

Милко Бабић
Републички педагошки завод, Бања Лука
Подручна јединица, Бијељина

Детекција инфрацрвеног зрачења

Сажетак: Увођење појма инфрацрвено зрачење представља тешкоћу наставницима и ученицима. Првима да нађу начин да тај аспект физичке реалности приближе ученицима, а другим да прихвате и усвоје поменути појам. Овдје су описани једноставни и јефтини експерименти у којима се инфрацрвени зраци детектују, односно посматрају или чују. Њихово извођење доприноси лакшем прихватању постојања зрачења недоступним људским чулима.

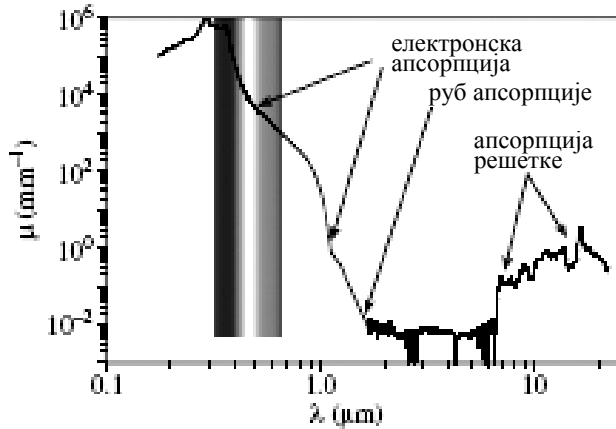
Кључне ријечи: инфрацрвено зрачење, детекција

Откриће инфрацрвеног зрачења потиче из 1800. године. Астроном и музичар Фредерик Вилиам Хершел је мјерећи термометром температуру у различитим дијеловима спектра сунчеве свјетлости утврдио да температура најбрже расте у дијелу спектра до црвене свјетлости, на мјесту гдје нема видљиве свјетлости. Ово дејство је приписао невидљивом зрачењу које данас називамо инфрацрвено зрачење. Иначе Хершел је био познатији по свом открићу планете Уран 1781. године. Наредни вијекови су показали да је откриће инфрацрвеног зрачења одиграло велику улогу у свијету науке и технологије. Диоде које емитују инфрацрвено зрачење (IC) имају широку примјену почев од даљинских управљача за телевизор, музичке линије, DVD-плејере, сигурносних уређаја до телекомуникационих мрежа, чијим оптичким кабловима се простиру IC-зраци.

Приликом упознавања ученика са спектром електромагнетног зрачења они се сусрећу са невидљивим дијеловима спектра. Подучавање о невидљивим аспектима природе који су недоступни људским чулима је сложеније од подучавања о стварима које ученик може видјети, чути, мирисати или додирнути. Учинити видљивим неки невидљиви дио физичке стварности је најједноставнији и најјачи доказ о његовом постојању.

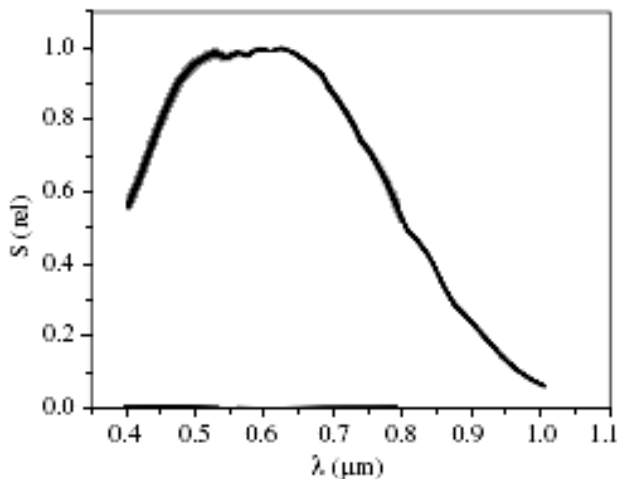
Детекција инфрацрвеног зрачења помоћу дигиталног фотоапарата или Web-камере

