

# СВРЪХПРОВОДИМОСТ: ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ И ВИЗУАЛИЗИРАНЕ С ПОМОЩТА НА ВИДЕО КЛИПОВЕ

*Н.Нанчева, П.Дочева*  
Русенски университет “А.Кънчев”

**“Всичко което знаем за реалността  
произхожда от опита и завършва с него”  
А. Айнщайн**

## **ВЪВЕДЕНИЕ**

Ефективността на съвременното обучение по физика се определя от различни фактори, но от най-съществено значение са атрактивното представяне на научни знания от преподавателя и активното, мотивирано усвояване на тези знания от студентите. От изключително значение за разбиране на изучаваните физични явления и ефекти са лабораторните експерименти и лекционните демонстрации. Използването на демонстрации, симулации, модели и видео клипове в процеса на преподаване могат да подпомогнат студентите в разбирането на физичните явления чрез въздействие върху умствените представи за тези явления. Тези визуализационни техники не само позволяват на студентите да открият как явленията се извършват и взаимодействат, но също създават и визуални асоциации, чрез които те могат да уловят и да задържат същността на физичните явления по-ефективно, отколкото прави това словесното описание [1].

Реализирането на реални експерименти и демонстрации изисква подходяща материална база, която за някои експерименти не е много сложна и скъпоструваща. За да бъде демонстрирано обаче явлението **Сврѳхпроводимост** са нужни специални условия – подходящи образци, много ниски температури и силни магнитни полета, което в повечето случаи е извън възможностите на катедрите по физика и училищните кабинети. С въвеждането на Internet и мултимедийните технологии в обучението стана възможно реализирането и на виртуални експерименти, които не могат да заменят реалните, но са една възможност за експериментиране и визуализиране на ефекти и явления, за демонстрирането на които са нужни много средства и скъпоструваща апаратура.

Целта на настоящата работа е да представи възможностите на няколко видео клипа с помощта на които може да се експериментира и визуализира явлението **Сврѳхпроводимост**. Те са част от създадената от нас видео галерия [2], която се използва в процеса на обучение на студентите от инженерните специалности на Русенския университет.

## **ПРИЧИНИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ВИДЕО КЛИПОВЕ**

В процеса на развитие и създаване на средства за визуализация на различни физични ефекти и явления видео клиповете имат своето място и роля [3-5] поради следните причини:

- Използването на видео клипове е лесно и често по-ефективно от реален експеримент. Клиповете обикновено са кратки по време. Сложни явления и отделни детайли могат да бъдат демонстрирани в рамките на няколко секунди, докато при реалните експерименти е необходимо много повече време.

- Преподавателят има възможност стъпка по стъпка да покаже индивидуалните особености на експеримента в детайли и по този начин да улесни възприемането и разбирането на изучаваното явление.

- Ако се представят непосредствено преди реалния експеримент видео клиповете могат да обогатят дискусиата по време на лабораторните упражнения и лекции, тъй като дават възможност на преподавателя да повтаря елементи от видео клипа и да променя скоростта на видео клипа в съответствие с въпросите на студентите.

- Видео клиповете помагат на студентите да направят връзка между реални конкретни явления и абстрактни модели и основни принципи на физиката. По този начин студентите могат да направят директно визуално сравнение между сложни явления и опростени модели.

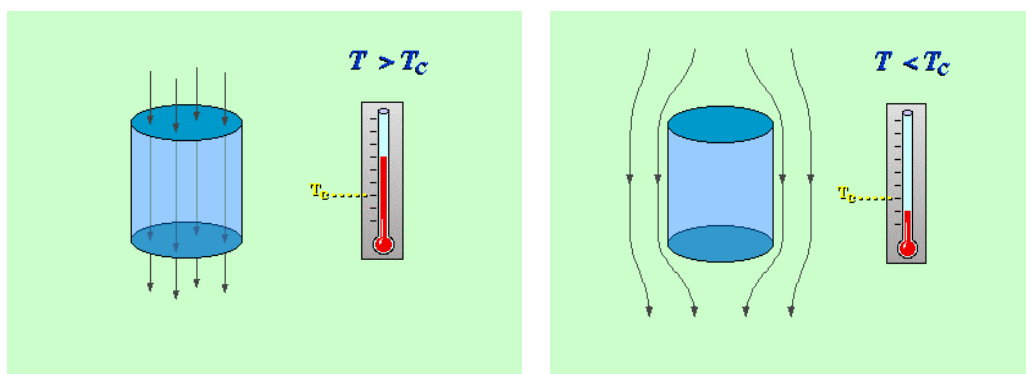
- При подходящ подбор видео клиповете могат да повишат мотивацията на студентите да изучават физика.

