

Kontrola ruchu ścian domenowych w warstwach Co/Au poprzez zaindukowane bombardowaniem jonami He⁺ liniowe gradienty pola koercji

Maciej Urbaniak

Piotr Kuświk

Bogdan Szymański

Marek Schmidt

Jacek Aleksiejew

Feliks Stobiecki

Daniel Lengemann

Dieter Engel

Arno Ehresmann

Zbigniew Kurant

Maria Tekielak

Andrzej Maziewski

2011.01.13

IFM PAN Poznań

If you think that the material presented here may infringe the copyrights of you or others please contact me and I will remove the content in question.

Maciej Urbaniak

Piotr Kuświk

Bogdan Szymański

Marek Schmidt

Jacek Aleksiejew

Feliks Stobiecki

Daniel Lengemann

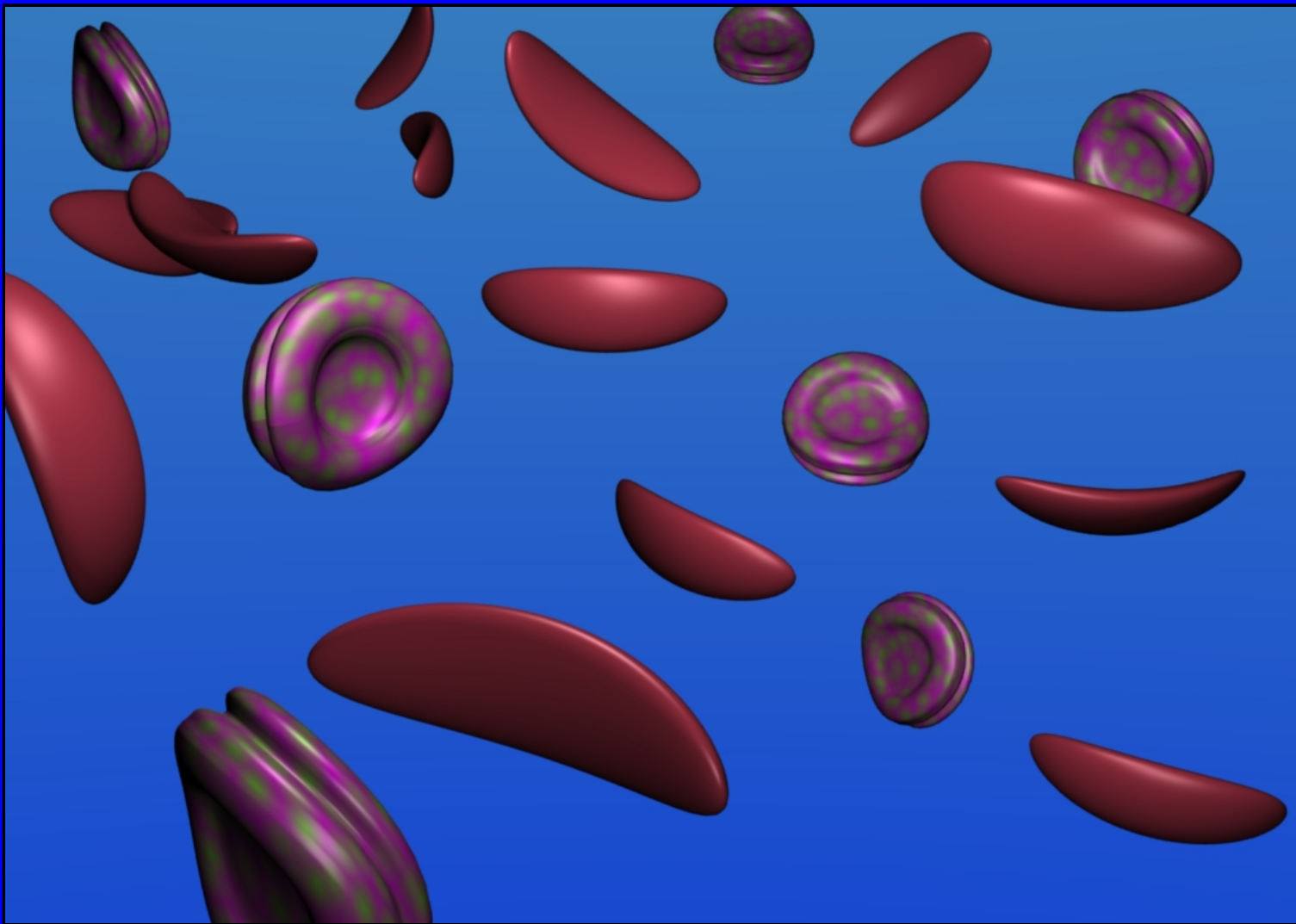
Dieter Engel

Arno Ehresmann

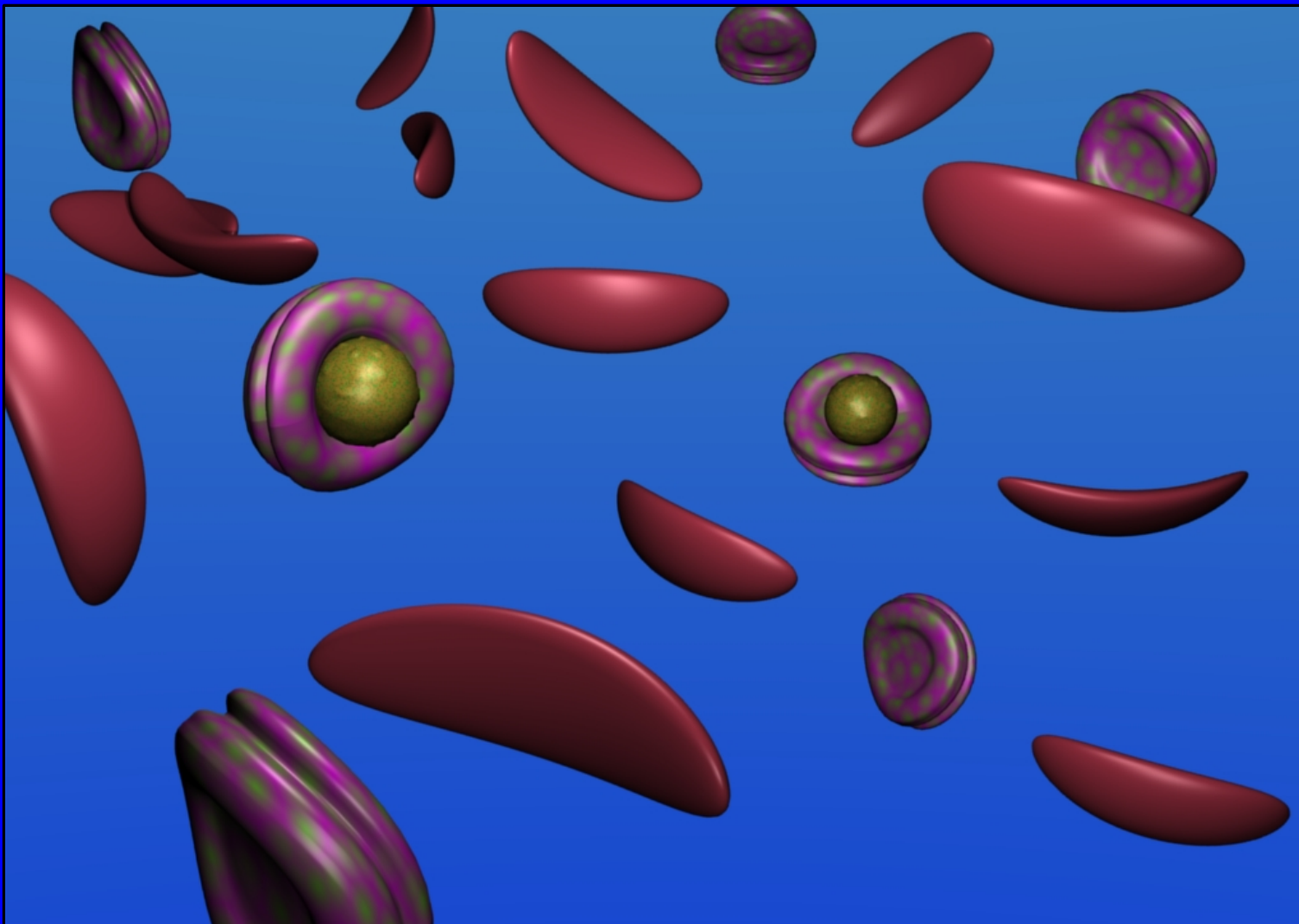
Zbigniew Kurant

Maria Tekielak

Andrzej Maziewski



- W wielu sytuacjach istnieje potrzeba odseparowania od siebie dwóch, lub więcej, rodzajów komórek.
- Jedną z powszechnie stosowanych metod jest **magnetoforeza**, czyli ruchu cząsteczek magnetycznych pod wpływem pola magnetycznego.



- Cząsteczki/komórki w układach biologicznych posiadają zwykle mały moment magnetyczny.
- By możliwa była magnetoforeza cząsteczki/komórki łączy się z odpowiednio przygotowanymi cząsteczkami magnetycznymi (**paramagnetycznymi**).