Данашњи дигитални фотоапарати за детекцију свјетлости користе тзв. CCD чипове (engl: Charge Coupled Devices – елементи са спрегнутим наелектрисањем) или CMOS чипове. CCD чип је свјелосни сензор који садржи милионе фотоосјетљивих диода које свјетлосни сигнал претварају у електрични. Први CCD чип је направљен у Беловим лабораторијама у САД 1969. године а његови изумитељи Вилард Бојл и Џорџ Смит су добитници половине Нобелове награде за 2009. годину (другу половину је добио Чарлс Као за изуме у преносу свјетлости оптичким влакнима). Да би неки фотон био детектован, он мора бити апсорбован. Исто важи за CCD чип, фотографски филм или мрежњачу. То значи да је спектрална осјетљивост детектора блиско повезана са апсорпционим спектром преко механизма детекције зрачења. У структури полупроводника силицијума фотон се детектује приликом његове апсорпције од стране електрона. Том приликом електрон прелази из валентне у проводну зону (слика 1). Пар електрон-шупљина настао апсорпцијом фотона детектује CCD или CMOS, тј. њихове компоненте испод површине чипа.



Слика 1. Коефицијент апсорпције (μ) силицијума

Граница апсорпције силицијума је на таласној дужини $1,1\mu\text{m}$ и одређена је ширином забрањене зоне $1,1\text{ eV}$. За краће таласне дужине – веће енергије фотона, апсорпција нагло расте. Полудебљина апсорбера за таласну дужину $1,1\mu\text{m}$ је неколико центиметара а за плаву свјетлост неколико нанометара силицијума. У далеком ИС-подручју од $1,1\text{-}7\mu\text{m}$ силицијум добро пропушта зрачење, али у овом подрују зрачење апсорбује вибрације решетке а овај механизам је бескористан за детекцију у структури CCD чипа. Стварна спектрална осјетљивост CCD чипа је благо различита од спектралне осјетљивости силицијума.



Слика 2. Осјетљивост CCD чипа

Пад осјетљивости је видљив за краће таласне дужине (плава свјетлост). Разлог за овај пад је што CCD детектује фотон само у случају да је он апсорбован у р-п слоју. Силицијум добро апсорбује плаву свјетлост, тако да је она у великој мјери апсорбована прије него што стигне до р-п споја. Из апсорпционог спектра је видљиво да CCD детектује и ИС-зрачење. Ово није пожељно јер је циљ да имамо свјетлосни детектор који има потпуно исту осјетљивост као људско око. Ако се то не постигне дошло би на фотографији до кривљења (кварења) боја. Проблем се рјешава тако што се у фотоапарат уграђује ИС-филтер који чини да је детектовани спектар сличан као код људског ока. Иако CCD чип у комбинацији са ИС-филтером чини да је спектрална осјетљивост дигиталних фотоапарата слична људском оку – то није сасвим тачно. То се лако може доказати са нпр. даљинским управљачем телевизора.

Они обично емитују ИС-зраке из опсега 850-950 nm, веома близу видљиве свјетлости. Дигитални фотоапарат ће забиљежити ову свјетлост а људско око не. Слика 3. Неке дигиталне камере (камкордери) имају дефинисан ноћни режим рада. Код Sony камера овај мод је назван Nightshot а код Панасоник камера MagicVu. Укључивањем поменутог начина рада долази до склањања ИС-филтера са путање свјетлости која улази у камеру. Тако се ова камера претвара у добар детектор ИС зрака [1].



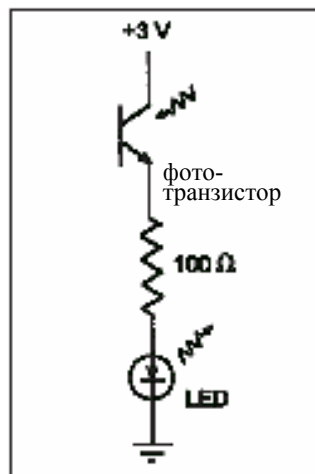
Слика 3. ИС зраци које емитује даљински управљач снимљен дигиталним фотоапаратом

Детекција инфрацрвеног зрачења помоћу фототранзистора

Једноставно електрично коло са фототранзистором се може искористити за детекцију ИС-зрачења. На слици 4 је приказана спектрална осјетљивост људског ока и фототранзистора.



