

Laserau a'u Cymwysiadau

Gyda mwy na biliwn o laserau yn cael eu cynhyrchu bob blwyddyn, mae'r dyfeisiau gwych hyn wedi profi eu gwerth ers i'r laser rhuddem cyntaf ddechrau cynhyrchu golau yn 1960. Mae o leiaf saith gwobr Nobel wedi'u dyfarnu am waith ar ddamcaniaeth neu gymwysiadau laserau, ond mae'n ymddangos bod mwy a mwy o gymwysiadau yn cael eu datblygu bob dydd. Weithiau mae eu pŵer uchel yn cael ei ddefnyddio mewn ffordd sylfaenol i anweddu, toddi, dallu neu ddinistrio ond mae llawer o gymwysiadau yn fwy dychmygus – gan ddibynnu ar natur gyfeiriadol iawn y golau neu allu'r laser i gynhyrchu pylsiau byr iawn neu natur fonocromatig neu gydlynus y golau. Dyma amrywiaeth eang o enghreifftiau sy'n defnyddio'r priodweddau gwerthfawr hyn sydd gan laserau.

1

Defnyddio Laserau mewn Meddygaeth

Mae modd ffocysu paladr cyflin (*collimated*) iawn laser ymhellach gan greu dot microsgopig â dwysedd egni uchel dros ben. Mae hyn yn ei wneud yn ddefnyddiol fel offeryn ar gyfer torri a serio (*cauterizing*). Gallwn ddefnyddio laser wedi'i ffocysu fel cyllell llawfeddyg finiog iawn ar gyfer llawdriniaeth gynnil, gan serio wrth iddo dorri. (Ystyr "serio" yw'r arferiad meddygol cyfarwydd o ddefnyddio offeryn poeth neu chwilliedydd trydanol amledd uchel i ddeifio'r feinwe o amgylch endoriad (*incision*), gan selio pibellau gwaed bach i atal gwaedu.) Mae serio yn arbennig o bwysig ar gyfer llawdriniaethau mewn meinwe sy'n cynnwys llawer o waed, fel yr iau / afu.

2

Mae laserau wedi cael eu defnyddio i wneud endoriad â lled hanner micromedr, sydd i'w gymharu â rhyw 80 μm ar gyfer diamedr blewyn dynol.

3

Mesur Pellter

Mae laserau heliwm-neon a lled-ddargludol wedi dod yn rhan safonol o offer tîrfesurwyr. Mae pwls laser cyflym yn cael ei anfon i adlewyrchydd cornel ar y pwynt sydd i'w fesur ac mae amser yr adlewyrchiad yn cael ei fesur er mwyn cyfrifo'r pellter.

4

Rydym yn gallu defnyddio'r dull hwn i wneud mesuriadau pell iawn! Gosododd y gofodwyr ar Apollo 11 ac Apollo 14 adlewyrchyddion cornel ar arwyneb y Lleuad er mwyn mesur y pellter rhwng y Ddaear a'r Lleuad. Roedd pwls laser pŵerus o Arsyllfa MacDonald yn Texas wedi gwasgaru i radiws o tua 3 km erbyn iddo gyrraedd y Lleuad, ond roedd yr adlewyrchiad yn ddigon cryf i gael ei ganfod. Rydym yn awr yn gwybod y pellter rhwng y Lleuad a Texas i ryw 15 cm, mesuriad â naw ffigur ystyrlon. Cafodd laser rhuddem â phwls ei ddefnyddio ar gyfer y mesuriad hwn.

5

Anelau Laser a Drylliau

Pan fo laserau wedi'u cymhwyso ar gyfer drylliau, maent yn cael eu defnyddio'n bennaf i wella targedu systemau arfau eraill. Er enghraifft, laser bach yw *annel laser*, sy'n defnyddio golau gweladwy fel rheol ac sy'n cael ei osod ar ddryll llaw neu reiffl a'i alinio fel ei fod yn allyrru paladr yn baralel i'r faril. Gan fod gan baladr laser, trwy ddiffiniad, ddargyfeiriad isel, mae'r golau laser yn ymddangos fel smotyn bach hyd yn oed pan yw'n bell iawn; mae'r defnyddiwr yn gosod y smotyn ar y targed ac mae baril y dryll yn cael ei alinio (ond nid yw hyn yn ystyried cwmp y fwled, y gwynt na symudiad y targed wrth i'r fwled deithio).