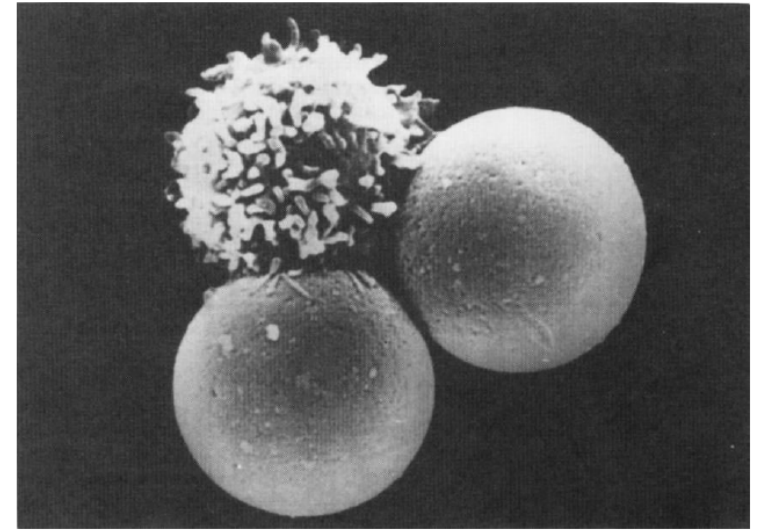
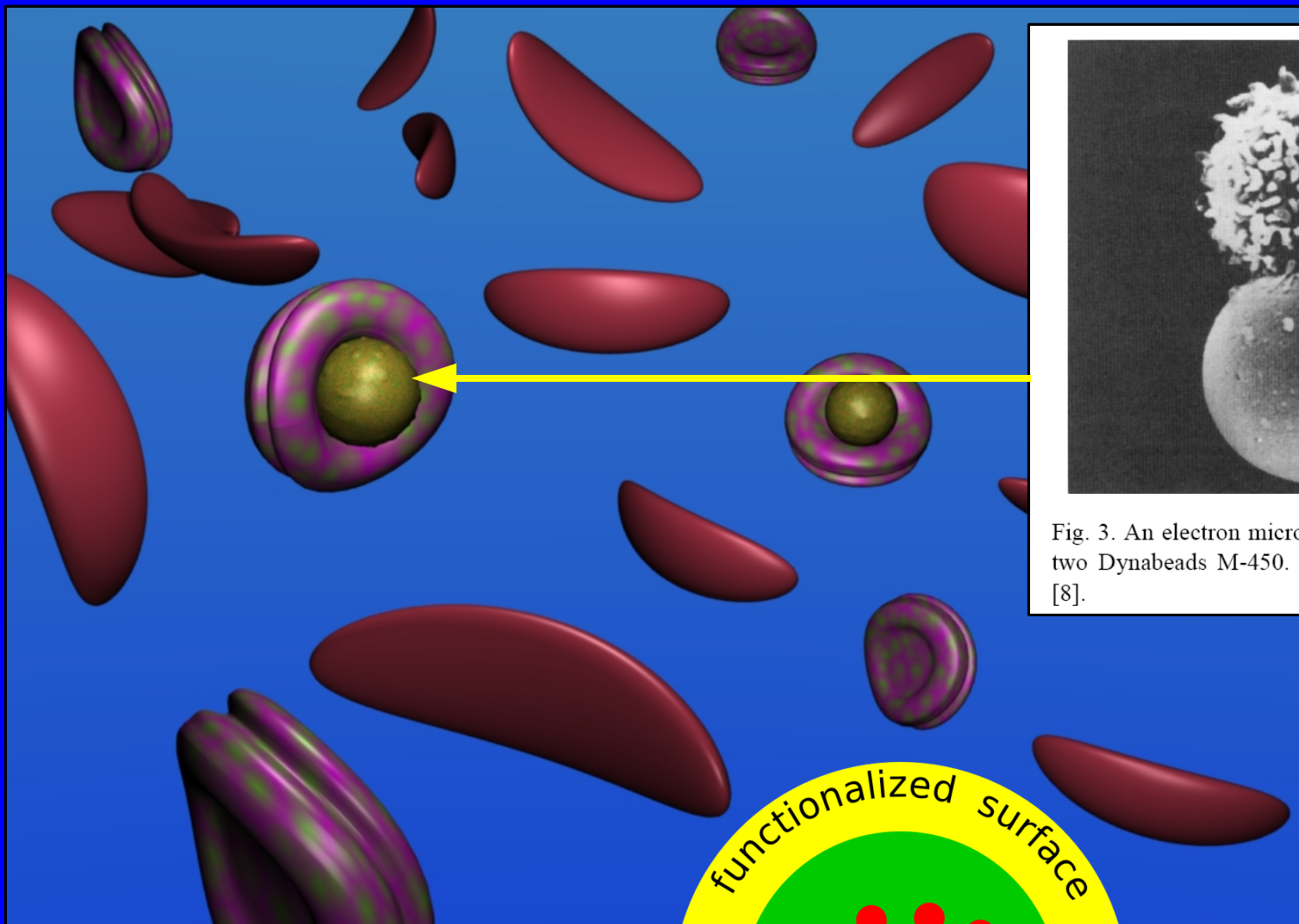
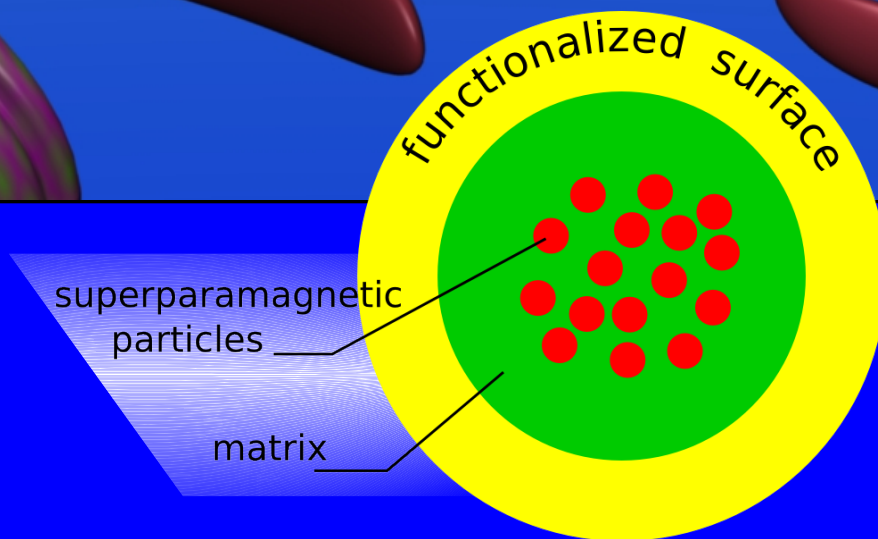
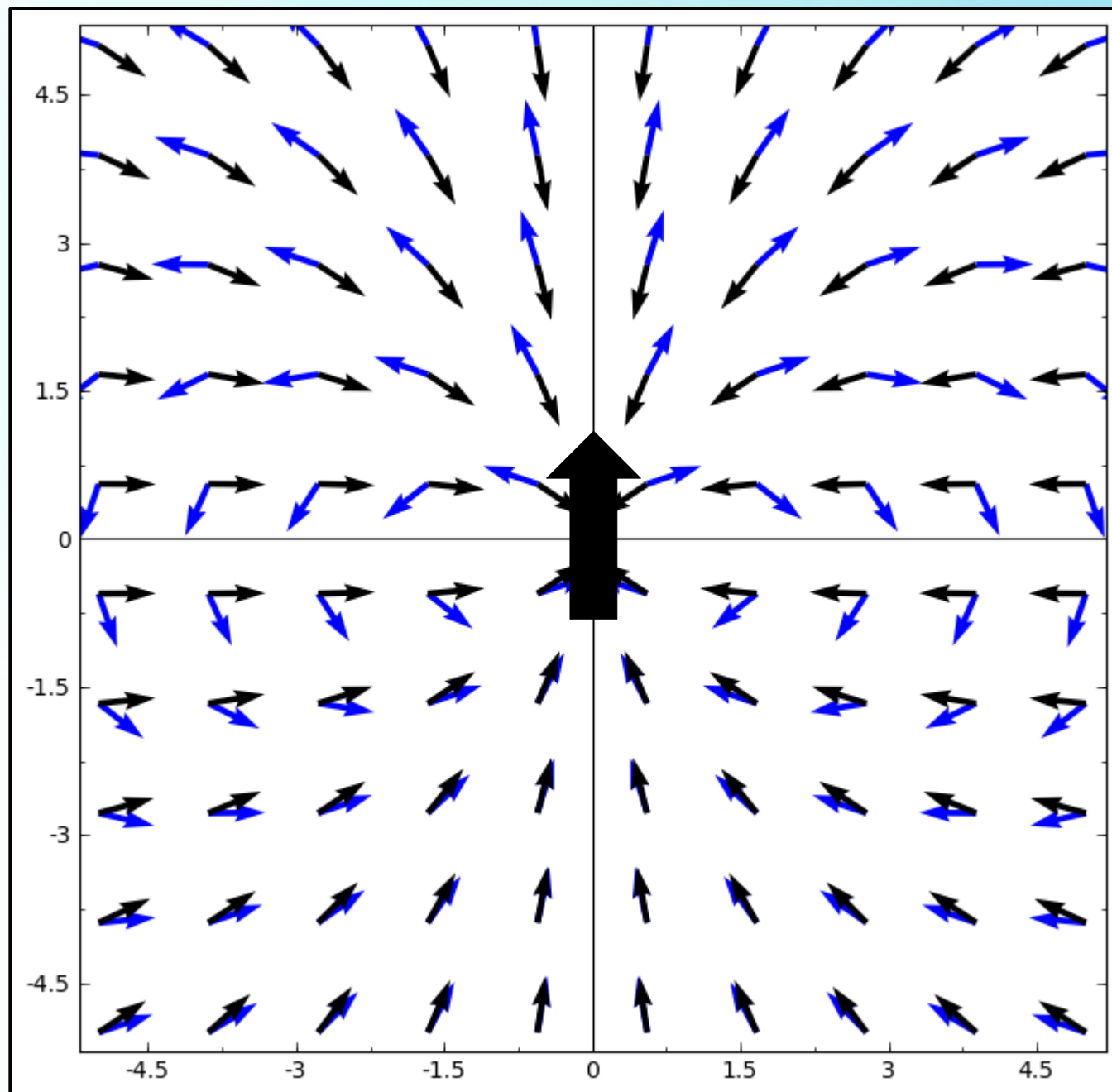



Fig. 3. An electron micrograph showing a T-lymphocyte bound to two Dynabeads M-450. Reproduced, with permission, from Ref. [8].



Forces in magnetic field – force field of a dipole on a paramagnet



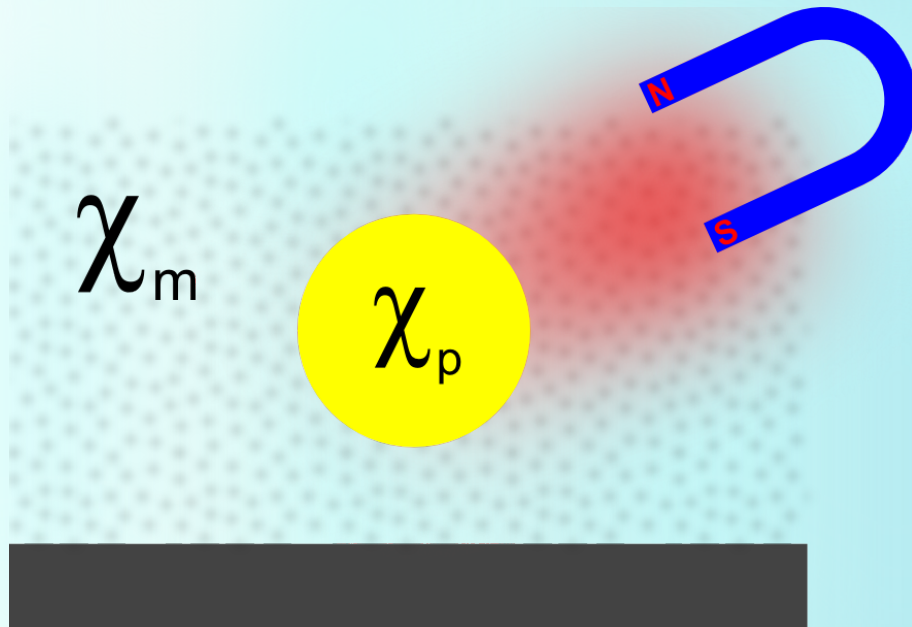
 induction B

 force

**Force
everywhere
attractive !**

Arrows show the directions
of the fields
(not the magnitude!)

Forces in magnetic field – force in medium with $\chi_{fluid} \neq 0$



- Because of biocompatibility most magnetophoresis experiments are performed in water or aqueous solutions
- The magnetic susceptibility of water is small ($\chi = -9.035 \times 10^{-6}$) compared to susceptibility of typical magnetic bead ($\chi_p \sim 0.1$)
- D-glucose: $\chi = -10.92 \times 10^{-6}$

$$\vec{F} = \frac{1}{2\mu_0} (\chi_p - \chi_m) V \nabla (B^2) \approx \frac{1}{2\mu_0} \chi_p V \nabla (B^2)$$

χ_p, χ_m susceptibilities of particle and medium (e.g. water)

Szczypce magnetyczne



Gradienty pola magnetycznego uzyskuje się za pomocą:

