

3D Diracov polumetal Cd_3As_2 – Sinteza i transportna mjerenja

¹Filip Orbanić, ¹Mario Novak, ²Nikola Biliškov, ¹Ivan Kokanović

¹Fizički odsjek, PMF, Zagreb, Croatia,

²Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Croatia

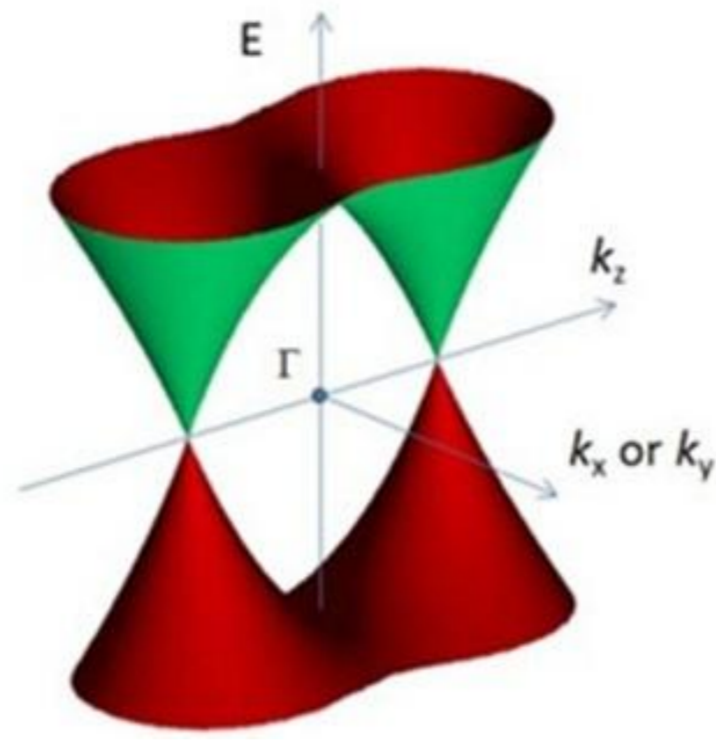


E-mail: forbanic@phy.hr

3D Diracov polumetal

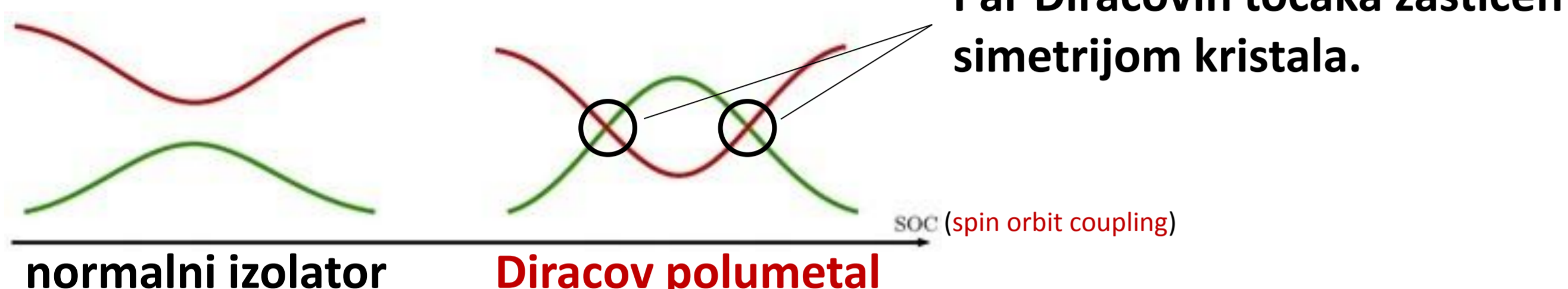
Linearna disperzija oko dodirnih točaka.

Valentna i vodljiva vrpca dodiruju se u diskretnim točkama.



- Diracova disperzija u bulk stanjima (3D) u k -prostoru → 3D analogon grafena.
- Netrivijalna topologija vrpce → invertirane vrpce koje se dodiruju u Diracovim točkama.

- Intrinsični (Cd_3As_2 , Na_3Bi).



- Na faznom prijelazu između normalnog i topološkog izolatora ($\text{Pb}_{0.83}\text{Sn}_{0.17}\text{Se}$)



Fizika Diracovih fermiona:

- Velika mobilnost i mala efektivna masa.
- Veliki linearni magnetootpor.
- Zanimljiva transportna svojstva.
- Fundamentalna fizika (realizacija Weylovog fermiona).