## ПРЕДСТАВЯНЕ НА ЯВЛЕНИЕТО СВРЪХПРОВОДИМОСТ ЧРЕЗ ВИДЕО КЛИПОВЕ

Свръхпроводимостта е един от най-бързо развиващите се клонове на физиката със значителни открития направени не преди стотици години, а в последните няколко десетилетия [6]. Първите открити свръхпроводници са метали, но в следващите години явлението е наблюдавано и в редица съединения и сплави. Открити са и органични свръхпроводници, както и керамични материали, притежаващи свръхпроводимост при температура  $T_c > 100$  К. Материалите с критична температура  $T_c > 77$  К се разглеждат като “високотемпературни” свръхпроводници, а останалите свръхпроводници се наричат “нискотемпературни”. Най-висока критична температура  $T_c$  е наблюдавана в  $Hg_{0.8}Tl_{0.2}Ba_2Ca_2Cu_3O_{8+x}$  ( $T_c = 138$  К) и в системата  $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{10+x}$  ( $T_c = 164$  К), но при налягане ( $P = 31$  GPa).

- **Свръхпроводници от първи тип (нискотемпературни)**

Към тази група свръхпроводници принадлежат много чисти метали, които са перфектни диамагнетици. Открити са първи и се характеризират с много ясно изразен преход в свръхпроводимо състояние, много ниски критични температури  $T_c$  и много ниски стойности на критично магнитно поле  $B_c$ . Притежават различен тип кристални решетки - FCC, BCC, HEX, TET, ORC. Свойствата им се обясняват с БКШ теорията (1957 г.), наречена на името на учените които я създават (Бардин, Купър, Шрифър). Според БКШ теорията в тези материали електроните се движат по двойки, наречени двойки на Купър. Те не представляват интерес за промишлеността.



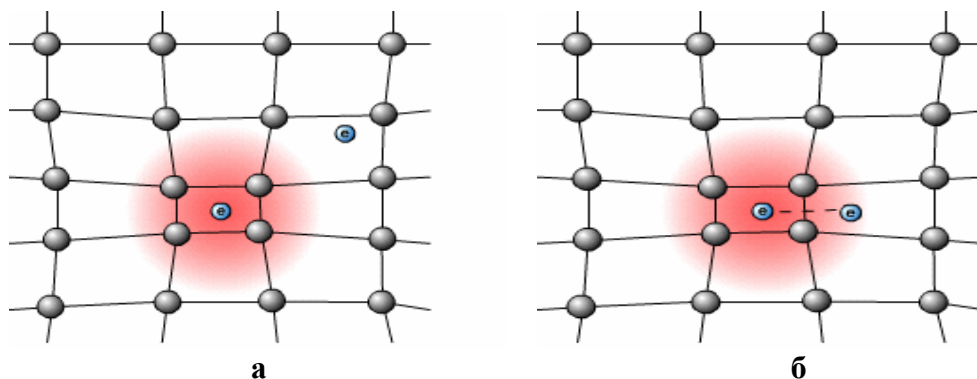
Фиг.1

Част от посочените по-горе свойства, включително и ефекта на Майснер-Оксенфелд могат да бъдат демонстрирани и визуализирани с помощта на видео клип [7], което не винаги е възможно при реален експеримент. Поведението на свръхпроводник от първи тип в магнитно поле е визуализирано на **фиг.1** за температури по-високи и по-ниски от критичната, съответно.

- **Двойки на Купър (1956)**

**Ефект на Купър (двойки на Купър)** се нарича процесът на обединение на електроните на проводимост в метала в двойки [8], водещ до поява на **свръхпроводимост**. Предсказан е от американския физик Л.Купър и лежи в основата на съвременната теория на свръхпроводимостта. Двойките на Купър се създават при температура под критичната. Електроните, намиращи се в близост на повърхността на Ферми и имащи противоположно насочени импулси и спинове могат да се обединяват в двойки, поради взаимодействието си, което възниква в резултат на обмен на виртуални фонони и има характер на привличане. Те имат поведение на независими частици и формирането им е пример за електрон - фононно взаимодействие. Ниската стойност на енергията на свързване на електроните в двойки на Купър определя съществуването на нискотемпературна свръхпроводимост на металите, техните съединения и сплави.

Формирането на двойките на Купър (**фиг.2 а**) и движението им през кристалната решетка (**фиг.2 б**) може да бъде демонстрирано и визуализирано с помощта на видеоклиповете [9], което е невъзможно с реални експерименти и демонстрации.