6

Cyfngiad arall ar annel laser yw'r ffaith bod golau sy'n gadael laser yn dargyfeirio ychydig oherwydd diffreithiant y paladr wrth iddo fynd allan trwy'r twll. Mae hafaliad 1 yn rhoi dargyfeiriad y paladr.

7

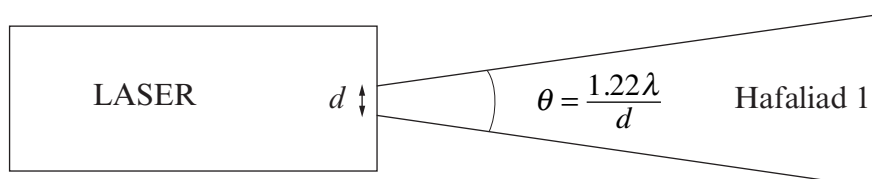


Diagram 1

Mae dargyfeiriad paladr laser nodweddiadol tua 1 miliradian ond mae hyn yn llawer llai manwl gywir na'r dargyfeiriad a gaiff anelwr da gyda lens delesgopig fawr.

Laserau Cyfathrebu

Mae ceblau optegol ffibr yn ddull pwysig o gyfathrebu a hynny'n rhannol oherwydd bod modd anfon signalau lluosog ag ansawdd uchel a cholledion isel trwy anfon golau ar hyd y ffibrau. Ffynonellau'r golau yw laserau neu ddeudodau allyrru golau ond mae gan laserau fanteision sylweddol oherwydd eu bod yn nes at fod yn fonocromatig ac mae hyn yn galluogi siâp y pwls i gael ei gadw'n well dros bellterau hir. Os yw'n bosibl cadw siâp pwls gwell, yna mae modd anfon y cyfathrebiad yn gyflymach heb i'r pylsiau orgyffwrdd.

Gall gyrwyr ffibrau ffôn fod yn laserau cyflwr solet, maint gronyn tywod, a gallan nhw ddefnyddio pŵer o ddim ond hanner miliwat. Eto gallan nhw anfon 50 miliwn pwls yr eiliad i ffibr ffôn sydd ynghlwm ac amgodio dros 600 o sgysiau ffôn cydamserol.

CD-ROM a DVD-ROM

Heddiw, mae'r rhan fwyaf o ddisgyrwy CD-ROM a DVD-ROM yn defnyddio un paladr laser crynodedig iawn i ddarllen y signal digidol sydd wedi'i amgodio ar draciau disg optegol (CD neu DVD). Mae'r paladr laser unigol yn cael ei gyfeirio at drac unigol o wybodaeth, sy'n ffurfio sbiral barhaus ar y disg sy'n dechrau yng nghanol y disg ac yn estyn allan mewn sbiral tuag at yr ymyl allanol. Mae amrywiadau (yn hyd y pant data) ar arwyneb y disg yn achosi amrywiadau yn y paladr laser sy'n cael ei adlewyrchu ac mae'r rhain yn cael eu canfod gan synhwyrdd optegol.