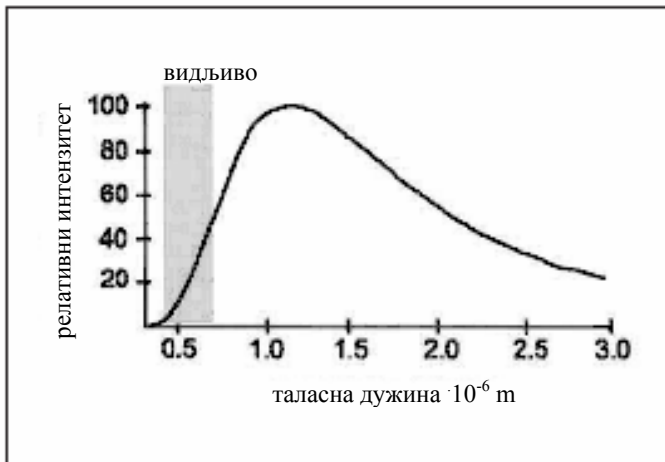
Слика 4. Осјетљивост људског ока и фототранзистора у зависности од таласне дужине свјетлости



Слика 5. Шема електричног кола за детекцију ИС зрачења

Са слике је уочљиво да је транзистор најосјетљивији за таласне дужине из инфрацрвеног дијела спектра, такође се види да фототранзистор реагује и на видљиву свјетлост. Електрично коло приказано на слици 5 се користи за детекцију ИС зрачења [3]. Када на фототранзистор усмјеримо ИС-зраке нпр. притиском на дугме даљинског управљача телевизора долази до тока струје кроз ово коло а свјетлећа диода (LED) емитоваће видљиву свјетлост. По престанку дотока ИС-зрачења на транзистор престаје и ток струје кроз коло а тиме и емисија видљиве свјетлости.

Као извор ИС-зрака се може користити и било која сијалица са ужареним влакном нпр. цепна батеријска лампа. Слика 6 проиказује спектар емитованог зрачења такве сијалице.

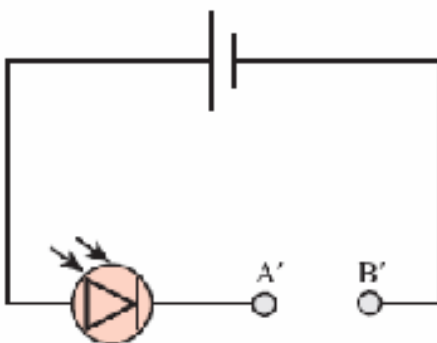


Слика 6. Емисиони спектар сијалице са ужареним влакном

Са слике 6 је видљиво да сијалица са ужареним влакном емитује само малим дијелим видљиву свјетлост а највише ИС зрачење. За детекцију овог зрачења довољно је да се на фототранзистор постави филтер који зауставља видљиву свјетлост а пропушта ИС зраке. Као такав филтер може да се користи црна полиетиленска фолија од које се праве вреће за смеће.

Ослушкивање и посматрање инфрацрвеног зрачења

Инфрацрвено зрачење које емитују даљински управљачи се може претворити у звук. За извођење таквог експеримента потребан је фотоелемент (соларна ћелија), фотодиода или фототранзистор, обични аудиопојачавач и звучници или слушалице .

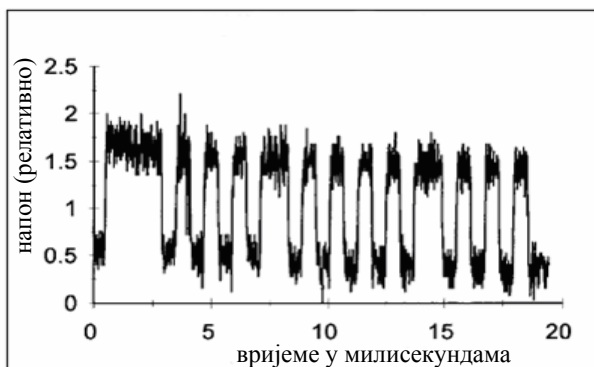


Слика 7. Шема електричног кола за „ослушкивање“ ИС зрака. У случају да се користи соларна ћелија умјесто фотодиоде - извор струје је сувшиан.