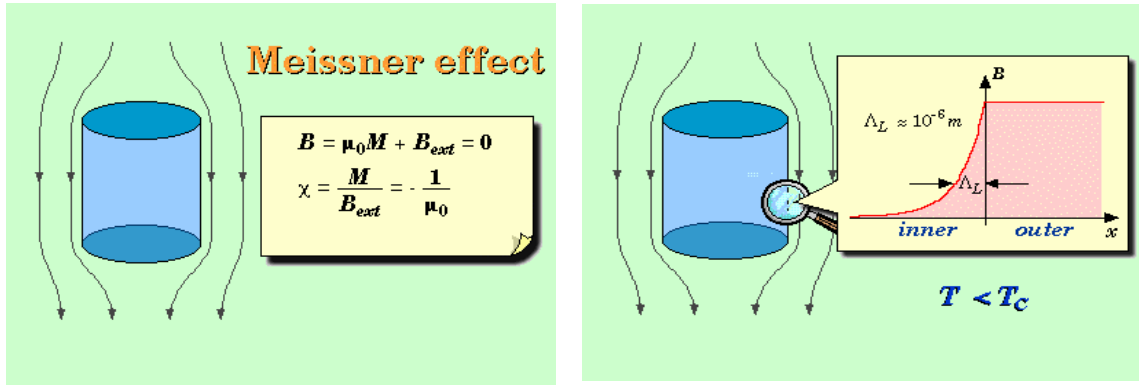


**Фиг.2**

- **Ефект на Майснер-Оксенфелд (1933)**

**Ефектът на Майснер-Оксенфелд** [8] е противоположен на феромагнетизма и е свързан с пълно "изтласкване" на магнитното поле (**фиг.3**) от обема, заеман от свръхпроводник, при понижаване на температурата или намаляване на индукцията на външното магнитно поле под някаква критична стойност  **$B_c$** , определяща се от характерната за дадения свръхпроводник зависимост  **$B_c = f(T)$** . Причина за това е, че при  **$B < B_c$**  в повърхностния слой на свръхпроводника се появява кръгов незатихващ ток, големината на който е такава, че напълно компенсира външното магнитно поле в образеца. Дебелината на слоя, в който тече този ток и на която прониква външното поле, т.е. **дебелината на проникване  $d$**  (Лондоновска дълбочина на проникване) обикновено е от порядъка  $10^{-7} - 10^{-8}$  m, а магнитното поле отслабва по експоненциален закон. Величината  **$d$**  зависи от температурата, като при увеличение на температурата расте и при  **$T \rightarrow T_c$** ,  **$d \rightarrow \infty$** . Пълно "изтласкване" на магнитното поле се

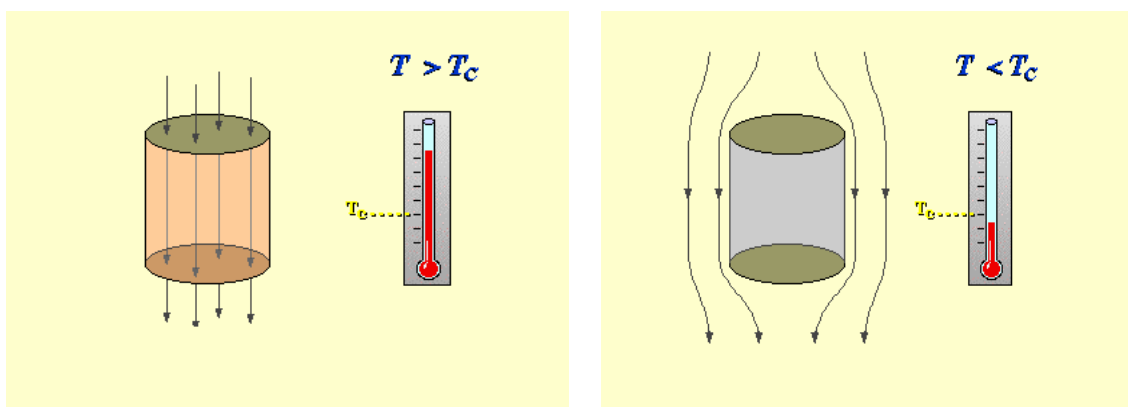
наблюдава и за двата типа свръхпроводници, но за свръхпроводниците от втори тип само при стойности на магнитното поле  $B < B_{c1}$ . В недостатъчно чисти и пластично деформирани метали и особено в сплавите, се наблюдава частично "замразяване" на магнитното поле, т.е. непълнота на ефекта на Майснер-Оксенфелд.



Фиг.3

- **Свръхпроводници от втори тип (високотемпературни)**

Към тази група спадат елементите **V, Tc, Nb**, съединения и сплави, медни перовискити, органични свръхпроводници, както и керамични материали, притежаващи свръхпроводимост при  $T_c > 100$  K. Отличават се от свръхпроводниците от първи тип по няколко признака. Характерни за тях са високи стойности на критичната температура, критичния ток и критичното магнитно поле. Преходът от нормално в свръхпроводимо състояние преминава през област на "смесено състояние". За тях са характерни две критични магнитни полета –  $B_{c1}$  and  $B_{c2}$ . Притежават кристални решетки от типа **TET** и **ORTH**. Свойствата им не могат да се обяснят с помощта на двойките на Купър и поведението им не е напълно обяснено. Представяват изключителен интерес за промишлеността.



Фиг.4

Всички посочени по-горе свойства могат да бъдат демонстрирани и визуализирани с помощта на видео клип [7], което не винаги е възможно при реален експеримент. Поведението на свръхпроводник от втори тип в магнитно поле, за температури по-високи и по-ниски от критичната, е визуализирано на **фиг.4**. При стойности на