

# Magnetska i magnetoelektrična svojstva hibridnih slojevitih metilamonijevih tetrahalogenokuprata $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_x\text{Br}_{4-x}$

---

NIKOLA MIŠE

MENTOR: PROF. DR. SC. DAMIR PAJIĆ

FIZIČKI ODSJEK, PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET,

BIJENIČKA 32, ZAGREB

# Motivacija za istraživanje

---

- multiferoična uređenja – naglasak na magnetoelektričnim multiferoicima
- vezanje parametara uređenja električne polarizacije i magnetizacije – magnetoelektrični učinak
- istraživanje slojevitih metalo-organskih spojeva – supostojanje strukturne fleksibilnosti sa snažnim magnetizmom i električnim uređenjima

# Magnetska svojstva materijala

---

○ posljedica orbitalnih i spinskih magnetskih dipolnih momenata

○ ukupni doprinos momentu  $m = g_j \mu_B \sqrt{j(j+1)}$

○  $\mathbf{B} = \mathbf{H} + 4\pi\mathbf{M}$

○ susceptibilnost  $\chi = \frac{\partial \mathbf{M}}{\partial \mathbf{H}}$

○ Curie zakon za molarnu susceptibilnost paramagneta  $\chi = \frac{N_A g^2 S(S+1) \mu_B^2}{3k_B T}$

# Spontana magnetska uređenja

---

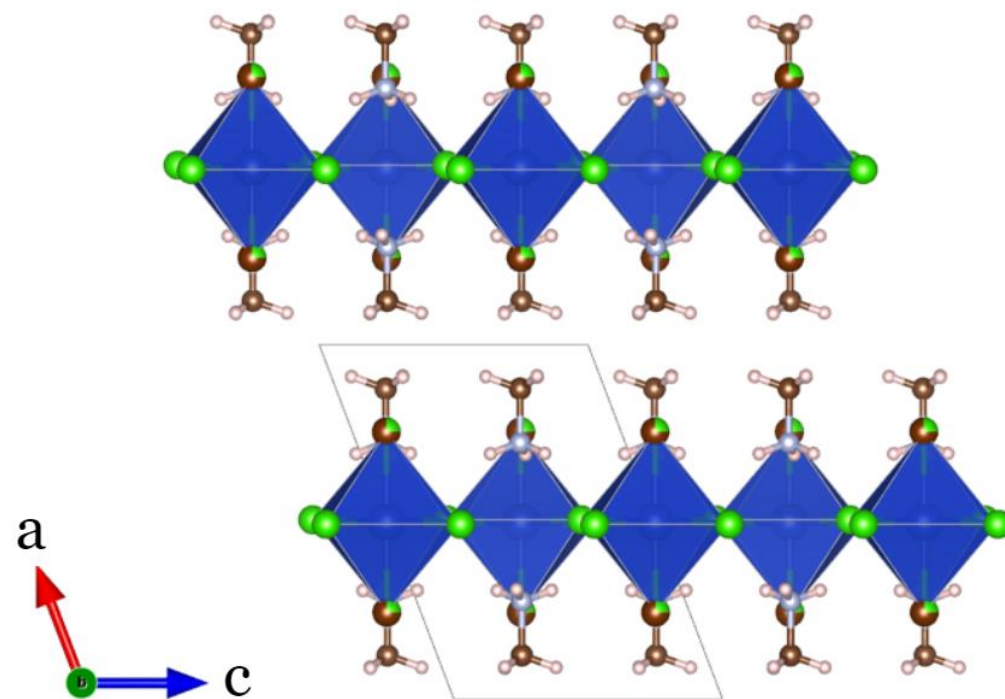
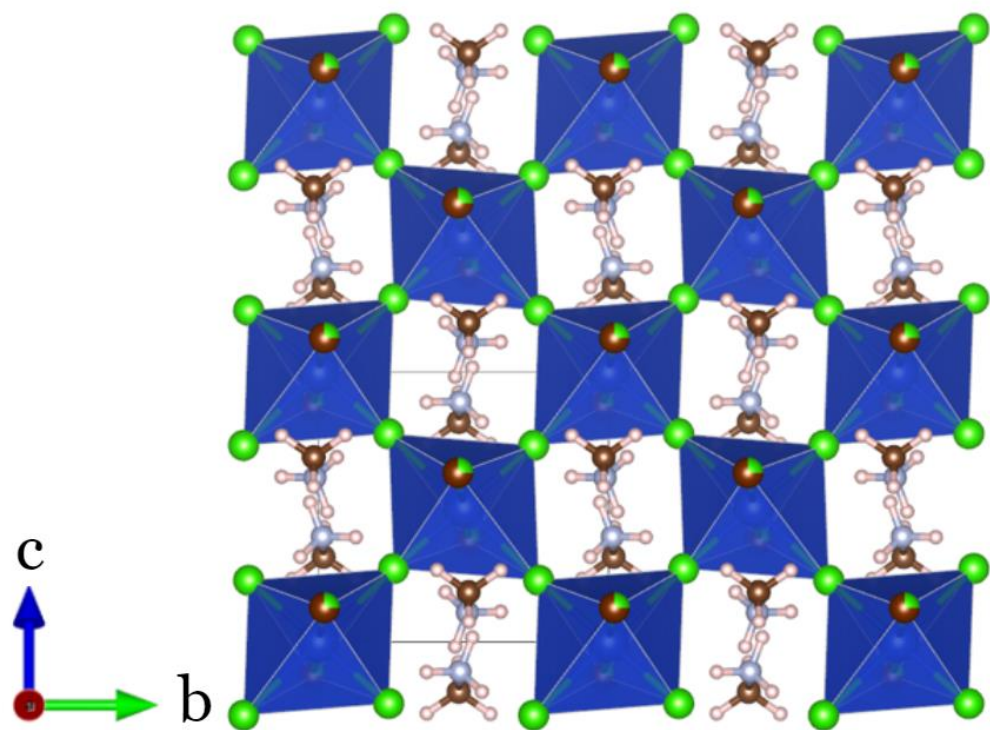
- izraženije međudjelovanje momenata → spontano uređenje ispod  $T_C$
- iznad  $T_C$  vrijedi  $\chi = \frac{C}{T - \theta}$
- pojava saturacije, magnetske histereze i feromagnetskih domena
- magnetska anizotropija – tendencija usmjerenja magnetizacije duž preferirane kristalografske osi