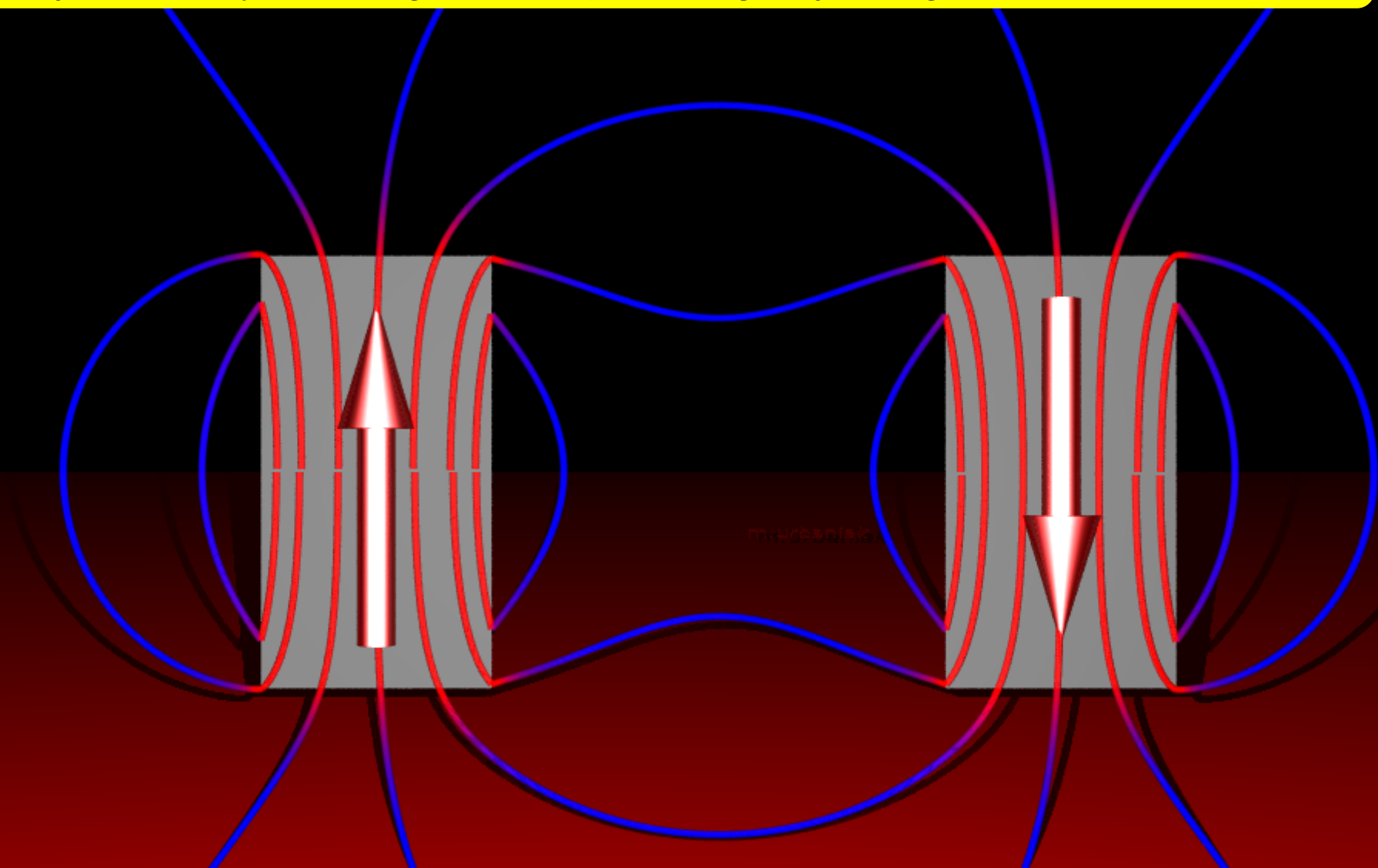
- magnesów trwałych
- elektromagnesów
- struktury domenowej

W praktyce kalibruje się siły działające na cząstki magnetyczne na podstawie mikroskopowej obserwacji prędkości cząstek w płynie o znanej lepkości oraz prawa Stokes'a.

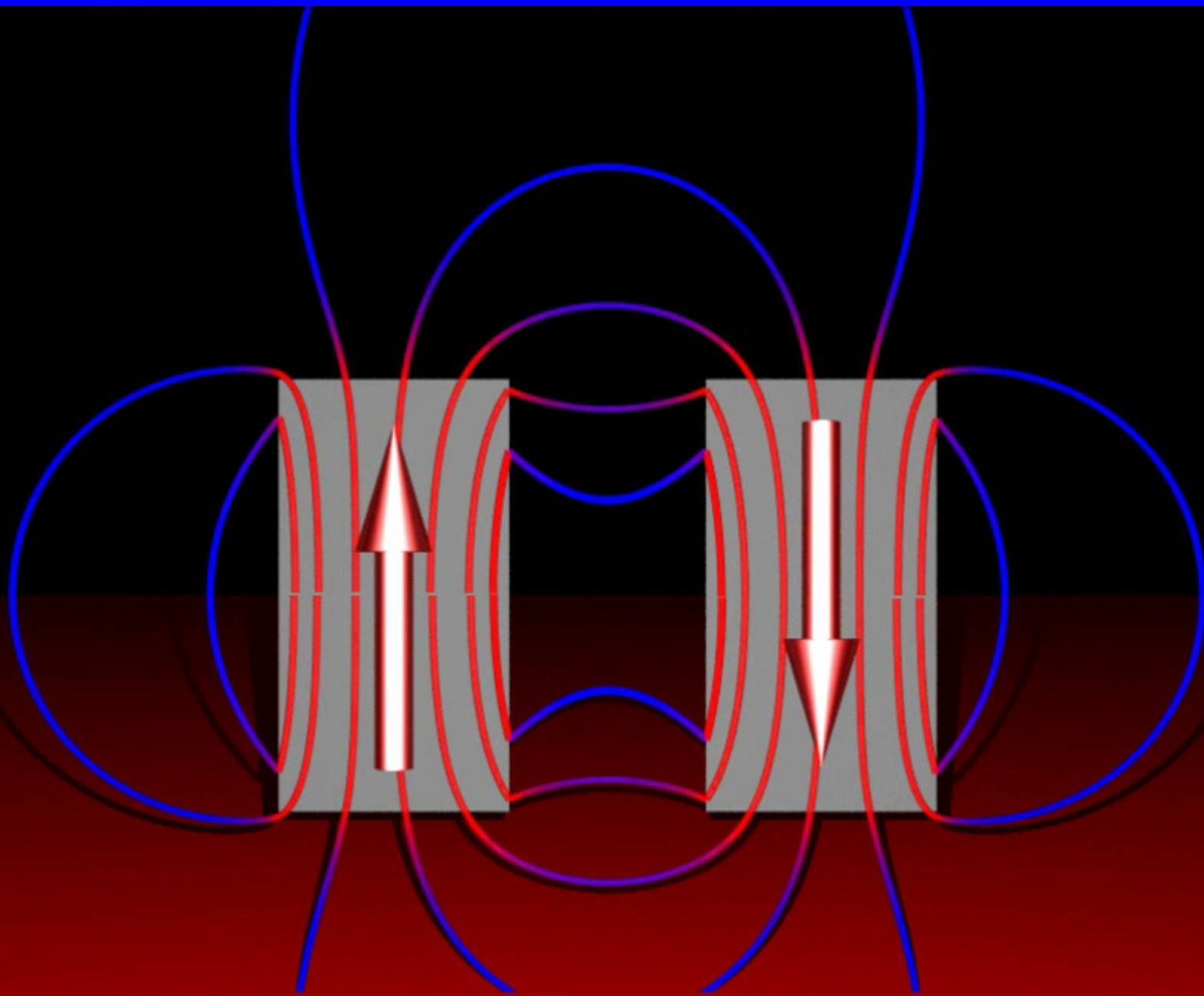
$$F_{na\ kulę} = 6\pi\eta r v_0$$

- dla przepływu laminarnego; v_0 - free-stream speed

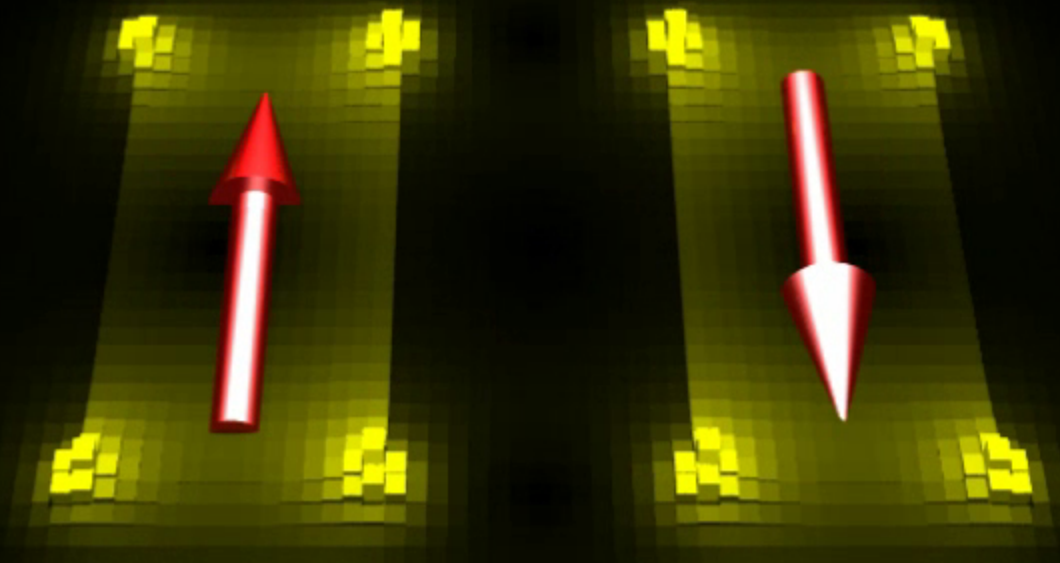
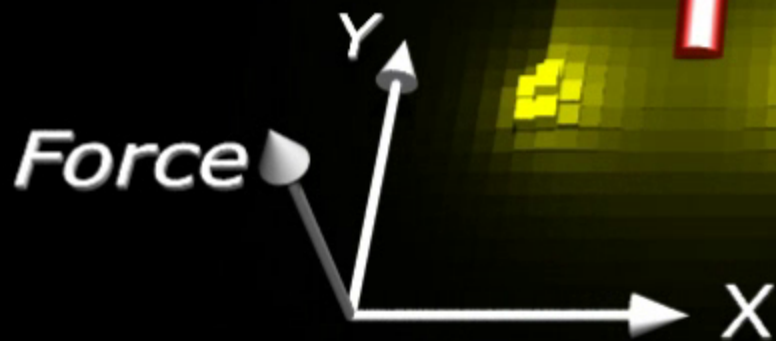
Zmniejszenie rozmiarów magnesów lub stosowanie konfiguracji kilku magnesów pozwala uzyskać zwiększenie gradientu pola magnetycznego



Lines of induction
two infinite, hard magnets



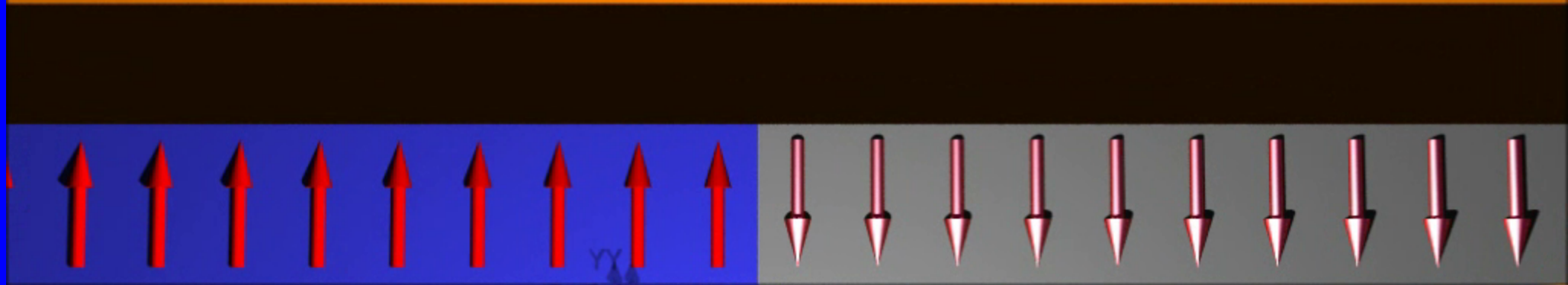
Lines of induction
two infinite, hard magnets