Mae'r disgyrrwr yn cylchdroi'r disg ac mae'r traciau'n rhedeg dan y paladr laser. Mae gan y system yrru reolydd modur optegol sy'n galluogi'r laser i ffocysu'n union a dilyn llwybr troellog y pantiau a'r tiroedd, gan ddal i ffocysu ar y "trac". Caiff y laser ei adlewyrchu ar wahanol arddwyseddau ar gyfer gwahanol amserau (hyd pant neu dir) wrth iddo fynd dros y trac troellog. Mae sero yn cyfateb mewn gwirionedd i'r arddwysedd uchel sy'n cael ei adlewyrchu gan bant gwastad neu ran o dir gwastad. Mae un yn cyfateb i arddwysedd isel sy'n cael ei adlewyrchu ar ymyl pant a thir lle mae ymyriant distrywiol yn digwydd rhwng y ddau adlewyrchiad. Er mwyn cael cymaint o ymyriant ag y bo modd rhwng golau sy'n cael ei adlewyrchu gan 'dir' a golau sy'n cael ei adlewyrchu gan 'bant', mae dyfnder o chwarter tonfedd yn cael ei ddewis ar gyfer y pantiau. Yna caiff y golau laser a adlewyrchir ei gyfeirio at ganfodydd sy'n sensitif i olau ac sy'n trosi'r amrywiadau yn y golau yn llyf o ddata cyfresol, sy'n cynrychioli'r patrwm o bantiau a thiroedd ar y disg. Caiff y llyf data hwn ei fwyhau a'i anfon at ficrobrosesydd ar gyfer ei ddechongli. Yr enw ar y cyfuniad o'r laser, lensys i ffocysu'r paladr, drych i bwyntio'r paladr sydd wedi'i adlewyrchu a'r canfodydd sy'n sensitif i olau yw "synhwyrdd optegol".

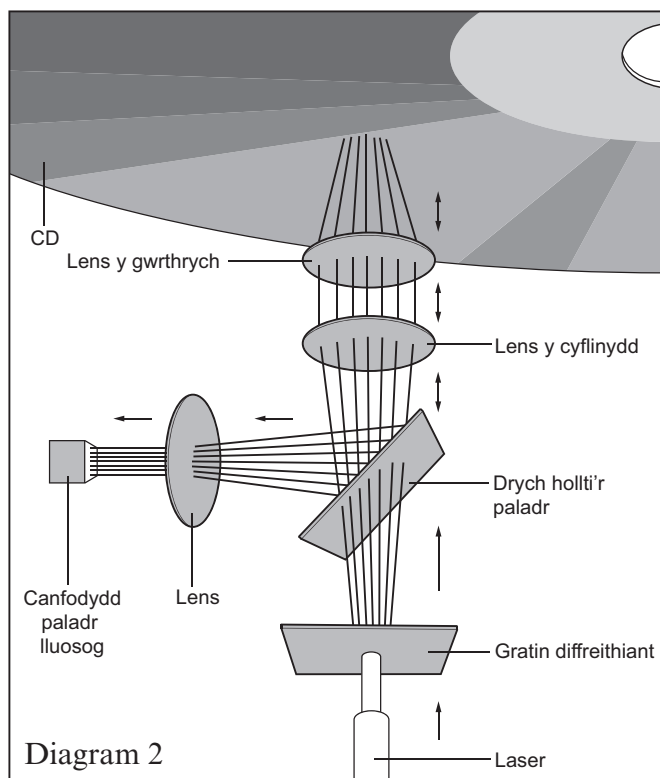


Diagram 2

Mae'r dull Paladr Lluosog o oleuo a chanfod traciau lluosog (gweler y diagram ar y chwith) yn defnyddio paladr laser wedi'i ddiffreithio mewn cysylltiad ag arae canfod paladr lluosog. Mae'r golau laser o ddeudod laser confensiynol yn cael ei anfon trwy gratin diffreithiant, sy'n hollti'r paladr yn saith paladr arwahanol, â bylchau cyson rhyngddyn nhw, i oleuo saith trac. Mae'r saith paladr yn mynd trwy ddrych holli paladr (dwy ffordd) i lens y gwrthrych ac yna ar arwyneb y disg. Mae elfennau canfod confensiynol ar y paladr canolog yn eu ffocysu a'u tracio. Mae arae canfod paladr lluosog yn gallu darllen y tri phaladr ar bob ochr i'r paladr canolog os yw'r paladr canolog ar y trac ac wedi'i ffocysu.