# Magnetoelektrični multiferoici

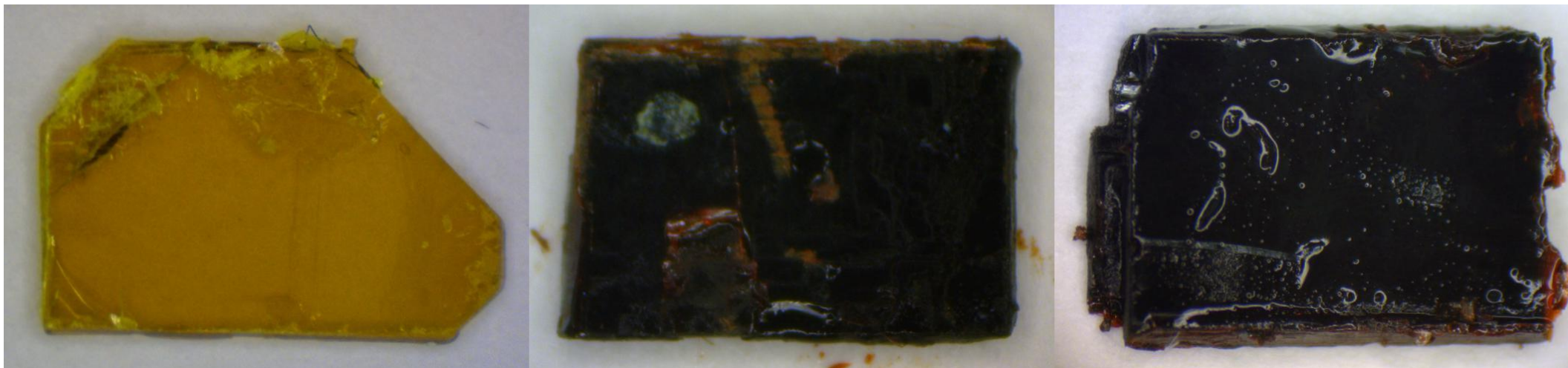
---

- pronalazak magnetoelektričnih multiferoika predstavlja veliki izazov – *međusobna isključivost uređenja*
- električna polarizacija u metalo-organskim spojevima pripisana uređenju vodikovim vezama
- električnim poljem utječemo na organske ione koji putem vodikovih veza mogu utjecati na magnetska međudjelovanja

# Istraživani spojevi - $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_x\text{Br}_{4-x}$



- razmatramo tri spoja s različitim koncentracijama klora x
- sinteza – reakcija CuO i smjese HCl i HBr u odgovarajućem omjeru te otopine metilamina u tetrahidrofuranu, kristalni produkti filtrirani pa osušeni