*Force acting on a paramagnet
two infinite, hard magnets*

color: $(F-f_{min})/(f_{max}-f_{min})$

$$H=0 \text{ A/m}$$



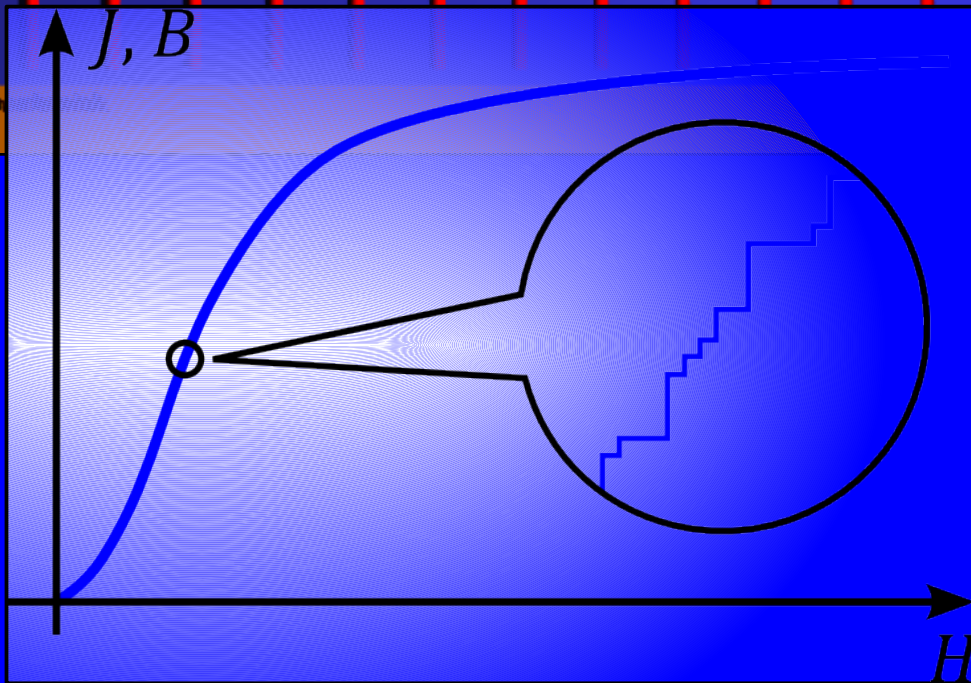
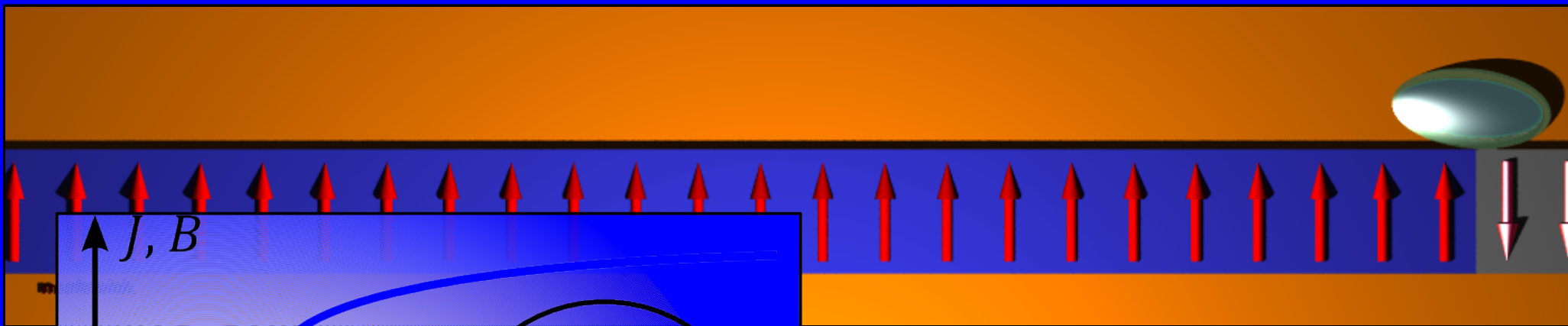
Domains are infinite along Z-axis



Domains are infinite along Z-axis

Ruch ścian domenowych

Ściany domenowe są źródłem pól magnetycznych, które przyciągają cząsteczki magnetyczne



- przypadkowo rozmieszczone **defekty** obecne w materiale magnetycznym powodują, że ruch ścian domenowych jest skokowy co utrudnia lub uniemożliwia manipulację cząsteczkami magnetycznymi (**skoki Barkhausena**)

Ruch ścian domenowych-kontrolowane wprowadzanie defektów

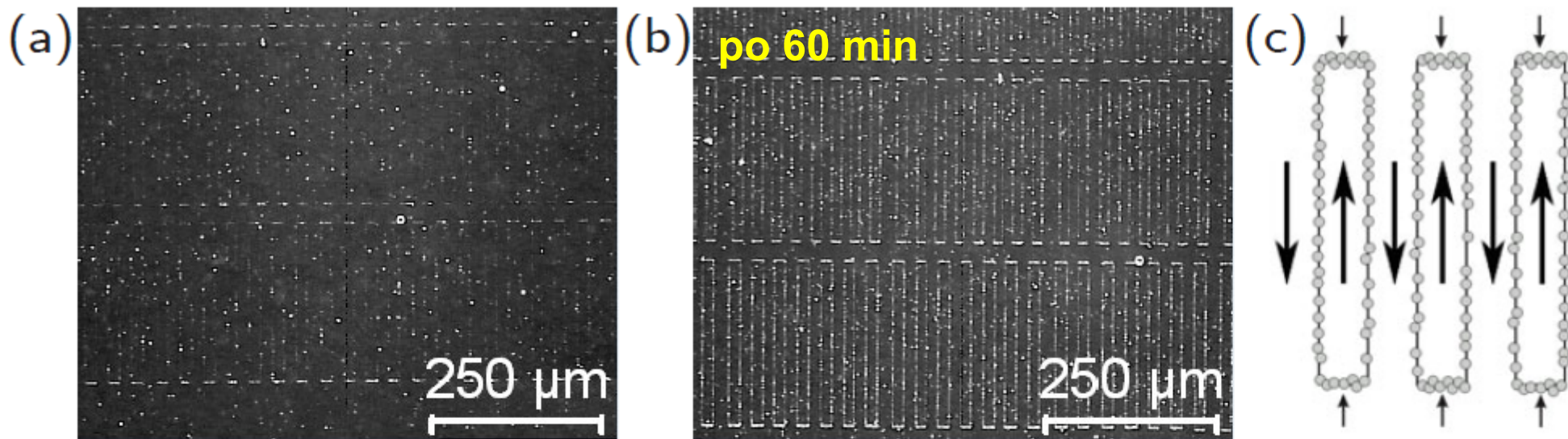


Abb. 5.15: Lichtmikroskopische Aufnahmen von Proben mit magnetischen abgeschlossenen Rechtecken (obere Reihe: $15\ \mu\text{m}$ Breite, $200\ \mu\text{m}$ Länge) nach Aufbringen der **250 nm-Partikel** mit der Volumenmethode in Lösung in 100-facher Vergrößerung nach 15 min (a) und nach 60 min (b). Schematische Darstellung der Anlagerung der Partikel an den Domänengrenzen (c). Die Pfeile geben die alternierenden Magnetisierungsrichtungen in den Streifen wieder.

Cząsteczki magnetyczne gromadzą się na ścianach domenowych

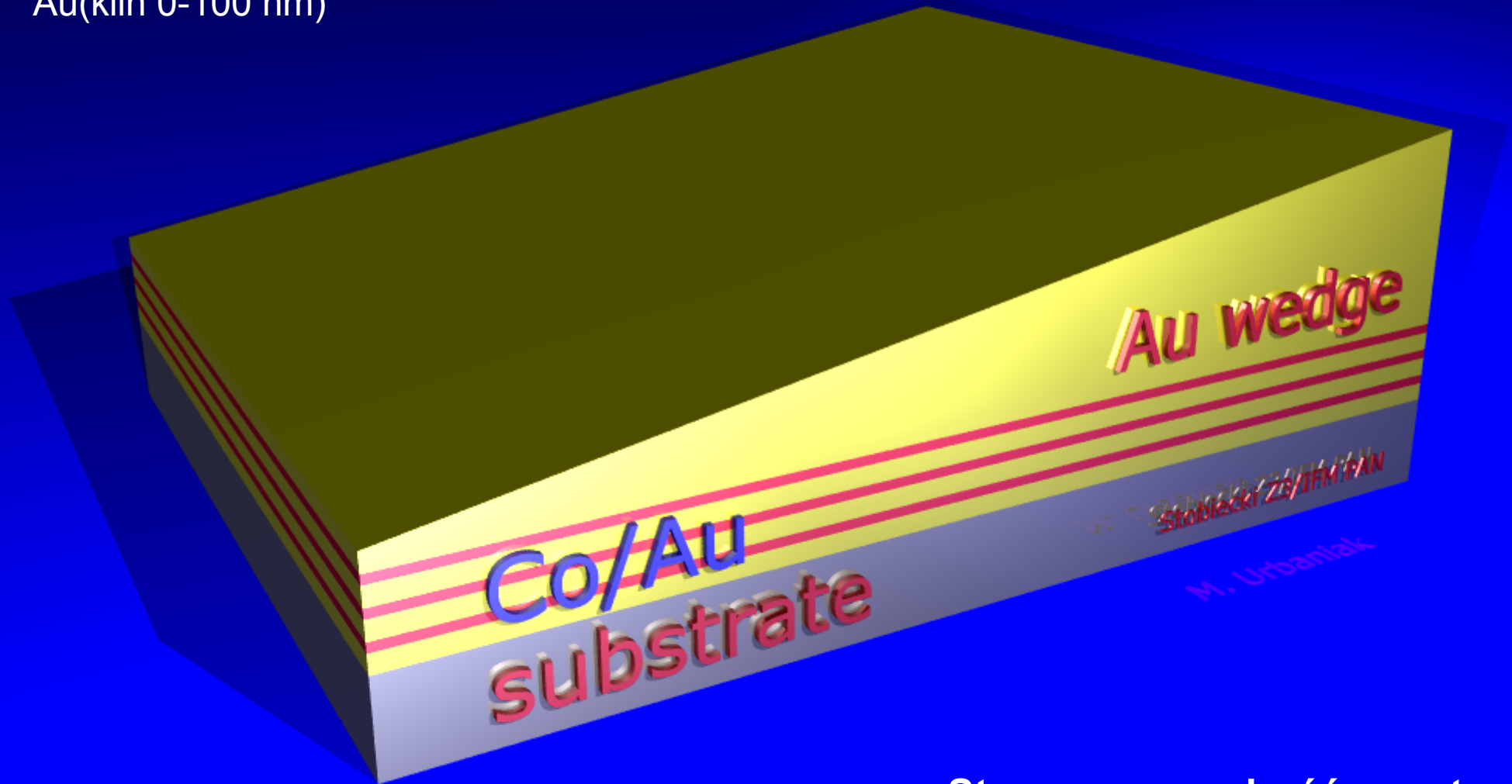
Do transportu używa się zewnętrznego gradientu pola!

Struktura badanego układu wielowarstwowego

Nanoszenie za pomocą rozpylania katodowego

Si(100)/Ti(4 nm)/Au(60 nm)/[Co(0.6 nm)/Au(2 nm)]₃/

Au(klin 0-100 nm)



Stosowana grubość warstw Co zapewnia ich prostopadłą anizotropię magnetyczną

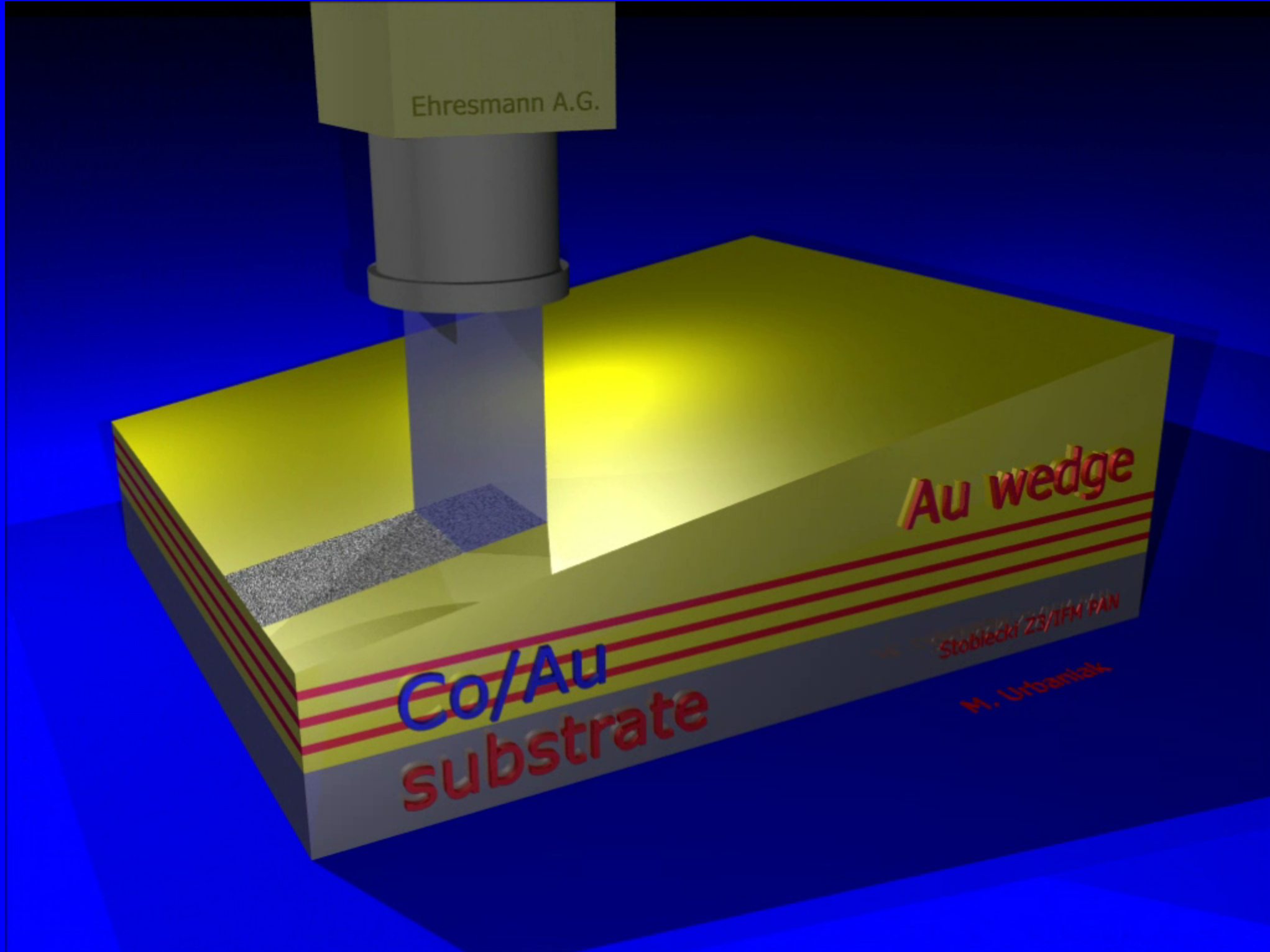
Ehresmann A.G.