Mae'r pelydr sydd wedi'u hadlewyrchu yn dychwelyd o'r disg ar hyd yr un llwybr ac yn cael eu cyfeirio at yr arae canfod paladr lluosog gan arwyneb adlewyrchol y drych hollti paladr. Mae'r canfodydd yn cynnwys saith canfodydd arwahanol wedi'u gosod i alinio â'r saith trac adlewyrchol. Sylwer bod synhwyrdd paladr unigol safonol yn debyg iawn. Mewn synhwyrdd paladr unigol, byddai'r gratin diffreithiant yn cael ei dynnu a byddai gan y canfodydd un pwynt canfod data.

13

Oeri gyda Laser

Gan ddechrau tua 1985 ymlaen, gwnaed cynnydd o ran defnyddio laserau i gyrraedd tymereddau isel iawn fel bod tymereddau o 10^{-9} K wedi cael eu cyrraedd. Os yw atom yn teithio tuag at baladr laser ac os yw'n amsugno ffoton o'r laser, bydd yn cael ei arafu oherwydd bod gan y ffoton fomentwm.

14

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad \text{Hafaliad 2}$$

Os ydym yn cymryd atom sodiwm fel enghraifft ac yn tybio bod nifer o atomau sodiwm yn symud yn rhydd mewn siambr wactod ar 300 K, byddai cyflymder i.s.c. atom sodiwm tua 570 ms^{-1} , yn ôl y ddamcaniaeth ginetig. Yna, os yw laser yn cael ei diwnio i ychydig dan linell allyrru sodiwm (tua 2.1 eV), byddai atom sodiwm sy'n teithio tuag at y laser ac yn amsugno ffoton o'r laser yn colli momentwm sy'n hafal i fomentwm y ffoton. Byddai angen nifer mawr o amsugniadau o'r fath i oeri'r atomau sodiwm i dymheredd sy'n agos i 0 K gan y byddai un amsugniad yn arafu'r atom sodiwm o ddim ond rhyw 3 cm/s o fuanedd 570 ms^{-1} . Byddai angen bron i 20,000 ffoton i arafu i sero fomentwm atom sodiwm sy'n mynd yn syth ar hyd y paladr. Gallwn gyfrifo'r newid mewn buanedd o amsugno un ffoton gan

15

$$\Delta v = \frac{p_{\text{ffoton}}}{m_{\text{sodiwm}}} \quad \text{Hafaliad 3}$$

Mae hyn yn swnio fel llawer o ffotonau ond gall laser achosi tua 10^7 amsugniad yr eiliad ac felly byddai modd stopio atom mewn ychydig o filieiliadau.

Un broblem gyda'r cysyniad yw'r ffaith y gall amsugniad gyflymu atom hefyd os yw'r ffoton yn ei daro o'r tu ôl, ac felly mae angen cael mwy o amsugniadau gan ffotonau sy'n taro'n benben os ydych yn ceisio arafu'r atomau. Mae hyn yn cael ei wneud yn ymarferol trwy diwnio'r laser ychydig yn is nag amsugniad cysain atom sodiwm disymud. O safbwynt yr atom, mae'n gweld dadleoliad Doppler tuag i fyny, tuag at ei amledd cysain, yn y ffoton sy'n ei daro'n benben ac felly mae'n amsugno'r ffoton hwn yn fwy cryf na ffoton sy'n teithio i'r cyfeiriad dirgroes, sy'n dangos dadleoliad Doppler oddi wrth yr amledd cysain. Yn achos ein hatom sodiwm uchod, ar dymheredd ystafell, byddai'r ffoton sy'n agosáu yn dangos dadleoliad Doppler tuag i fyny o 0.97 GHz ac felly er mwyn sicrhau bod y ffoton benben yn cyfateb i'r amledd cysain, byddai angen tiwnio'r laser i'r maint hwnnw dan y brig cysain. Awgrymodd Theodore Hansch ac Arthur Schawlow y dull hwn o oeri atomau sodiwm ym Mhrifysgol Stanford yn 1975 ac fe lwyddodd Chu i'w wneud yn labordai AT&T Bell yn 1985. Cafodd atomau sodiwm eu hoeri o baladr thermol ar 500 K i tua 240 μK . Roedd y dechneg arbrol yn golygu cyfeirio pelydr laser o gyfeiriadau dirgroes ar y sampl, wedi'u polaru ar 90° mewn perthynas â'i gilydd. Yna gallai chwe laser ddarparu pâr o belydrau ar hyd pob echelin gyfesurynnol.