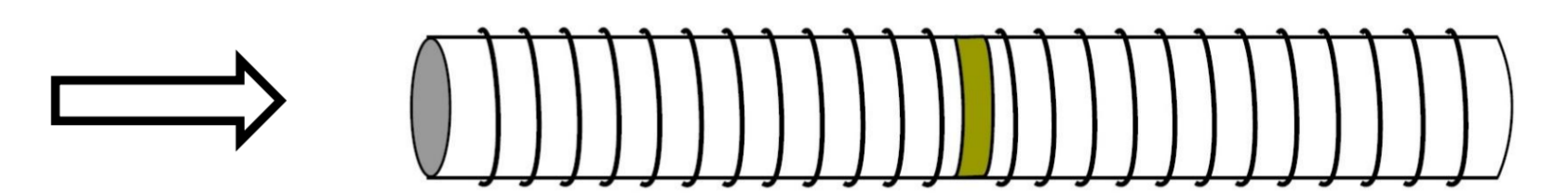
Sinteza Cd_3As_2

- Korištena je **CVD metoda** u modificiranoj cijevnoj dvozonskoj peći.
- Rast kristala u kvarcnoj ampuli s visokim vakuumom ili argonom.
- Temperaturni gradijent od 585-565 °C je postepeno uspostavljen i onda održavan od 8-48 h.

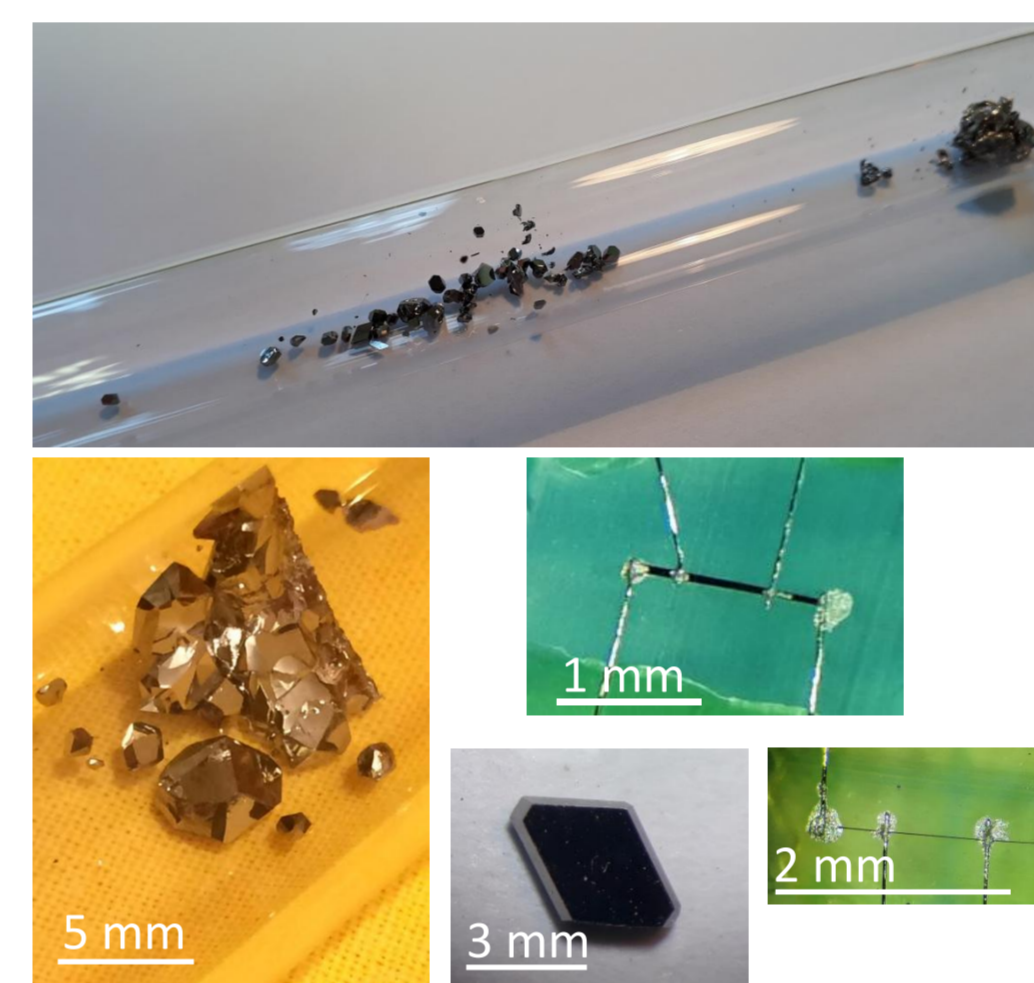


Zataljivanje kvarcne cijevčice u ampulu.