Au wedge

Co/Au
substrate

Stobleczi Z3/TFM PAN

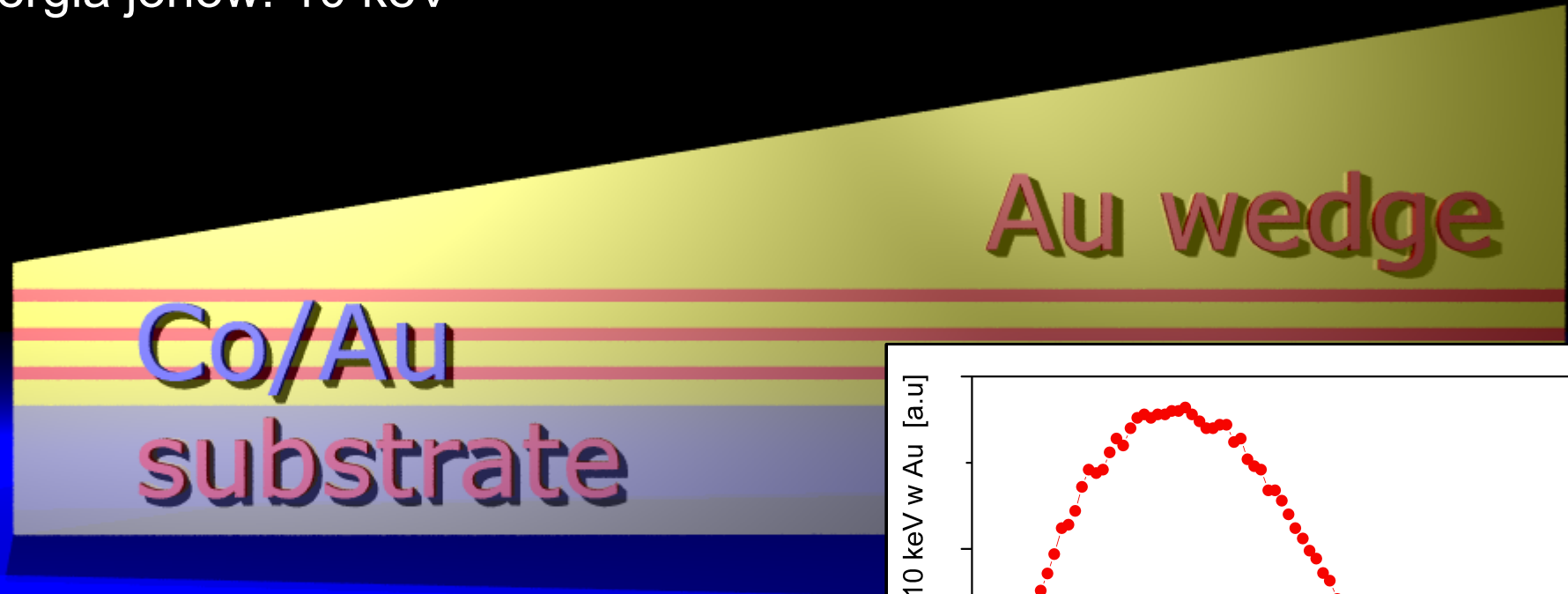
M. Urbaniak



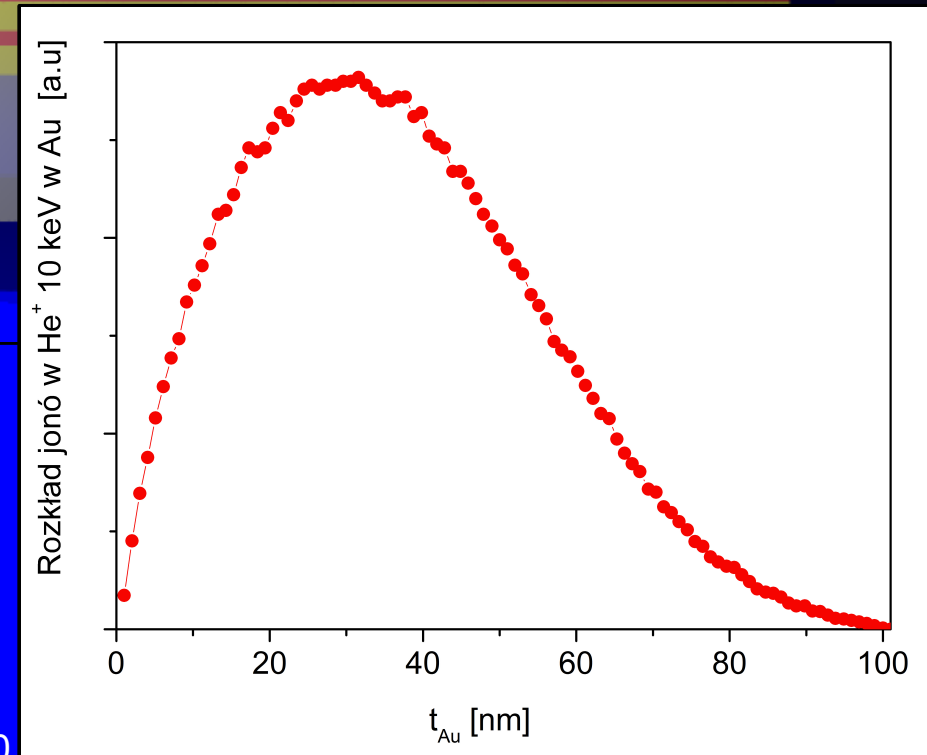
Bombardowanie jonami He⁺

klin Au: 0 -100 nm

energia jonów: 10 keV



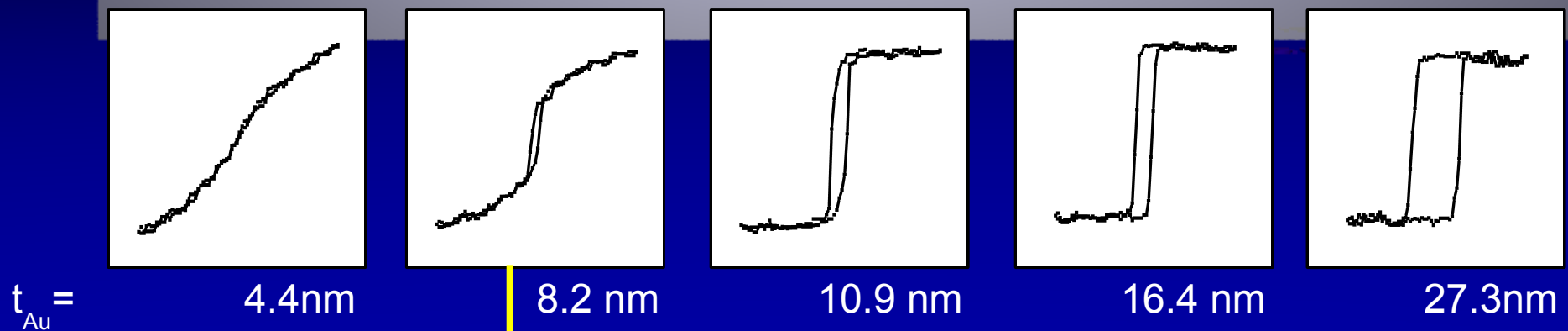
- 100 nm warstwa Au całkowicie chroni warstwę wielokrotną Co/Au od wpływu jonów He⁺



Bombardowanie jonami He⁺- zmiana pola koercji

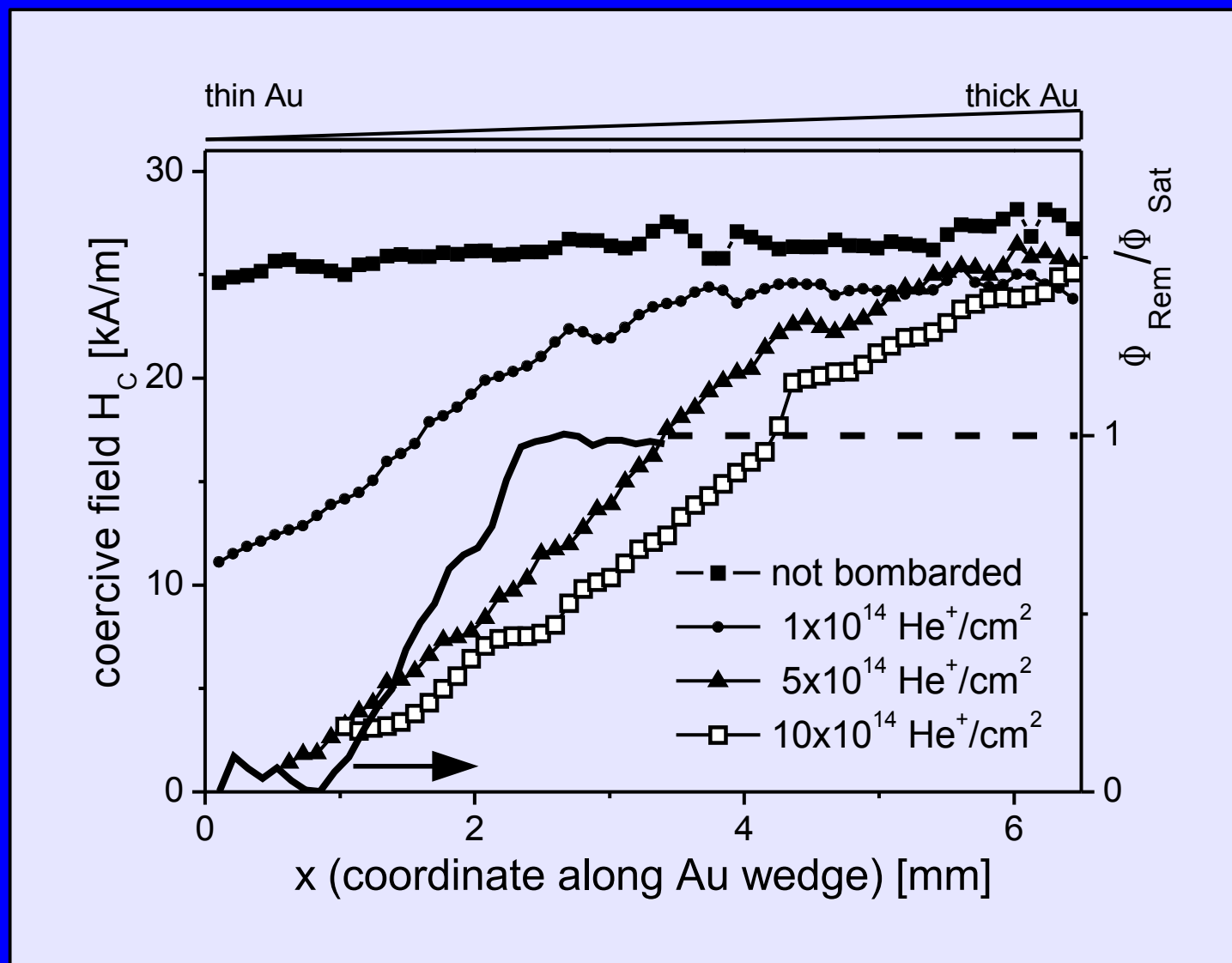
pomiar pętli histerezy warstw Co/Au za pomocą
magnetoptycznego efektu
Kerra