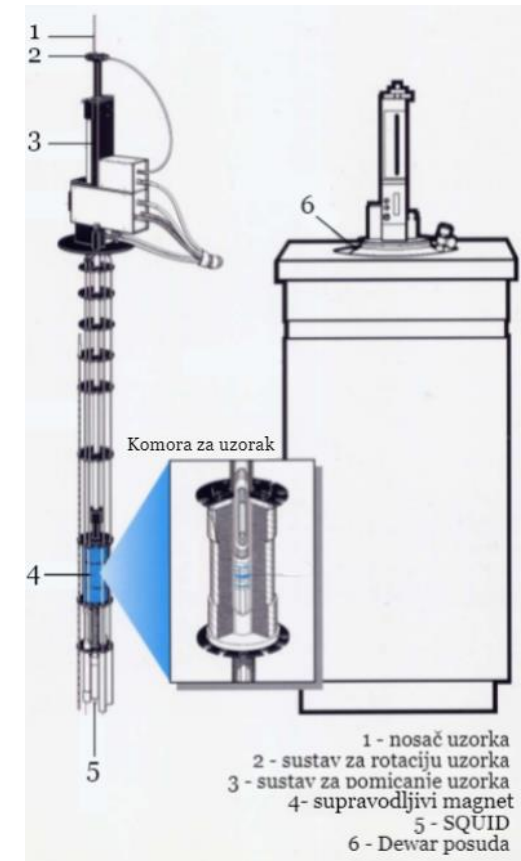
$$X = 4$$

$$X = 2.35$$

$$X = 2.01$$

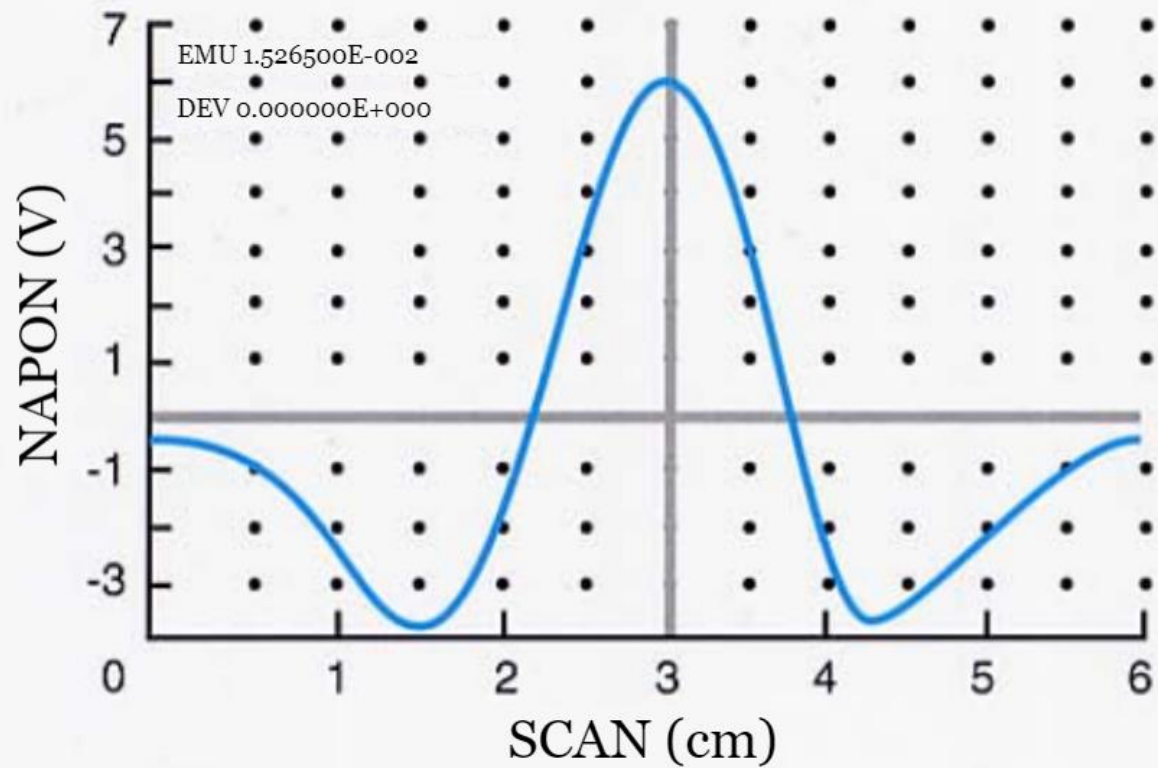
# Eksperimentalni postav – MPMS5

- SQUID – strujno-naponski pretvarač spojen na detekcijske zavojnice
- pomičući uzorak kroz zavojnice mijenja se količina toka u zavojnicama
- uređaj računa magnetski moment radeći nelinearnu prilagodbu na signal idealnog dipola
- magnetsko polje primijenjeno duž osi u ab kristalografskoj ravnini uzoraka, i u tom smjeru mjerena magnetizacija uzoraka