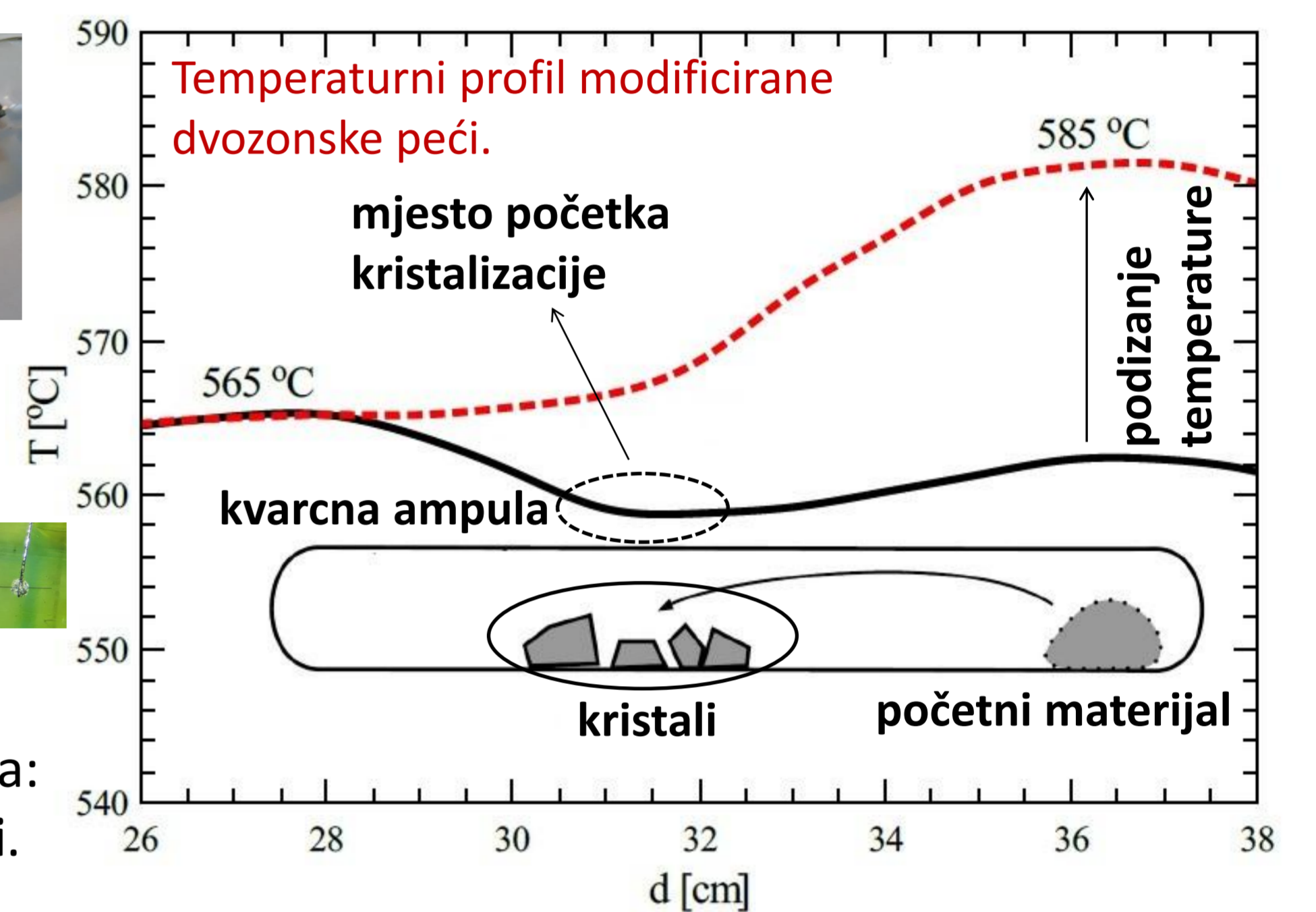
Ampula s vakuumom ili 0.1-0.5 bara argona i cca 1 g polikristalnog Cd_3As_2 .



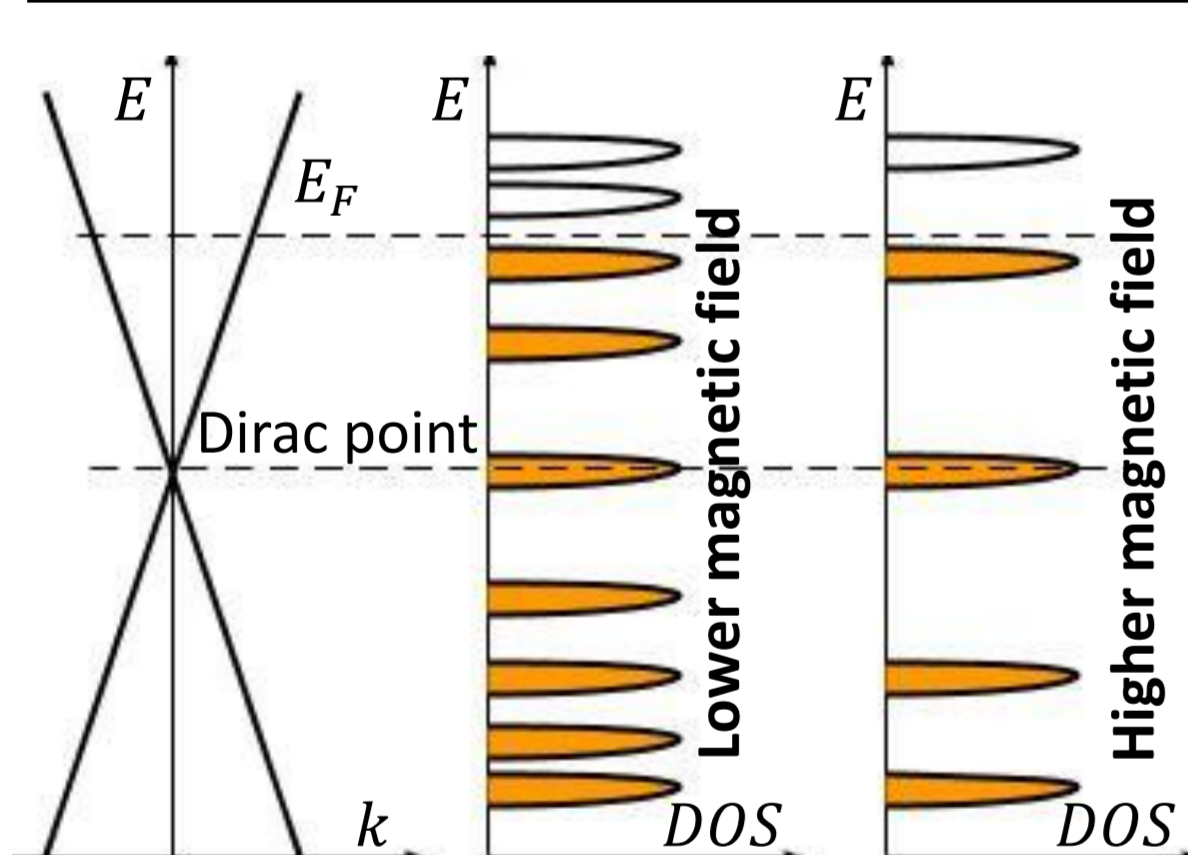
Dvije zone peći su fizički odvojene kvarcnom vunom → specifični temperaturni gradijent.