Au wedge
Co/Au



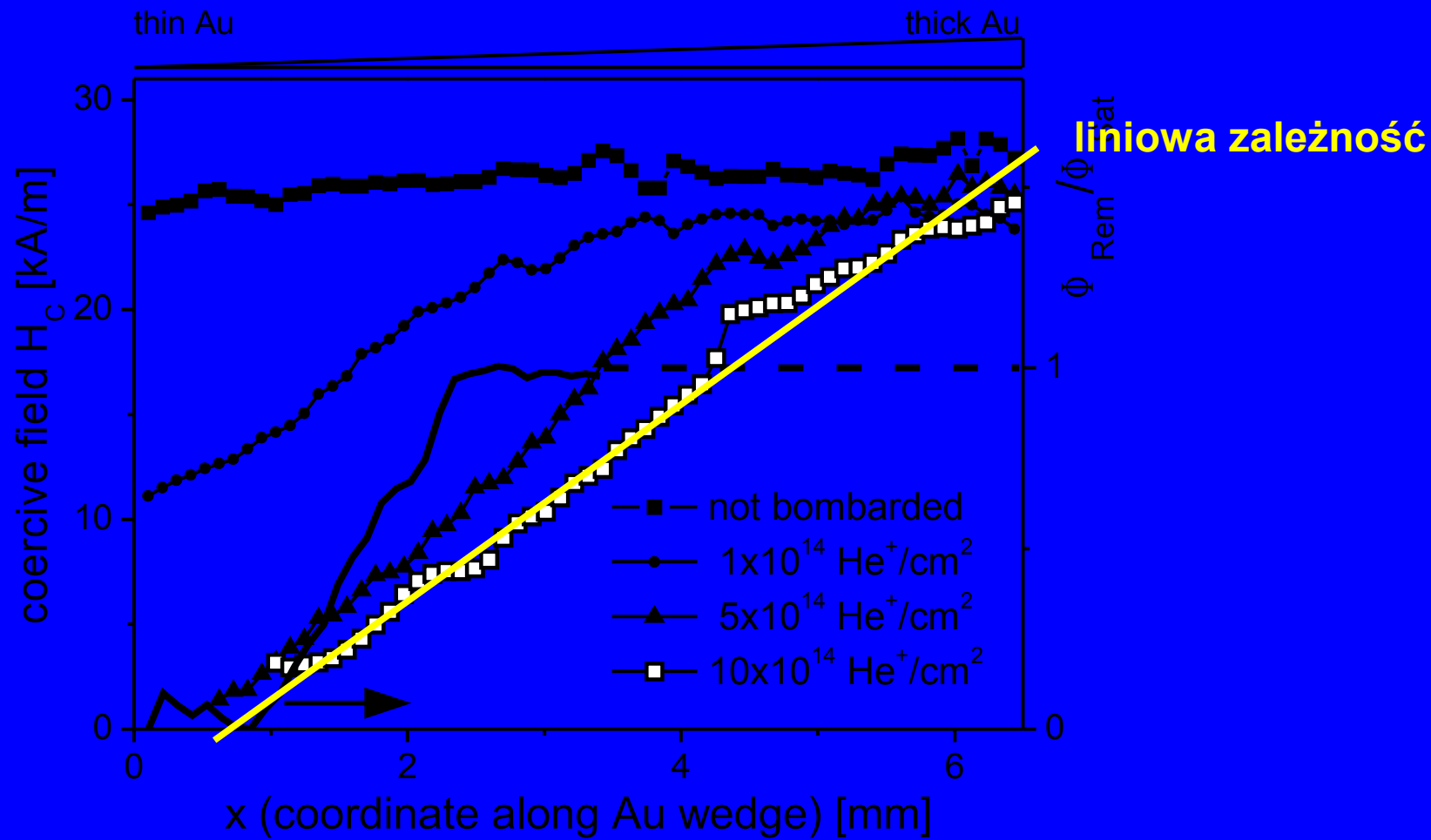
Zanik anizotropii prostopadłej pod wpływem bombardowania

Zmiana pola koercji pod wpływem bombardowania



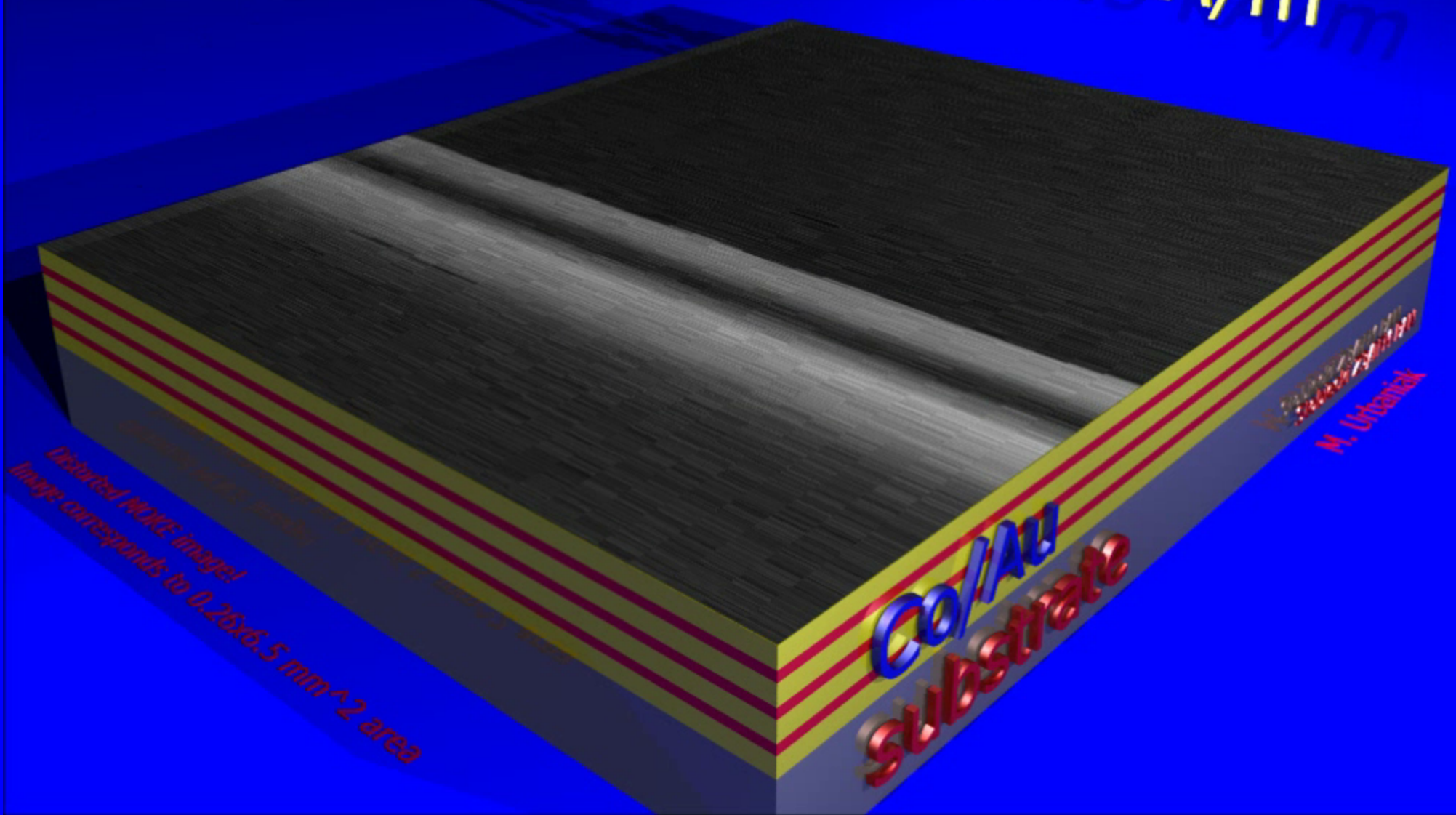
- w obszarach nie poddanych bombardowaniu H nie zależy od położenia
- dla dużych dawek i małych grubości warstwy ochronnej Au anizotropia warstw Co ulega zmianie na anizotropię typu łatwa płaszczyna