16

Er mwyn parhau i oeri'r atomau sodiwm fel hyn mae angen tiwnio amledd y laser i fyny tuag at yr amledd cysain atomig oherwydd y bydd y dadleoliad Doppler yn llai. Mae hyn yn rhoi terfyn ymarferol ar faint o oeri y gallwn ei gyflawni oherwydd bod y gyfradd oeri wahaniaethol yn lleihau ac mae pwynt yn dod lle nad oes modd oeri dim mwy oherwydd gwresogi sy'n cael ei achosi trwy hapamsugno ac ail-allyrru ffotonau.

17

Gefeiliau Bach (*Tweezers*) Optegol

Mae gefeiliau bach optegol yn gallu trin gronynnau maint nanometr a micrometr sydd ag indecs plygiant uchel trwy roi grymoedd bach iawn trwy baladr laser wedi'i ffocysu. Fel rheol mae'r paladr yn cael ei ffocysu trwy ei anfon trwy ficrosgop. Ar bwynt culaf y paladr sydd wedi'i ffocysu, sy'n cael ei alw yn wasg y paladr, mae graddiant arddwysedd golau uchel iawn. Fel mae'n digwydd, mae'r gronynnau yn cael eu hatynnu ar hyd y graddiant i'r rhanbarth lle mae'r arddwysedd golau ar ei gryfaf, sef canol y paladr. Rydym yn galw hwn yn drap optegol oherwydd ei fod yn dal y gronyn yng nghanol y paladr. Yna gallwn symud y paladr hwn fel bod y trap yn symud y gronyn ac yn gweithredu fel gefeiliau bach optegol. Mae'r grym sy'n cael ei roi ar y gronyn yn llinol mewn perthynas â'i ddadleoliad o ganol y trap, os yw'r dadleoliad yn fach. Yn hyn o beth, gallwn gymharu trap optegol â sbring syml sy'n dilyn deddf Hooke.

18

Mae trapiau optegol yn offer sensitif iawn sy'n gallu trin a chanfod dadleoliadau o lai na nanometr ar gyfer gronynnau sy'n llai na micrometr. Oherwydd hyn, maen nhw'n cael eu defnyddio yn aml i drin DNA. Mae'r proteinau a'r ensymau sy'n rhyngweithio â DNA hefyd yn cael eu hastudio fel hyn.

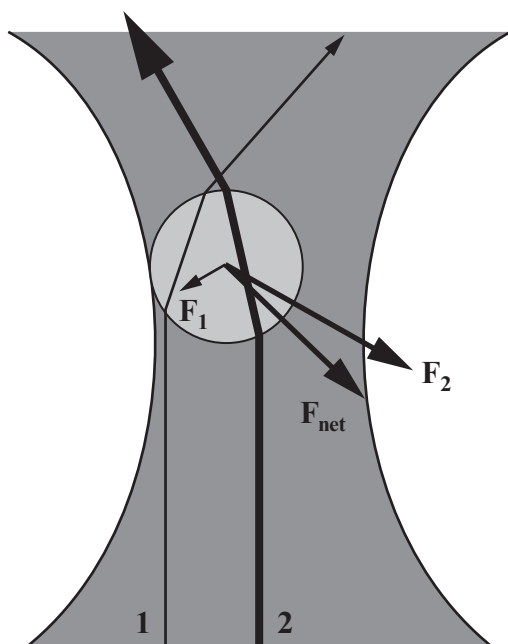
19

Dyma eglurhad o sut mae gefeiliau bach optegol yn gweithio, yn seiliedig ar indecs plygiant (nid yw'r ddamcaniaeth hon ond yn berthnasol i ronynnau mwy lle gallwn ddefnyddio damcaniaeth pelydr).