Kristali rastu u nekoliko oblika: granule, pločice, štapići i niti.



Kvantne oscilacije



Elektroni u jakom B -polju → Landauovi nivoi. Povećanje polja vodi na periodično prelaženje nivoa preko E_F → **osciliranje fizikalnih veličina s $1/B$** .

$$\Delta\sigma_{osc} = A_0 A_T A_D A_S \cos \left[2\pi \left(\frac{F}{B} \pm \frac{1}{8} + \beta \right) \right]$$

$\Delta\sigma_{osc}$ → Subnikov de Haas oscilacije
 ΔM_{osc} → de Haas van Alphen oscilacije

$$A_T = \sqrt{B} \frac{\alpha T}{\sinh(\frac{\alpha T}{B})}$$

$$A_D = e^{-\frac{\alpha T_D}{B}}$$

$$\alpha = 14.69 \frac{m_c^*}{m_e} T K^{-1}$$

$$T_D = \frac{\hbar}{k_B \tau_Q}$$

$$F = \frac{\hbar}{2e} k_F^2$$

efektivna ciklotronska masa

kvantno vrijeme raspršenja

informacije o gustoći nosioca i obliku Fermi površine

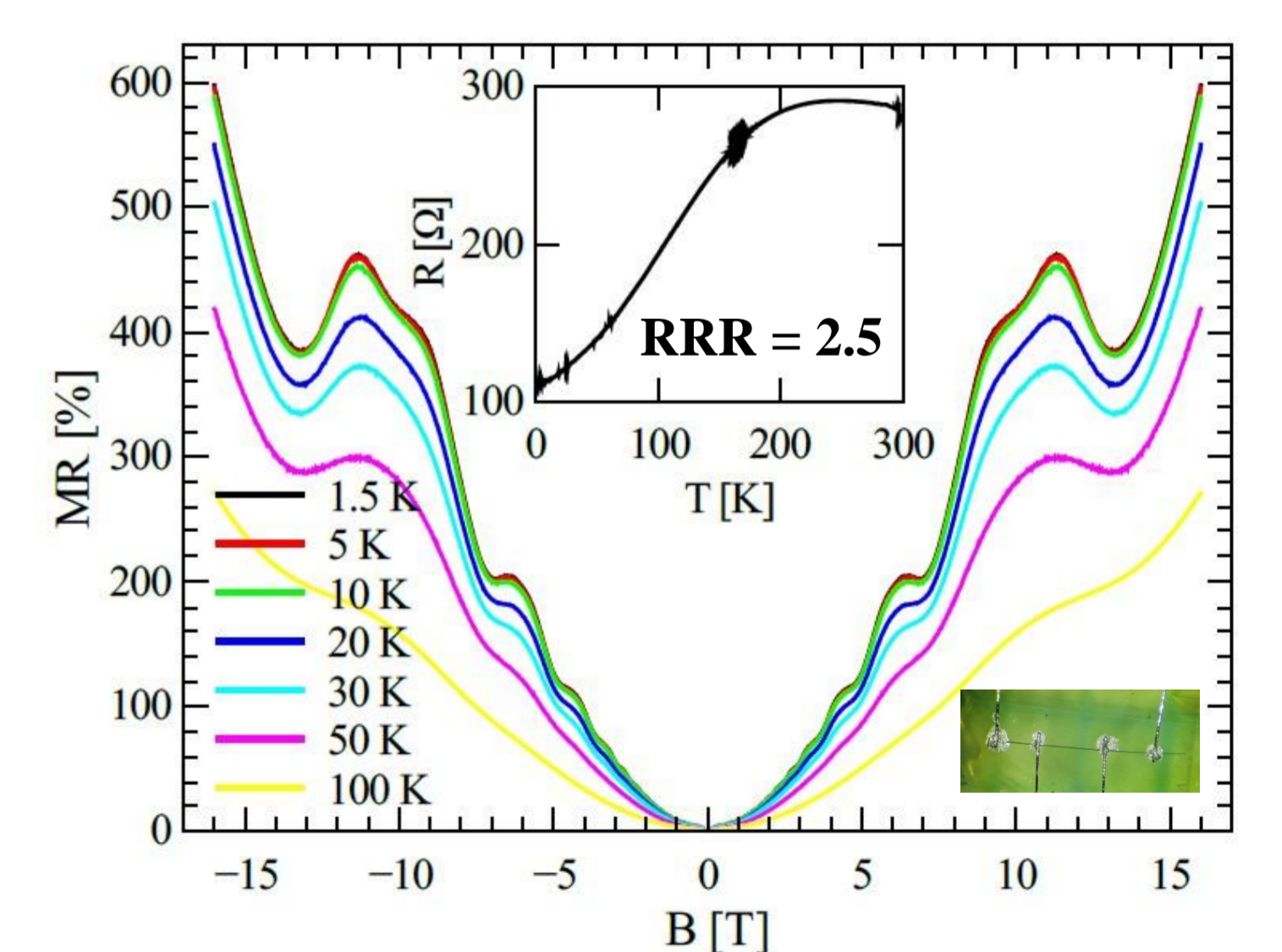
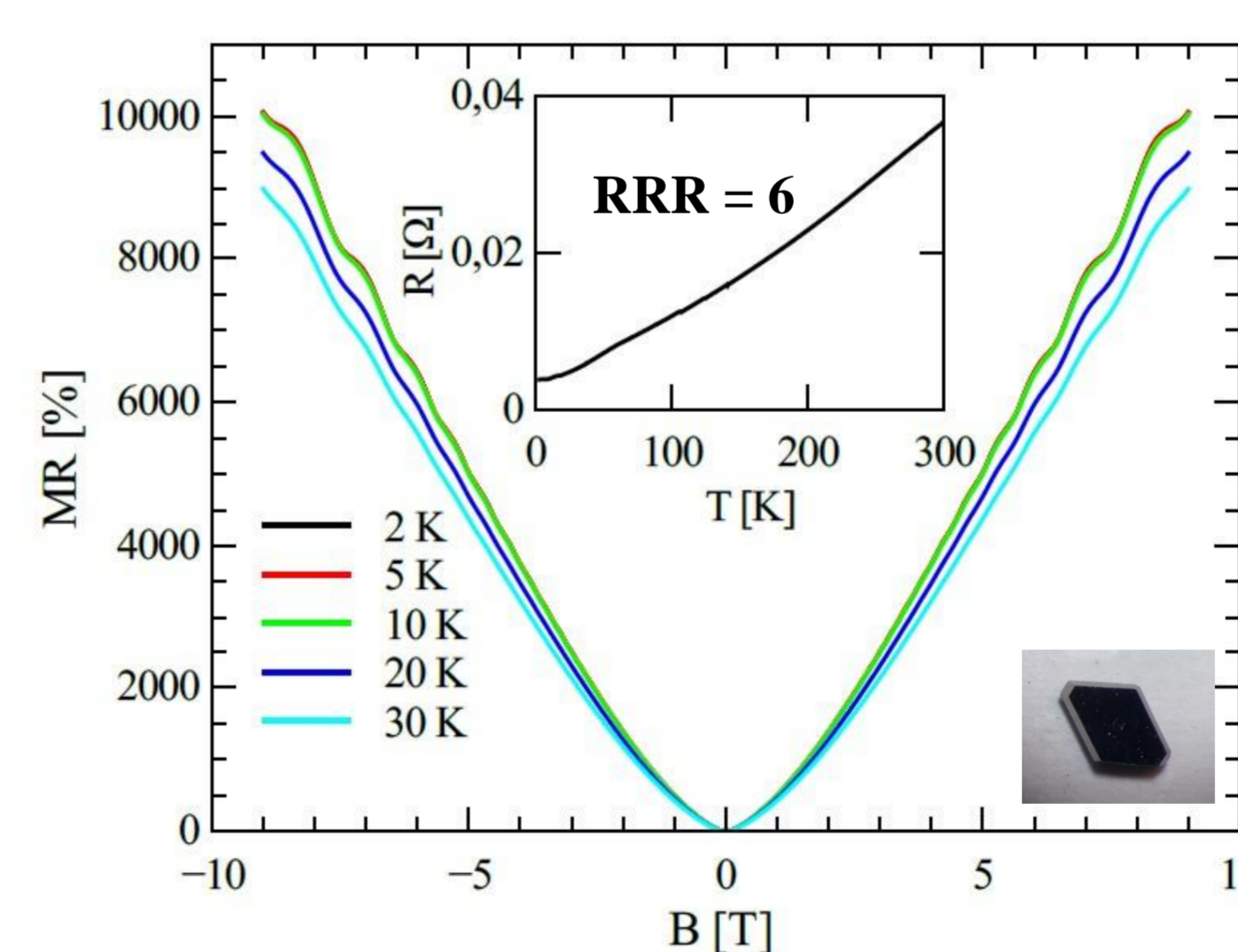
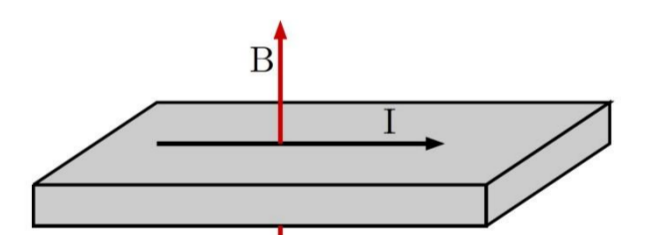
β → Berryeva faza/ 2π . 0.5 za Diracove elektrone, 0 za Schrödingerove elektrone.