Zmiana pola koercji pod wpływem bombardowania





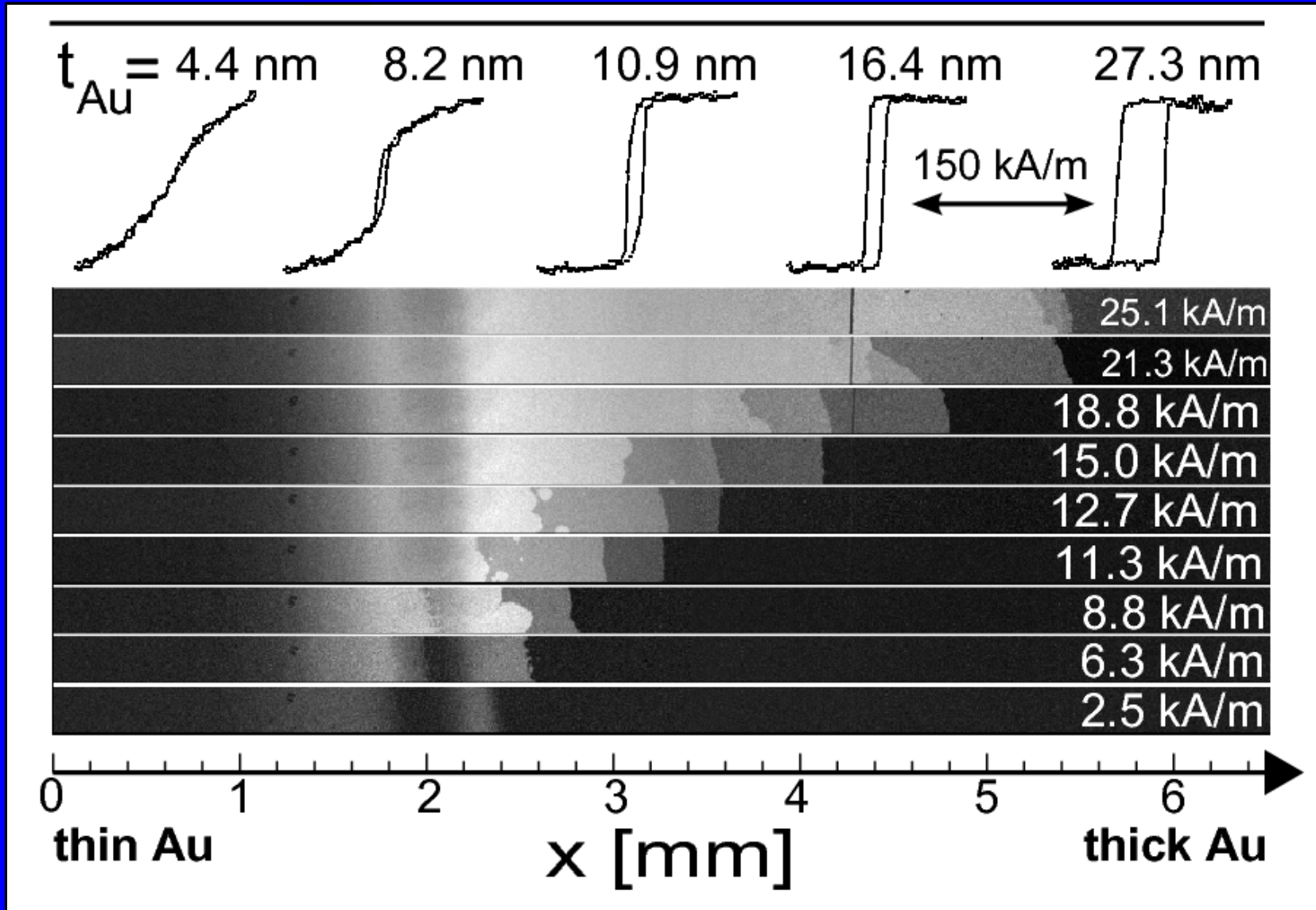
MOKE signal
H=6.3 kA/m



M. Urbanek

Deared MOKE image!
Image corresponds to 0.26x6.5 mm² area

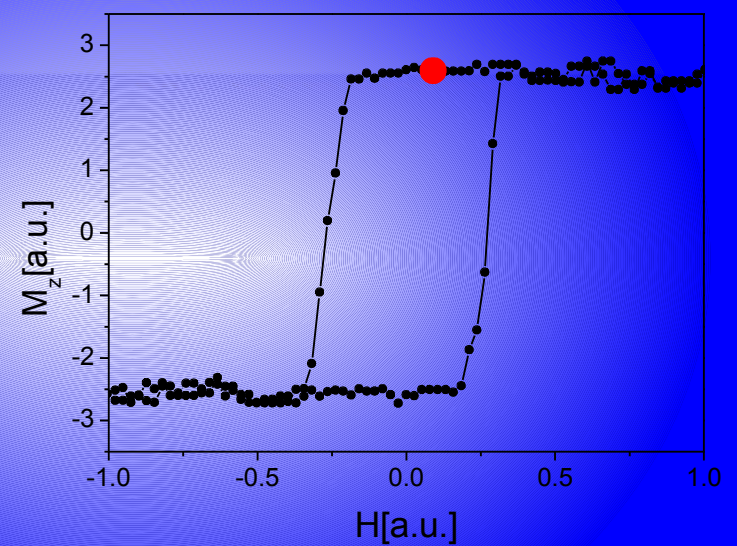
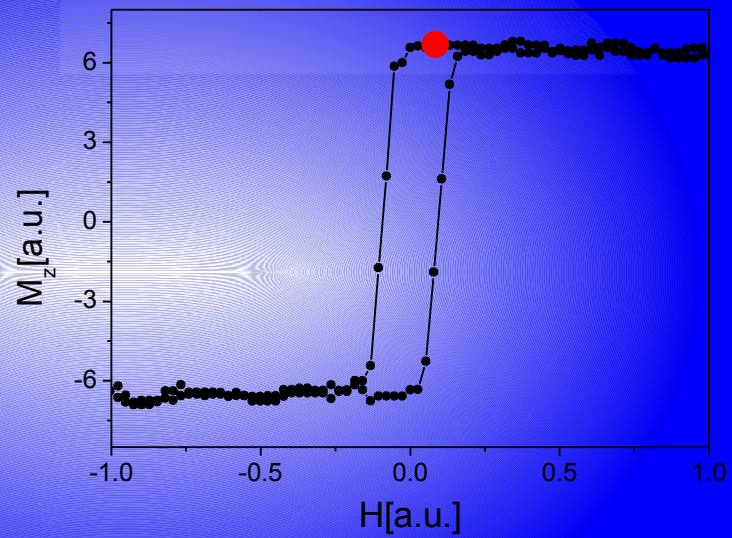
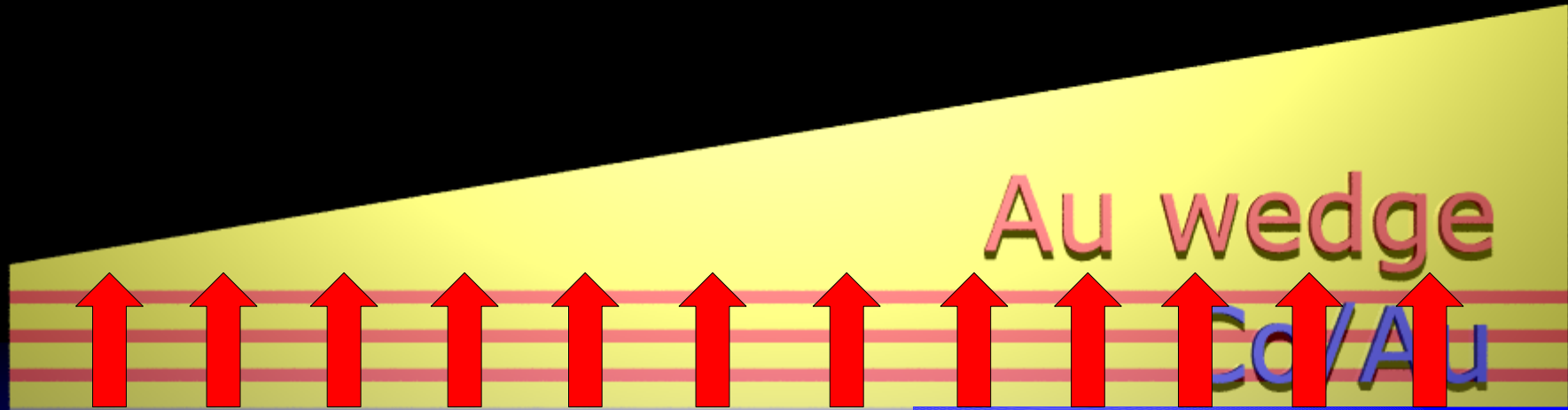
Położenie ścian domenowych w funkcji zewnętrznego pola



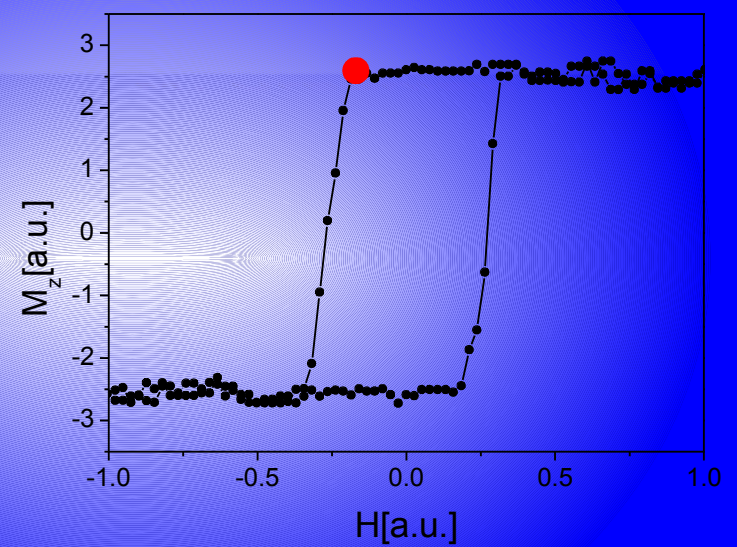
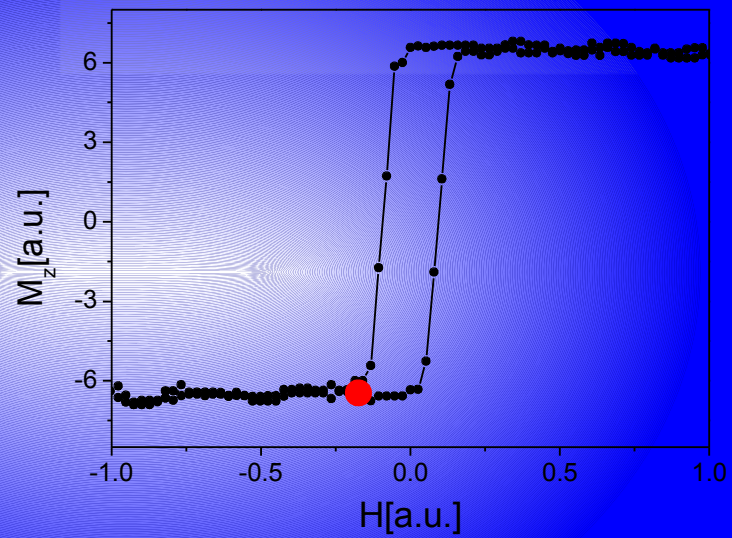
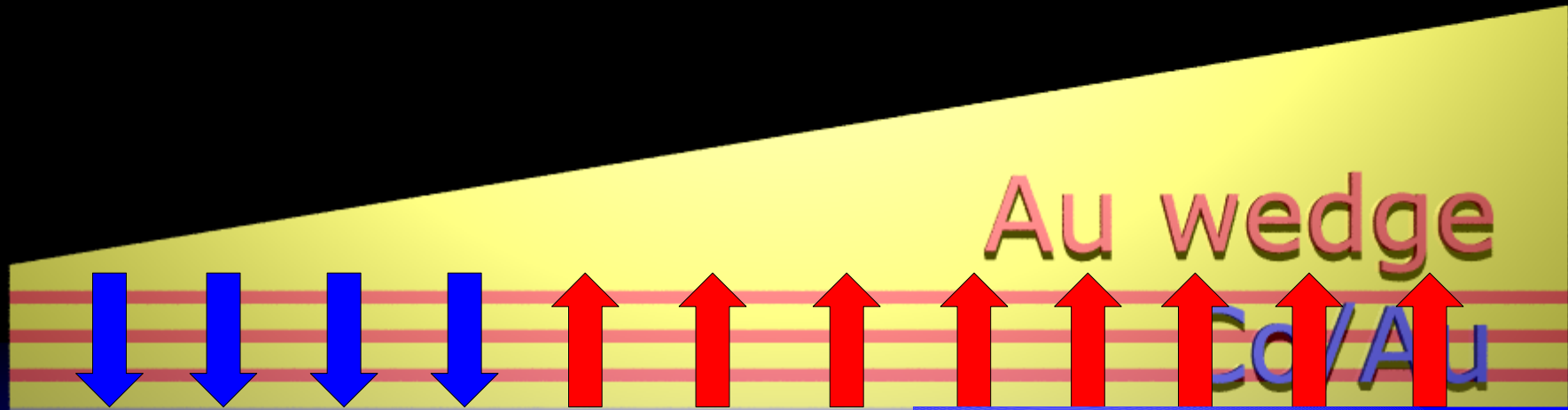
MOKE

Obrazy różnicowe: pomiary MOKE wykonano w remanencji; po przyłożeniu impulsu pola o podanej wartości.

