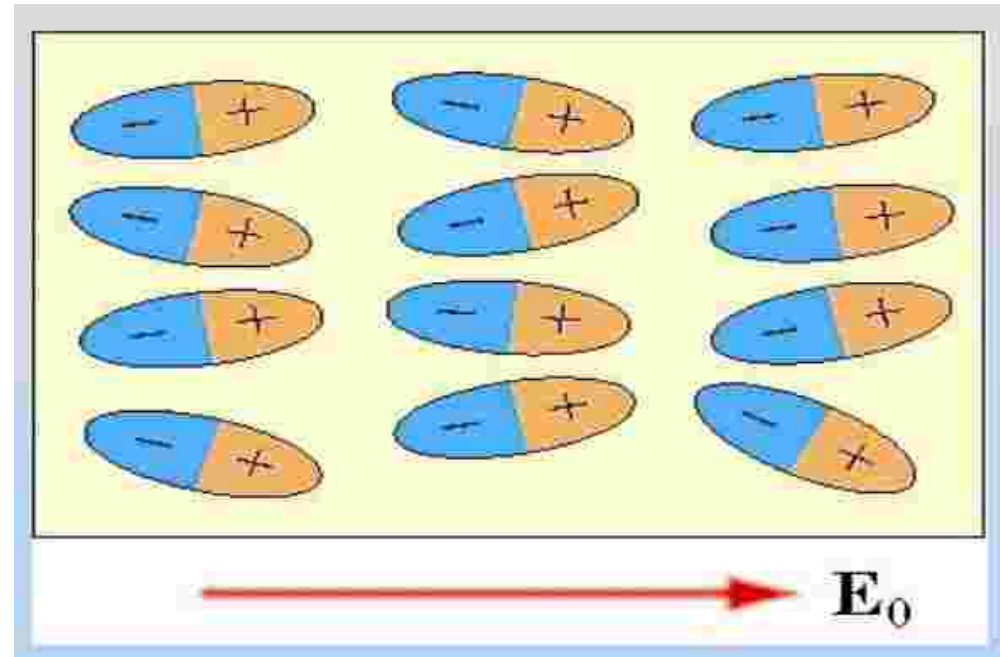
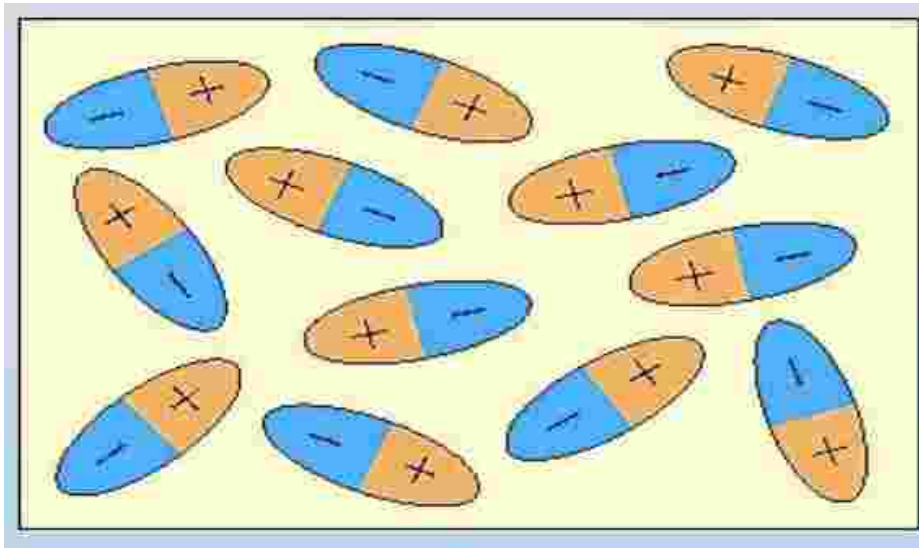
Histereza kod feromagneta

- magnetizacija M feromagnetnog materijala ovisi o njegovoj povijesti



- magnetizacija će ostati čak i kad B_0 više nije uključeno

Polarni dielektrici



- dielektička polarizacija smanjuje električno polje