Zaključak

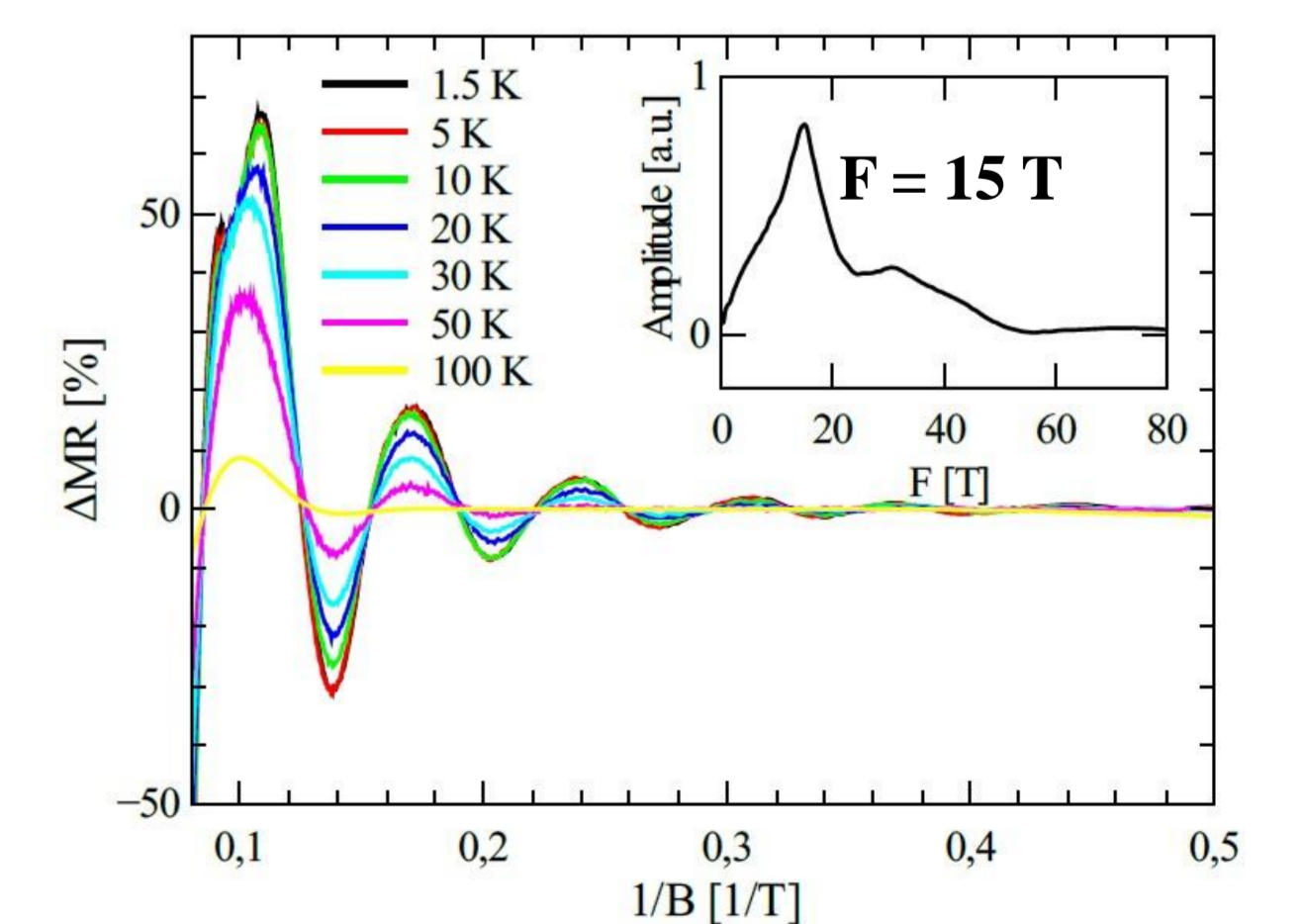
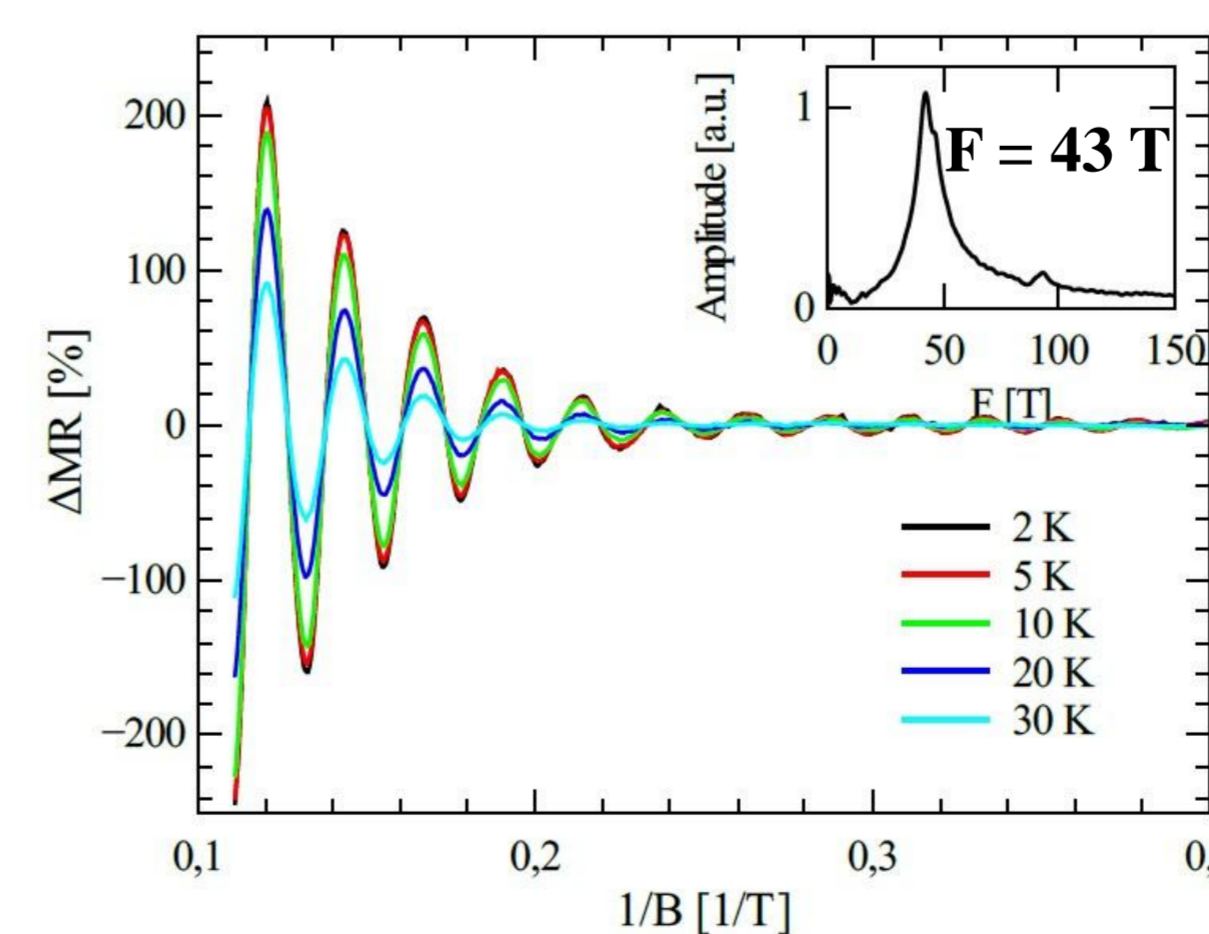
- CVD metodom sinteze u modificiranoj dvozonskoj peći izbjegnuto je nabijanje materijala u hladniji kraj ampule.
- Različiti oblici monokristala Cd_3As_2 posjeduju drugačija transportna svojstva: manji RRR kod štapičastih uzoraka s tendencijom poluvodičkog ponašanja na visokim temperaturama, znatno manji magnetootpor kod štapičastih uzoraka, niža frekvencija u kvantnim oscilacijama → manja gustoća nosioca.
- Štapičasti uzorci imaju manju efektivnu ciklotronsku masu i niži Fermijev nivo → E_F je bliže Diracovoj točki.
- Mogućnost pomicanja položaja E_F kontroliranom sintezom uzoraka.