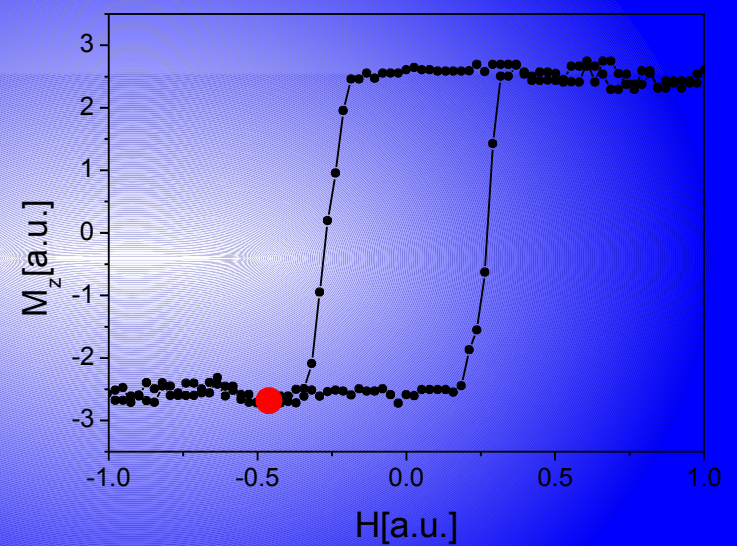
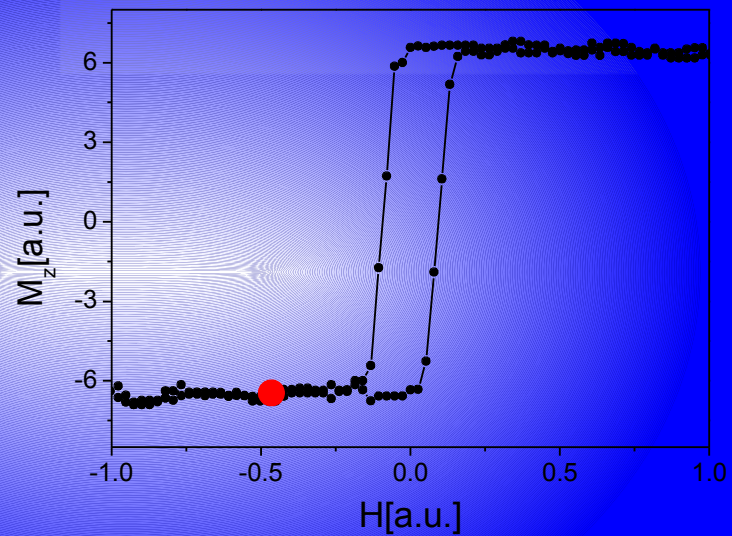
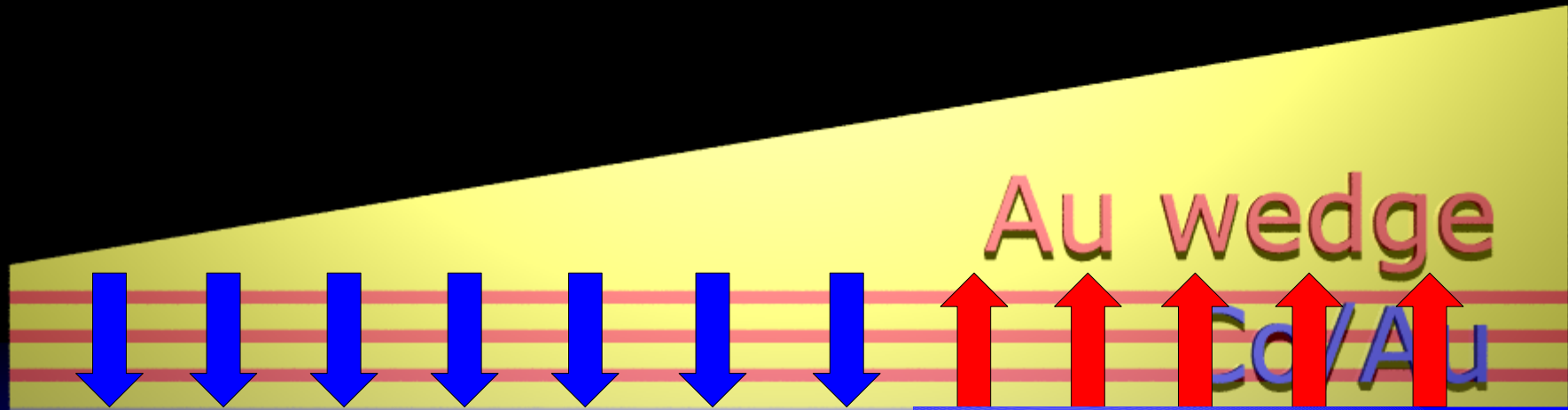
Bombardowanie jonami He⁺- ruch ściany domenowej



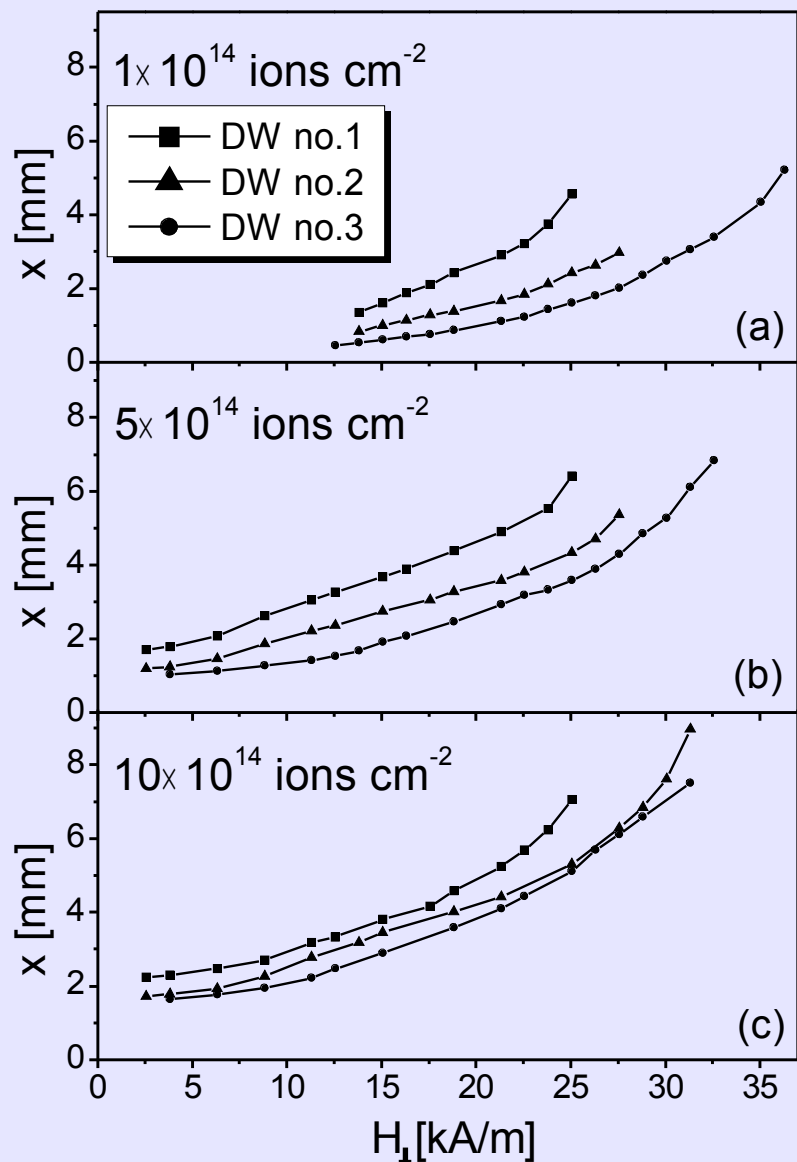
Bombardowanie jonami He⁺- ruch ściany domenowej



Bombardowanie jonami He⁺- ruch ściany domenowej

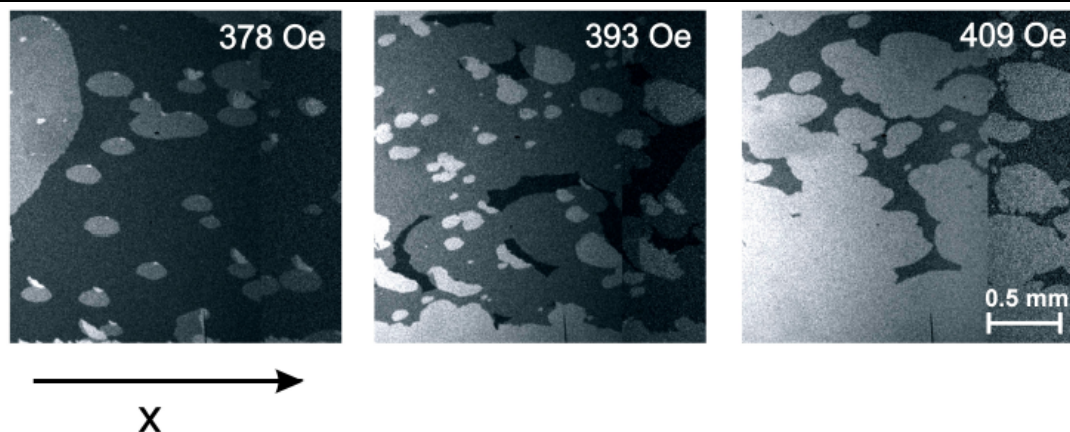


Położenie ścian domenowych w funkcji zewnętrznego pola



- ściany domenowe w poszczególnych warstwach Co poruszają się w przybliżeniu niezależnie
- wraz ze wzrostem dawki położenie ścian domenowych w wszystkich warstwach jest zbliżone
- położenie ścian domenowych jest w przybliżeniu liniową funkcją wartości impulsu pola

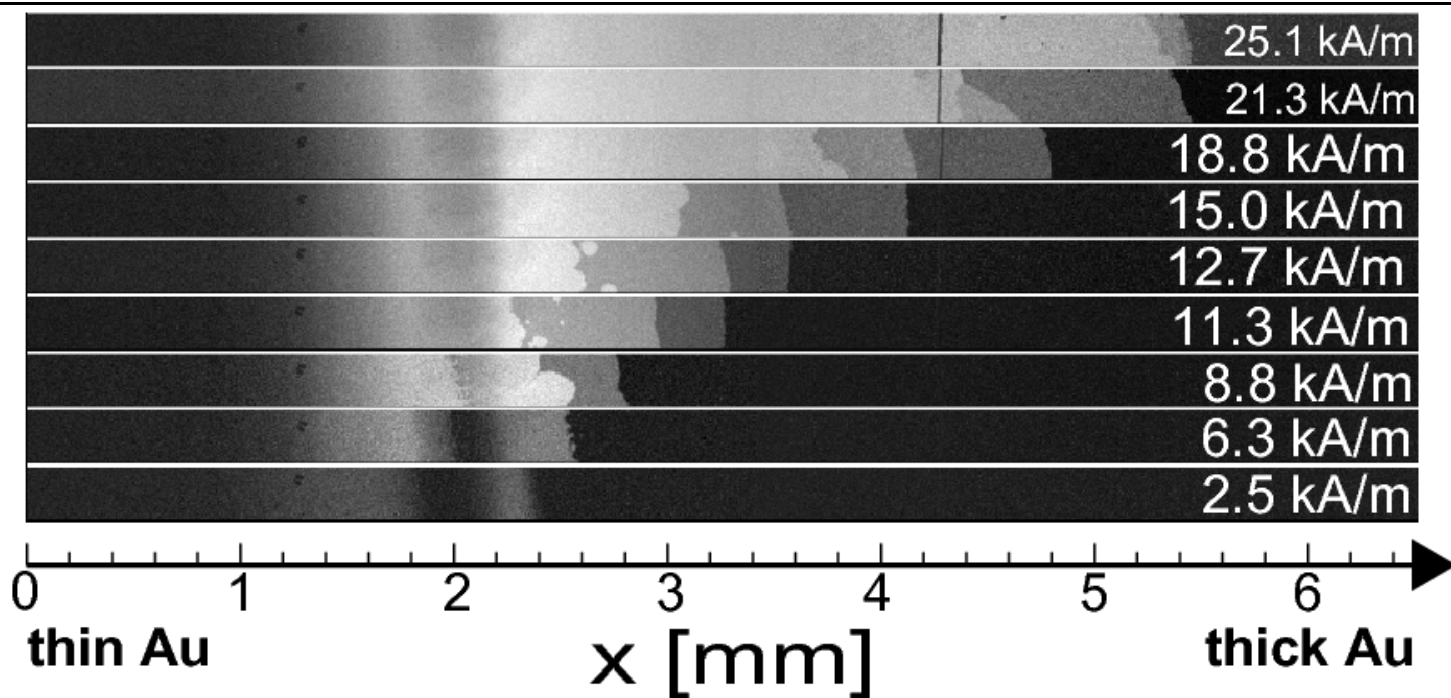
Porównanie obszarów bombardowanych i niebombardowanych



Rysunek 7.46. Magnetyczna struktura domenowa dla fragmentu układu warstwowego $(\text{Co-0.6nm}/\text{Au-2nm})_3/\text{klin Au 0-100nm}$, który nie był poddany bombardowaniu. Obserwacje przeprowadzono dla różnej wartości impulsów pola magnetycznego. Każde zdjęcie odpowiada fragmentowi próbki o wymiarach $2.2 \times 2.2 \text{ mm}^2$. Grubość wierzchniej warstwy Au rośnie od lewej do prawej części obrazu i zmienia się od 9.5nm do 12 nm.

P. Kuświk, praca doktorska, Poznań 2010

Brak korelacji między gradientem grubości klina Au i położeniem centrów nukleacji domen w układzie nie poddanym bombardowaniu.



W układzie bombardowanym położenie ścian domenowych koreluje z grubością klina Au.

Wnioski

- Bombardowanie jonami He^+ warstw wielokrotnych Co/Au pozwala, poprzez zastosowanie warstwy ochronnej Au, na uzyskanie zbliżonych do liniowych zmian lokalnego pola koercji w funkcji położenia
- Zależność pola koercji od położenia pozwala uzyskać liniowe zmiany położenia ściany domenowej w funkcji zewnętrznego pola magnetycznego
- Tak uzyskany ruch ścian domenowych wykorzystywany być może do kontrolowanej magnetoforezy