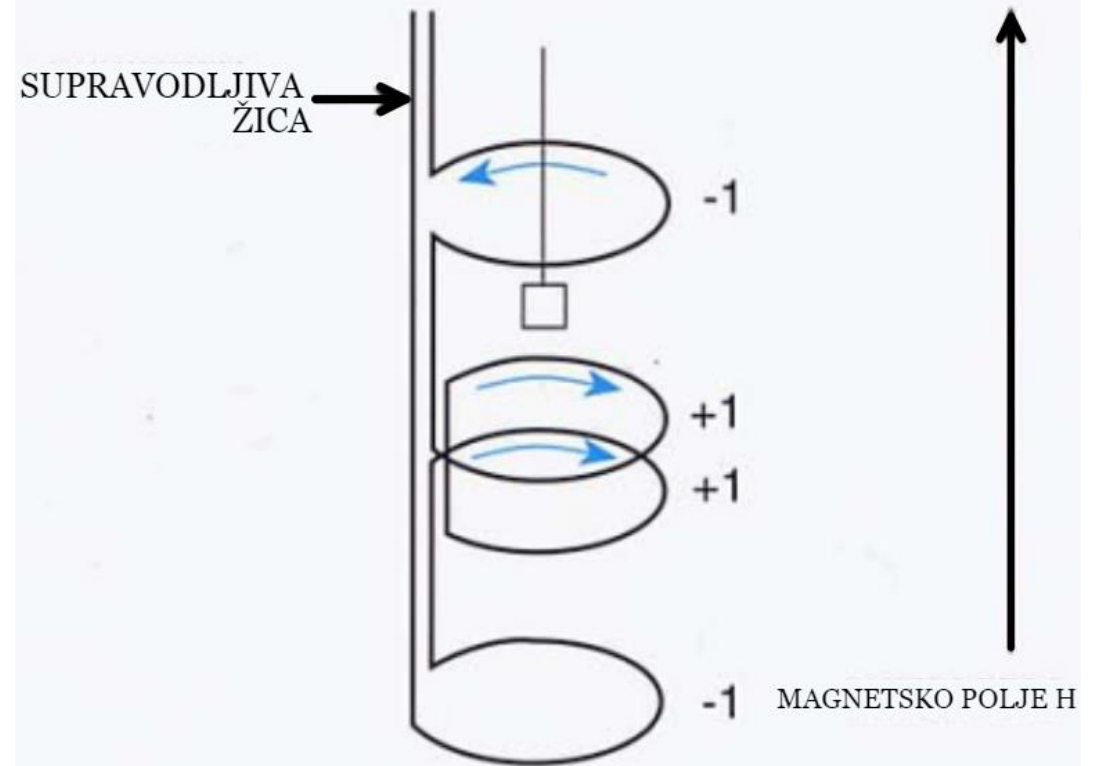




## IZLAZNI SIGNAL SQUID-a



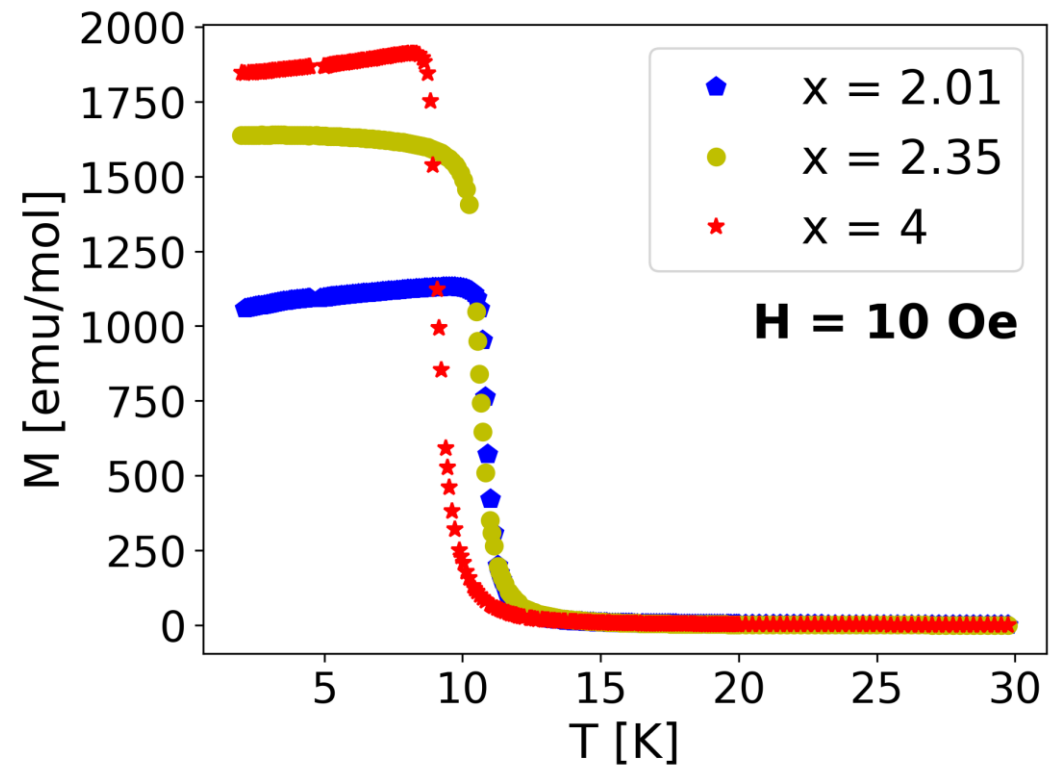
## GRADIOMETAR DRUGOG REDA



# Magnetska svojstva

- feromagnetsko uređenje
- sitne razlike u temperaturama prijelaza – ugrađeni brom ne premošćuju magnetske ione

| uzorak     | $T_C$  |
|------------|--------|
| $x = 2.01$ | 8.9 K  |
| $x = 2.35$ | 10 K   |
| $x = 4$    | 10.7 K |

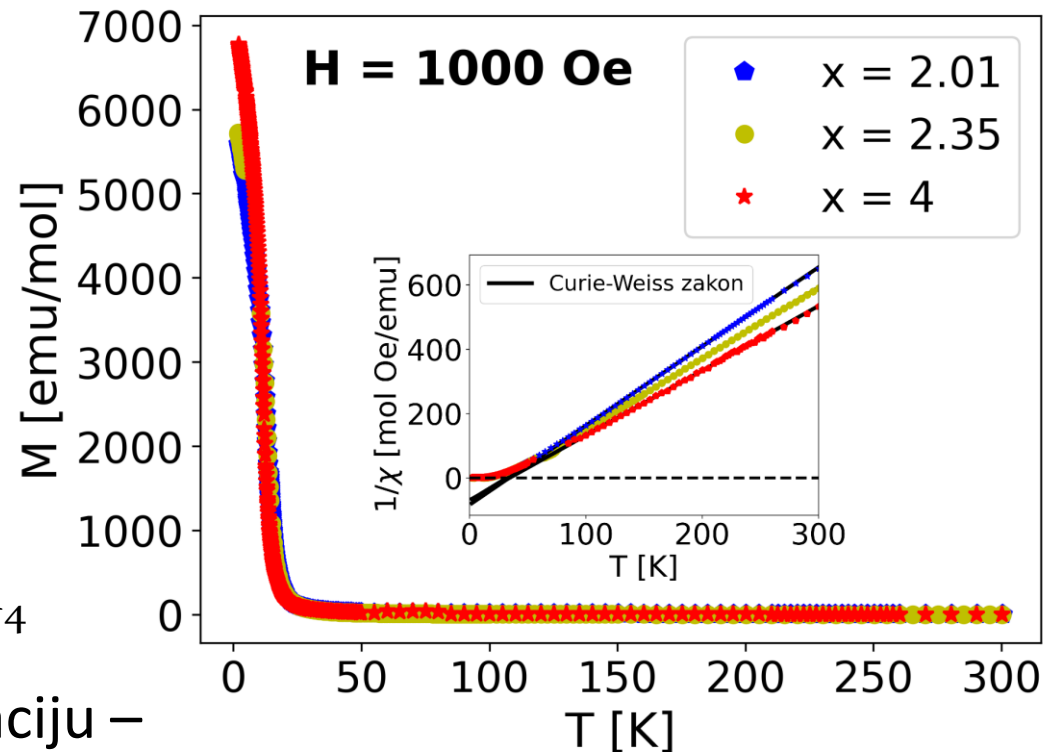


# Magnetska svojstva

- prilagodba Curie-Weiss zakona na mjerenja iznad 100 K

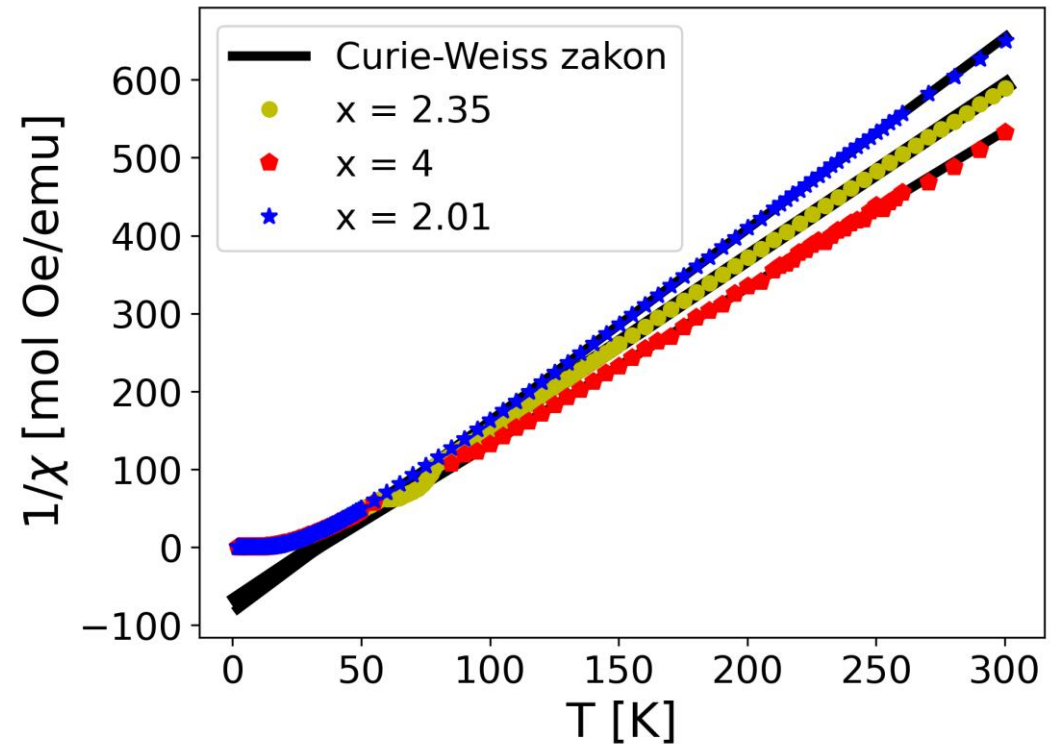
| uzorak   | $\theta$             | g-faktor            |
|----------|----------------------|---------------------|
| x = 2.01 | $(34.12 \pm 0.06)$ K | $2.0813 \pm 0.0006$ |
| x = 2.35 | $(32.03 \pm 0.06)$ K | $2.1973 \pm 0.0007$ |
| x = 4    | $(34.5 \pm 0.2)$ K   | $2.302 \pm 0.003$   |