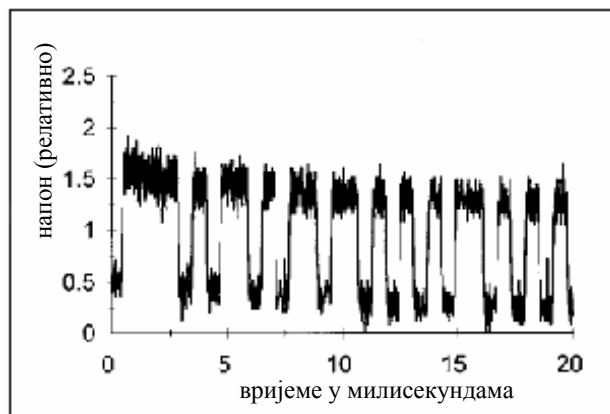
Аудио појачавач са звучницима се у колу веже између тачака А' и В'. Када је фототранзистор (фотоћелија) обасјана са ИС зрацима који потичу од даљинског управљача, звучник ће емитовати звук налик слабом звоњењу телефона. Притисак на друго дугме даљинског управљача производи сличан, али унеколико различит звук. Узрок ове појаве је

што даљински управљач у току неких 80 ms емитује кодирани сигнал који се састоји од периода када емитује ИС-зраке и периода када то не чини. Емисија кодираног сигнала се понавља фреквенцијом од неколико херца, све док је притиснут тастер даљинског управљача.

Изглед кодираног сигнала који емитује даљински управљач се може посматрати помоћу осцилоскопа [2]. Ако ИС-зраке детектујемо помоћу соларне ћелије, њене крајеве можемо директно спојити на улаз осцилоскопа. Временску базу осцилоскопа подесимо на 2,5 ms по подиоку, амплитуда напона зависи од типа даљинског управљача и колико је удаљен од соларне ћелије и типично износи неколико десетих дијелова волта. На сликама 8 и 9 је приказан облик сигнала на осцилоскопу.



Слика 8. Сигнал добијен притиском на дугме „9“ даљинског управљача Sony видеорикордера.



Слика 9. Сигнал добијен притиском на дугме „play“ даљинског управљача Sony видеорикордера.

Са слика 8 и 9 се види да се сигнал састоји од 13 импулса. Први у трајању од 2,4 ms активира пријемник видеорикордера а осталих 12 представљају бинарни код (јединице и нуле). Јединице (1) су представљене импулсима дужег трајања (1,2 ms) а нуле (0) са трајањем импулса 0,6 ms. Тако да је код емитован притиском на дугме „9“ једнак 000100001000, а код емитован притиском на “play” 010110001000.

Амплитуде импулса чини се да имају константну вриједност. Међутим смањивањем временске базе осцилоскопа уочиће се да је амплитуда модулисана фреквенцијом 40 kHz. Пријемник видеорикордера је направљен тако да одговара на сигнале те фреквенције па су на овај начин избјегнуте сметње до којих би могло доћи усљед постојања ИС-зрачења које потиче од уобичајених извора као што су сијалице. Не користе сви произвођачи даљинских

управљача исте начине за кодирање сигнала (представљање 0 и 1). Два широко коришћена протокола за кодирање сигнала даљинских управљача су RC-5 и RESC-80 [4].

Даљински управљачи односно њихове диоде које емитују ИС-зраке обично раде у импулсном режиму. Међутим они могу да раде и непрекидно. ИС-диоде прикопчане директно на батерију без заштитног отпора могу сатима да непрекидно емитују зрачење. Начин на који даљински управљачи шаљу сигнал и начин на који се прима и декодира има ширу примјену. Такозвани бар код скенери на касама супермаркета на сличном принципу читавају кодирани сигнал са етикете артикла. Трагање за ванземаљском интелигенцијом (SETI) дуго је било ограничено на детектовање радио таласа који долазе из свемира. Крајем 20. вијека је уочено да кодирани свјетлосни сигнали имају предност за комуницирање на међузвјезданим растојањима а који можда неопажено долазе и на Земљу.

Закључак

Скоро сви овдје описани експерименти се могу извести са релативно једноставном и јевтином опремом. Ниједан од њих не захтијева потпуно замрачење просторије. Неки од изложених експеримената су погодни за извођење у основним школама за демонстрацију постојања инфрацрвеног зрачења. Ученицима средњих школа може бити занимљива физичка позадина појава као и начин кодирања свјетлосног сигнала. У зависности од узраста ученика и њиховог занимања за тему, неке од ових демонстрација се могу додијелити њима као ученички пројект, нпр. да камером у поменутом ИС-моду сниме емисију ИС-зрака даљинског управљача.

Литература

- [1] Bochnicek Z, 2008. *Phys. Educ.* 43 51-56
- [2] Ernie McFarland, Tom Kehn, 2000. *Phys. Teach.* 38 314-315
- [3] Edward V Lee, 2004. *Phys. Teach.* 42 83-84
- [4] Daryl W. Preston, 1998. *Am. J. Phys.* 66 544-547