20

Mewn achosion lle mae diamedr y gronyn sydd wedi'i ddal yn fwy o lawer na thonfedd golau, gallwn egluro'r ffenomen o ddal trwy ddefnyddio opteg pelydr. Fel mae diagram 3 yn ei ddangos, bydd paladr unigol o olau sy'n cael ei allyrru gan laser yn cael ei blygu wrth iddo fynd i mewn ac allan trwy'r gronyn. O ganlyniad, bydd y paladr yn gadael i gyfeiriad gwahanol i'r un y dechreuodd ohono. Gan fod gan olau fomentwm, mae'r newid cyfeiriad hwn yn golygu bod ei fomentwm wedi newid. Oherwydd trydedd Ddeddf Newton, dylai fod newid momentwm hafal a dirgroes gan y gronyn.

21



Golau laser i mewn

Eglurhad ar opteg pelydr.

Pan gaiff y gronyn ei ddadleoli o ganol y paladr, mae'r newid momentwm mwy sydd gan y pelydr mwyaf arddwys yn achosi i rym net gael ei roi yn ôl tuag at ganol y trap.

Diagram 3

Mae'r gronyn yn cael ei ddadleoli o ganol y paladr, gweler diagram 3, ac rydym yn ystyried pelydr golau ar ddwy ochr ein gronyn sfferig (gweler pelydr 1 a 2). Mae paladr 1 yn gwyro i'r dde sy'n golygu ei fod yn rhoi grym (F_1) ar y gronyn tuag at y chwith (oherwydd trydedd Ddeddf Newton). Mae paladr 2 yn gwyro i'r chwith sy'n golygu ei fod yn rhoi grym (F_2) ar y gronyn tuag at y dde (unwaith eto, oherwydd trydedd Ddeddf Newton). Fodd bynnag, mae grym F_2 yn fwy nag F_1 oherwydd bod y paladr yn fwy arddwys yng nghanol gwasg y paladr ac felly mae'r grym net tuag at ganol y paladr.

22

Felly y cyfan sydd angen ei wneud i symud ein gronyn bach yw symud y paladr laser ac mae'r gronyn yn symud yn y 'trap optegol'. Felly mae ein paladr laser wedi'i ffocysu yn gweithredu fel gefeiliau bach optegol. 23

Ymasiad Niwclear

Mae rhai o'r trefniadau mwyaf pwerus a chymhleth laserau lluosog a mwyhaduron optegol yn y byd yn cael eu defnyddio i gynhyrchu pylsiau dwys dros ben o olau sydd ag oes eithriadol o fyr. Mae'r pylsiau hyn yn cael eu trefnu fel eu bod yn taro pelenni o ddewteriwm-tritiwm o bob cyfeiriad ar yr un pryd, gan obeithio y bydd effaith gwasgu'r holl wrthdrawiadau yn achosi ymasiad atomig yn y pelenni. Hyd yn hyn, nid yw'r dechneg hon, sy'n cael ei galw'n "ymasiad cyfyngu trwy inertia", wedi llwyddo i gyrraedd y "trothwy adennill egni", h.y. hyd yn hyn mae'r adwaith ymasio yn cynhyrchu llai o bŵer na'r pŵer sy'n cael ei ddefnyddio yn y laserau. Fodd bynnag, mae ymchwil yn parhau ac mae techneg o'r enw 'taniad cyflym' sydd wedi'i chyflwyno'n ddiweddar, ynghyd â gwelliannau yn effeithiolrwydd laserau, yn golygu y gallai ymasiad cyfyngu trwy inertia fod yn fuddiol yn fuan. Wrth ystyried bod 10 mg o gymysgedd dewteriwm a thritiwm yn cynnwys yr un maint o egni â chasgen o olew (6 GJ) a bod y môr yn cynnwys tua 10^{16} cilogram o ddewteriwm a lithiwm (sy'n cael ei ddefnyddio i wneud tritiwm), efallai mai ymasiad niwclear laserau fydd ffynhonnell egni y dyfodol. 24