- $\theta = (25.0 \pm 0.4)$  K za  $(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_4$
- čisti uzorak ima nešto veću magnetizaciju – jasno definirana anizotropija



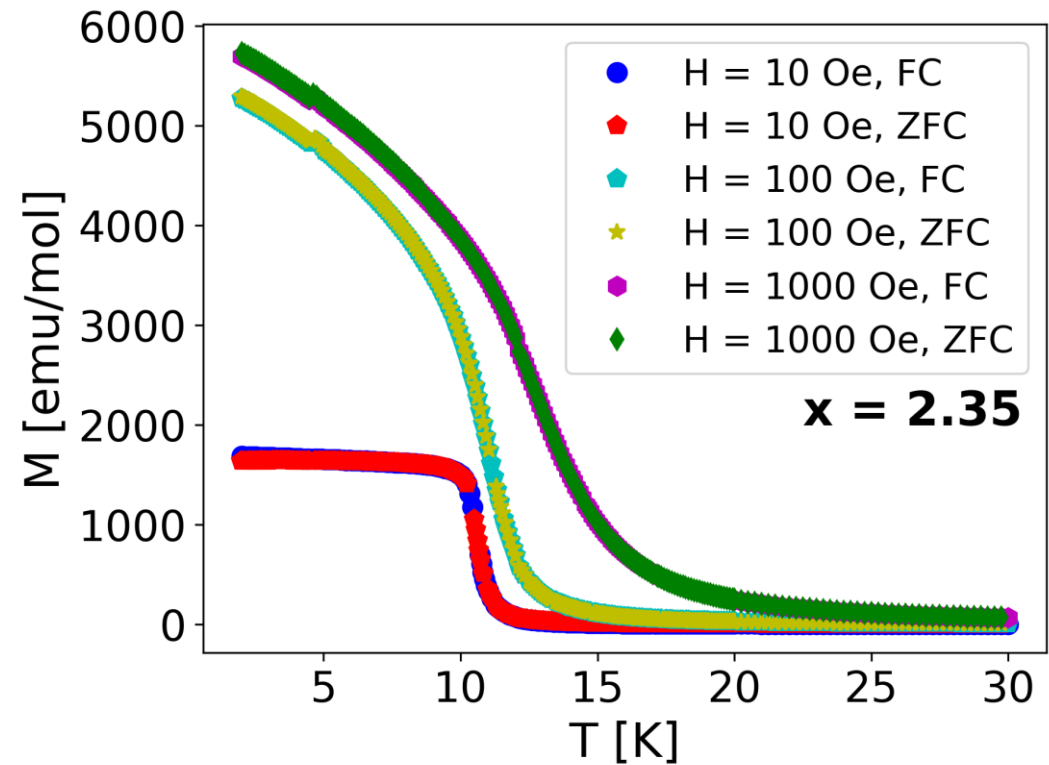
# Dimenzionalnost uređenja

- izotropni 2D sustav s kratkodosežnim interakcijama ne bi trebao pokazati dugodosežna magnetska uređenja na konačnim temperaturama
- međudjelovanja preko organskih kationa potiskuju fluktuacije na konačnim temperaturama, potpomažu i lokalne anizotropije



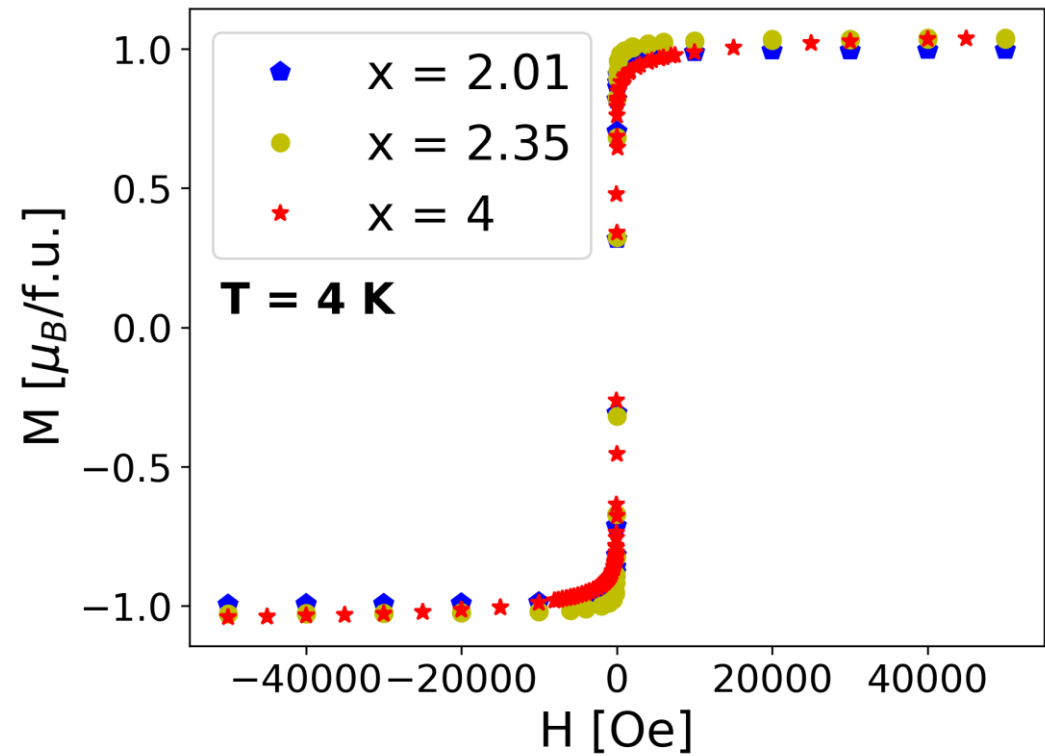
# ZFC i FC krivulje magnetizacije

- *zero field cooled* i *field cooled* mjerenja
- eventualno nepreklapanje ukazuje na anizotropiju u uređenom stanju
- uočena razdvajanja samo za mala polja → slabe ireverzibilnosti