Transportna mjerenja

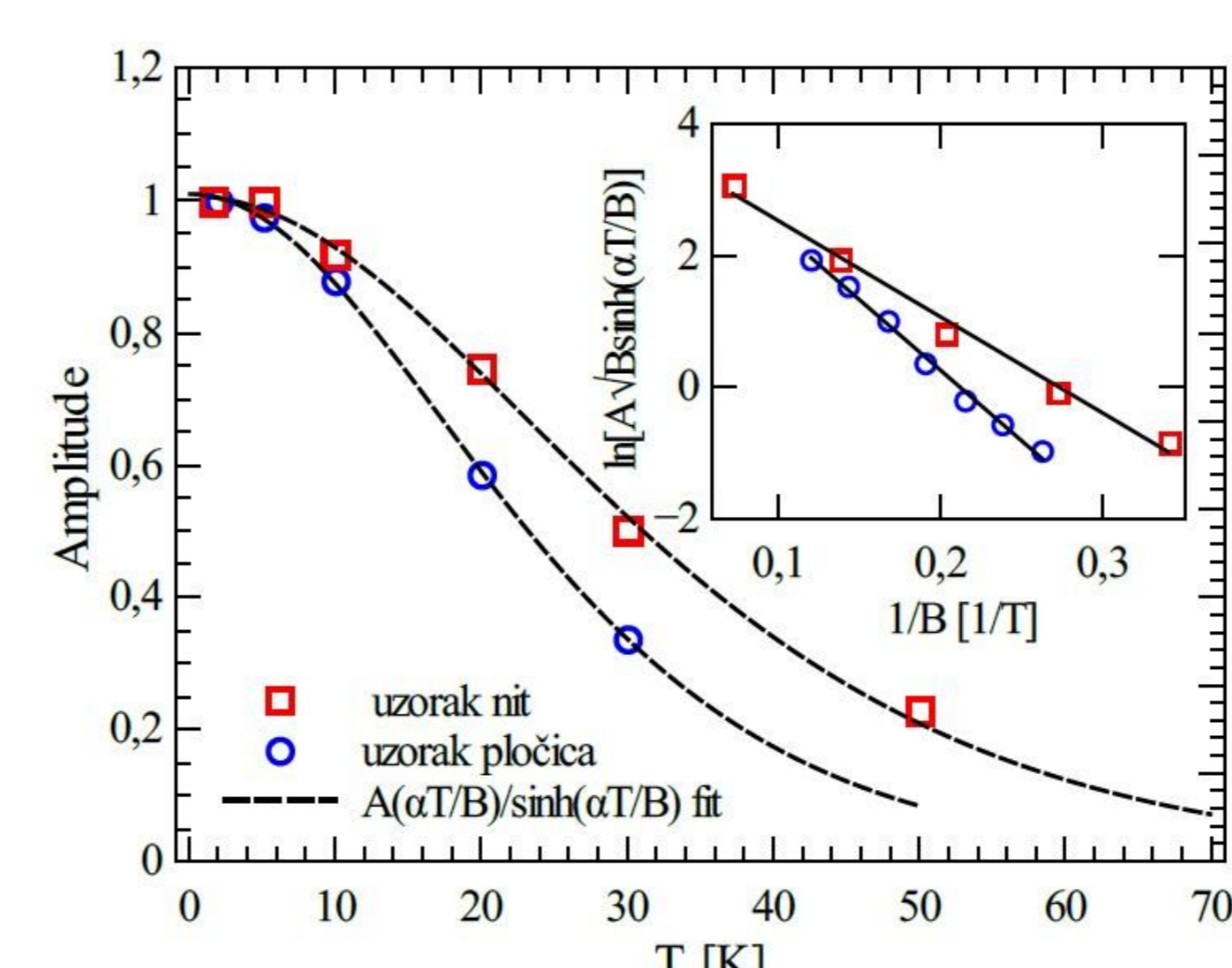
- Mjerena je **temperaturna ovisnost otpora** od 300 - 2 K i **magnetootpor** u B -polju do 9 i 16 T za različite uzorke.



Magnetootpor i temperaturna ovisnost otpora za dva različita oblika monokristala Cd_3As_2 .



Oscilatorni dio magnetootpora i pripadni FFT za dva različita uzorka.



Određivanje m_c^* i T_D iz ovisnosti amplitude oscilacija o temperaturi i $1/B$.

$m_c^* = 0.045 m_e$	$m_c^* = 0.028 m_e$
$T_D = 32.6 \text{ K}$	$T_D = 35.7 \text{ K}$
$\tau_Q = 2.34 \cdot 10^{-13} \text{ s}$	$\tau_Q = 2.14 \cdot 10^{-13} \text{ s}$
$\mu = \frac{e\tau_Q}{m_c^*} = 9.14 \cdot 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$\mu = 1.34 \cdot 10^4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
$k_F = 0.036 \text{ \AA}^{-1}$	$k_F = 0.021 \text{ \AA}^{-1}$
$v_F = \frac{\hbar k_F}{m_c^*} = 9.29 \cdot 10^5 \text{ m/s}$	$v_F = 8.83 \cdot 10^5 \text{ m/s}$
$n = \frac{k_F^3}{3\pi^2} = 1.59 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$n = 3.28 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$
$E_F = m_c^* v_F^2 = 221 \text{ meV}$	$E_F = 124 \text{ meV}$



Zahvala

Ovaj rad je u potpunosti financiran od Hrvatske zaklade za znanost pod projektom 6216.