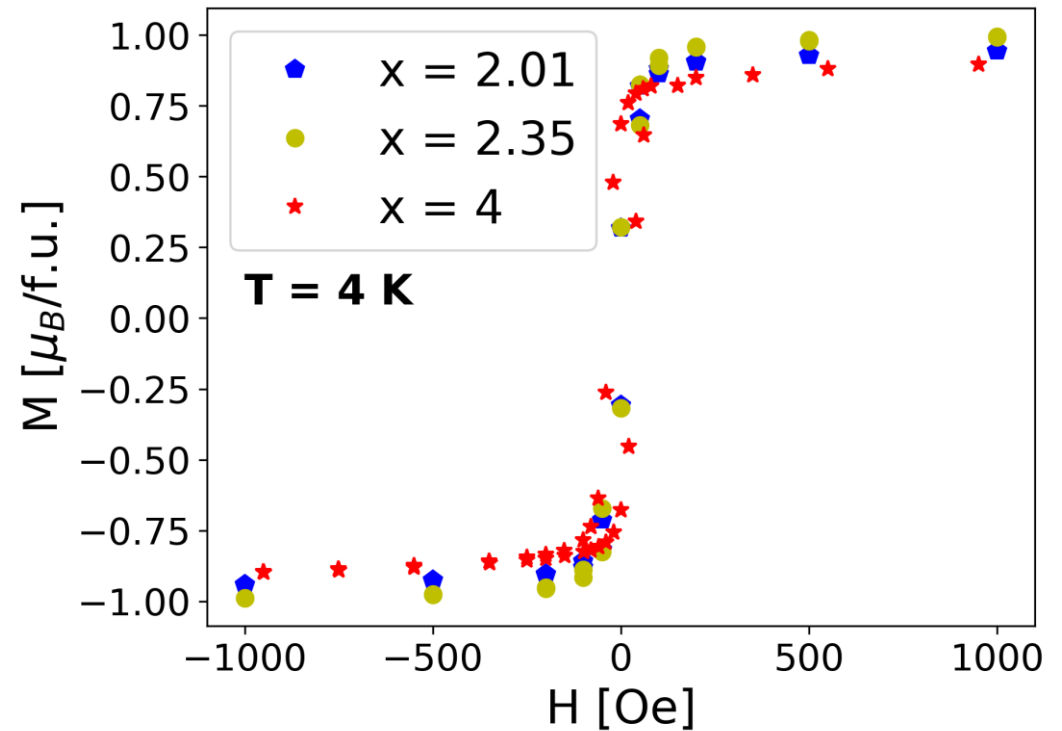
# Magnetska histereza

- feromagnetski uređena faza sa saturacijom od  $1.05 \mu_B$  po  $\text{Cu}^{2+}$



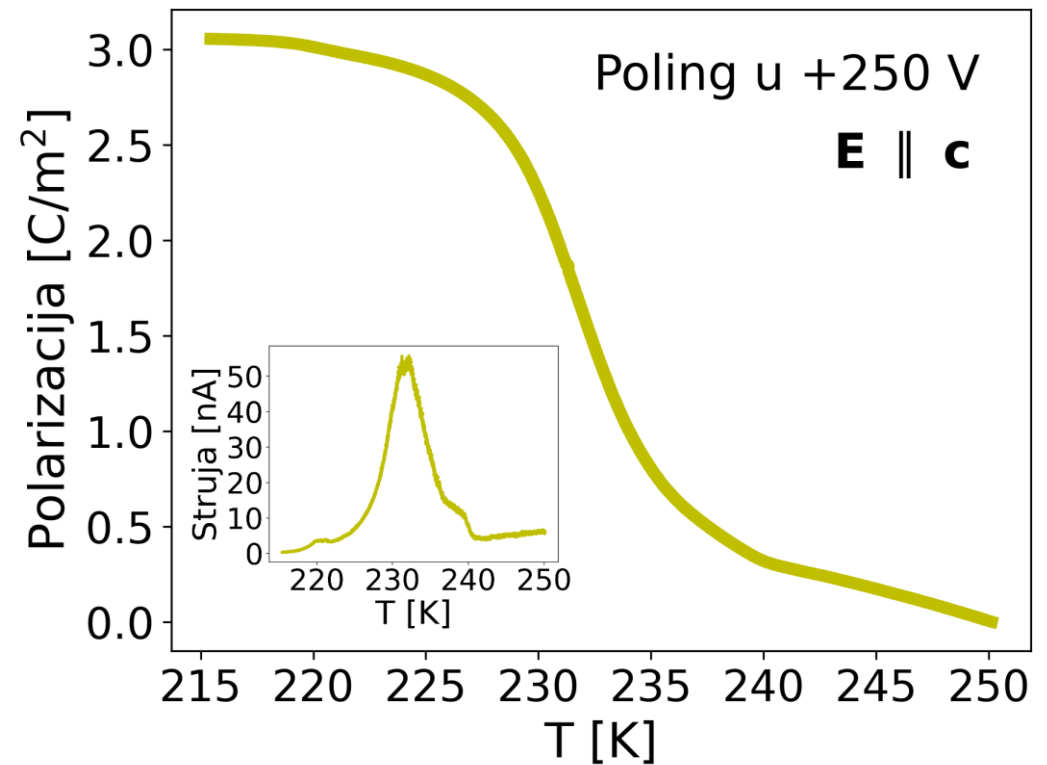
# Magnetska histereza

- feromagnetski uređena faza sa saturacijom od  $1.05 \mu_B$  po  $\text{Cu}^{2+}$
- 80% ukupne magnetizacije postiže već za polja od 50 Oe – laki feromagnetni
- za čisti spoj postoji mala histereza i konačno koercitivno polje



# Piroelektrična struja

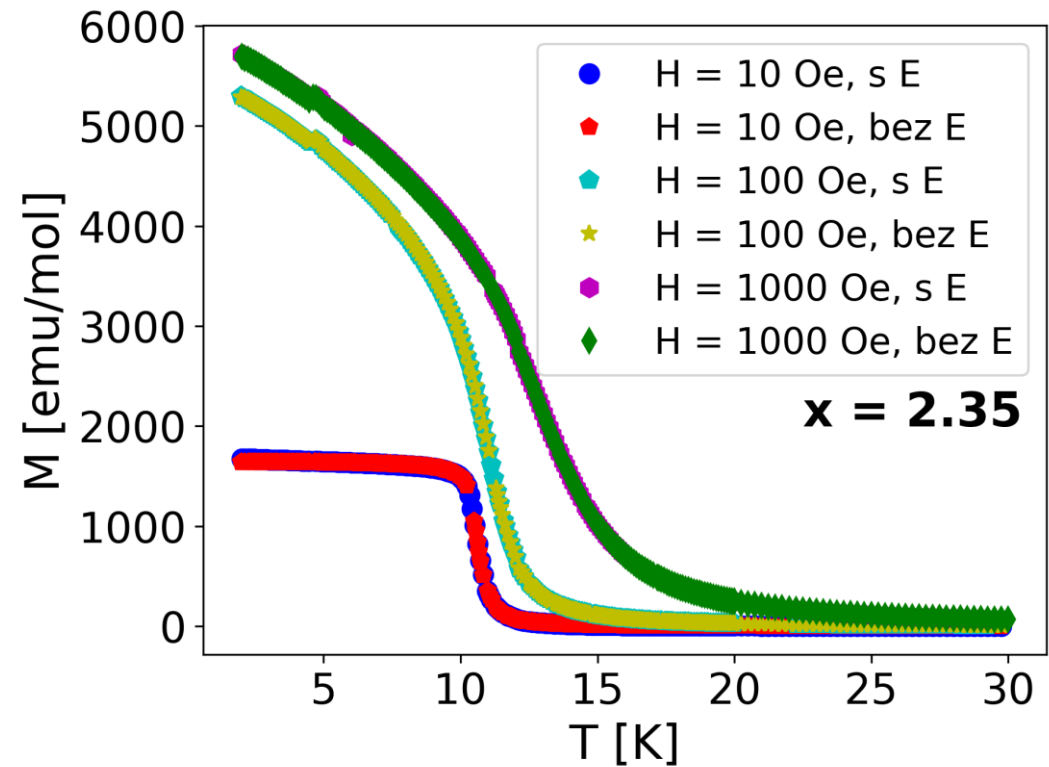
- mjerimo struju generiranu iščeznućem polarizacije prolaskom kroz temperaturu električnog uređenja
- polarizaciju dobivamo integriranjem struje u vremenu





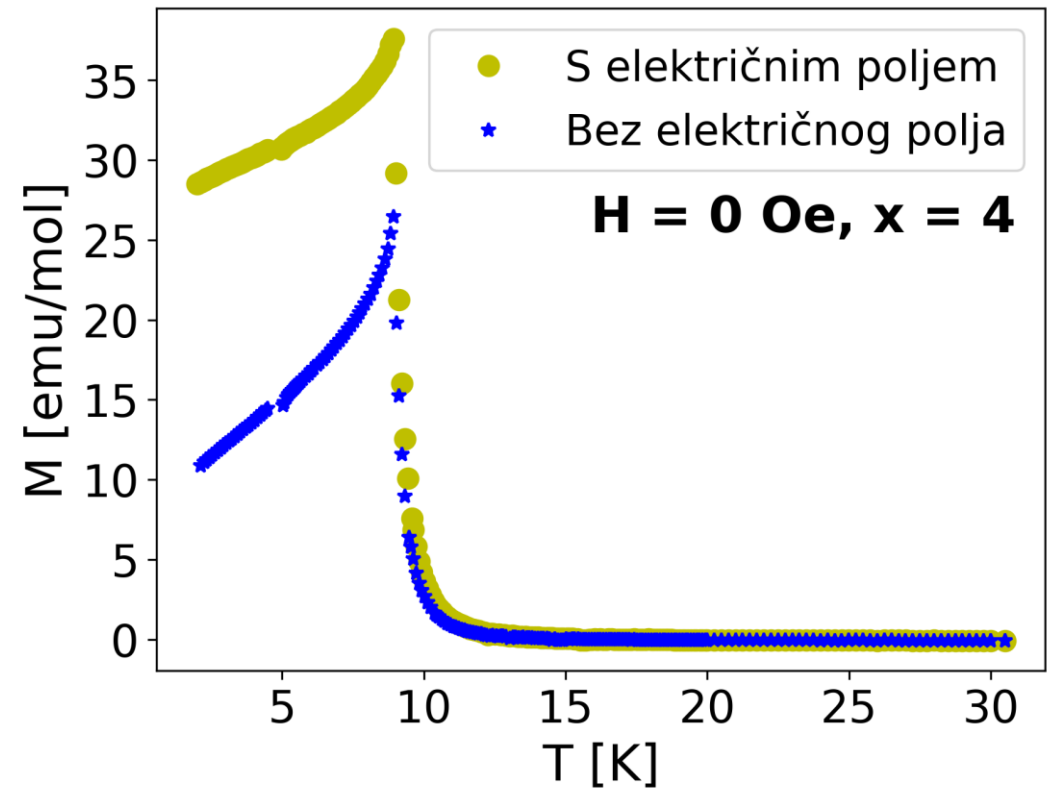
# Magnetoelektrični učinak

- ne uočavamo razlike u ovisnosti magnetizacije s ili bez primijenjenog električnog polja u smjeru paralelnom c-osi uzorka
- ne znači da promatrani uzorci za druge konfiguracije polja ne bi dali magnetoelektrični učinak



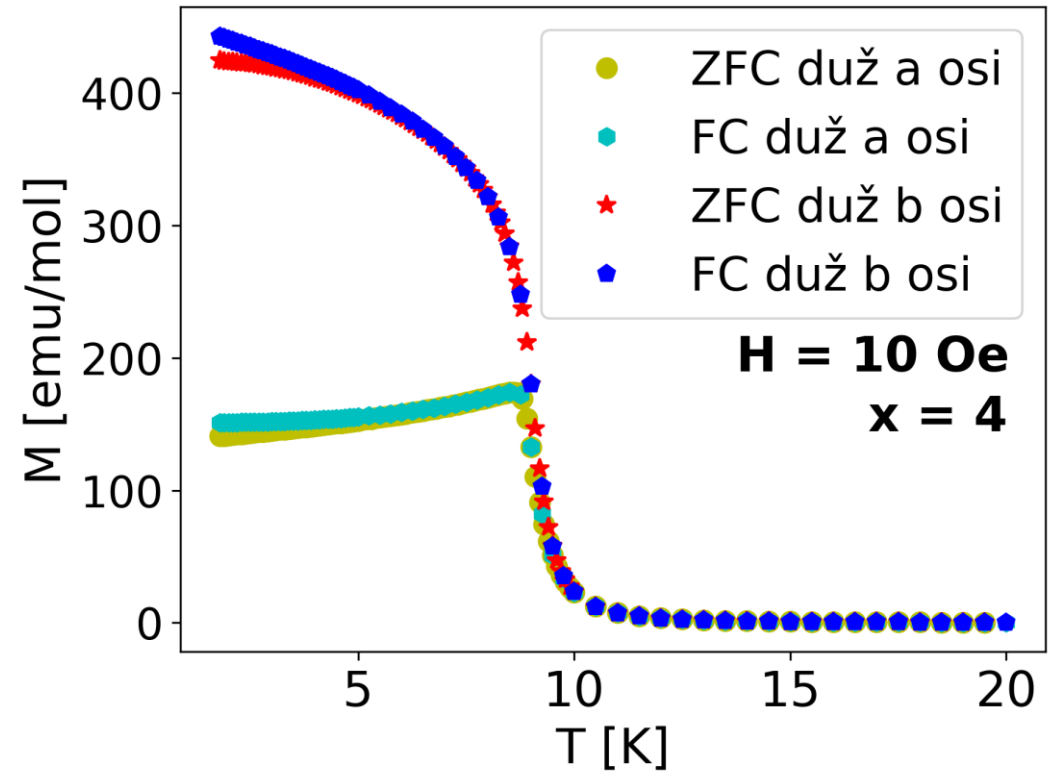
# Daljnje istraživanje

- bez nominalnog magnetskog polja za uzorak  $x = 4$
- karakteristični antiferomagnetski šiljak na temperaturi prijelaza?



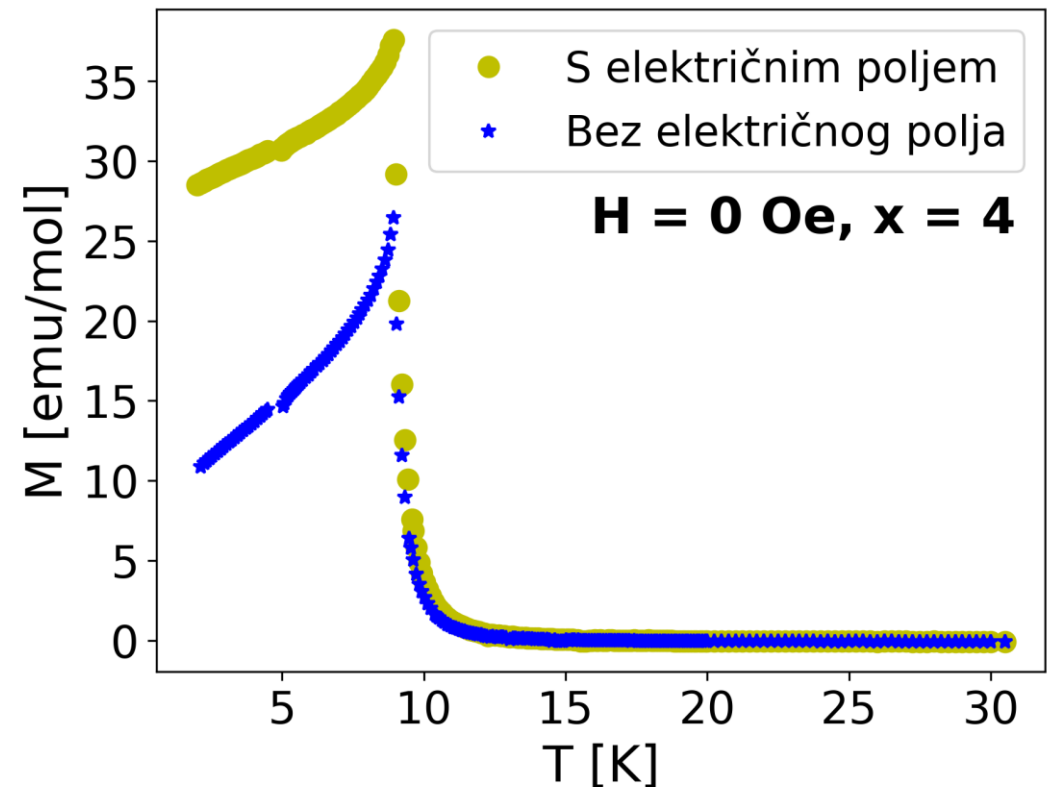
# Daljnje istraživanje

- starija mjerenja ukazuju na dodatne anizotropije u magnetskoj ravnini
- os b je laka magnetska os



# Daljnje istraživanje

- razlike u magnetizaciji s i bez električnog polja u smjeru c-osi uzorka – treba napraviti mjerenja korištenjem ULF opcije
- provjeriti magnetoelektrični učinak za ostale konfiguracije polja



# Zaključak

---

- proučeni spojevi – meki feromagnetni, izrazito sličnih magnetskih svojstava, koji saturiraju u polju od 1000 Oe magnetizacijom od  $1.05 \mu_B$  po  $\text{Cu}^{2+}$
- sitne razlike magnetskih svojstava posljedica su različite anizotropije polikristalnog sustava
- mjerenje piroelektrične struje ukazuje na spontano električno uređenje
- pri mjerenoj konfiguraciji polja nije uočen magnetoelektrični učinak

Hvala na pažnji!