



Een leerlingpracticum quantummechanica voor minder dan € 30,-

Ben je bezig met quantummechanica in 6 vwo en vind je het lastig om een leerlingpracticum te laten doen? Wij hebben een leerlingexperiment ontwikkeld om de constante van Planck te bepalen waarbij de Arduino (zie kader) gebruikt moet worden. De kosten zijn daardoor beperkt. Een vergelijkbare demonstratieproef is ook te vinden in het NVON boek *Showdefysica* (Frederik et al., 2015)

De drempelspanning van een LED is een maat voor de elektrische energie die nodig is om een elektron in de valentieband te krijgen zodat de LED

gaat geleiden en licht gaat uitzenden. Is de spanning over de LED te laag, dan gaat het elektron niet naar de valentieband en zal er geen foton worden uitgezonden. Op het moment dat een LED net licht uitzendt, is de spanning over de LED gelijk aan de drempelspanning.

Verder is nog van belang dat bij LED's van verschillende kleur de drempelspanning verschilt. Door nu de drempelspanning van LED's met verschillende kleuren te bepalen (de golflengte van de LED is te vinden op internet of kan worden opgevraagd bij de leverancier), kan de constante van Planck bepaald worden omdat geldt: $E_{el} = q \cdot U = E_{foton} = h \cdot f$. Leerlingen kunnen bij deze proef de Arduino gebruiken als meetinstrument omdat met

de Arduino snel en nauwkeurig de drempelspanning gemeten kan worden. De proef is zo gemaakt dat kennis van programmeren voor de leerlingen niet nodig is.

De opstelling

De opstelling, schematisch en werkelijk, is gegeven in figuur 1a en 1b. De Arduino levert in dit geval een constante spanning van 5,0 V. De LED, de weerstand (220Ω) en condensator ($100 \mu\text{F}$) zijn in serie geschakeld. Je meet de spanning over de LED (de Arduino leest de spanning op dit punt uit en vergelijkt deze met de aarde). Deze is gelijk aan de drempelspanning aangezien de condensator kan opladen totdat de drempelspanning van de LED is bereikt. Omdat we niet met het oog



FREEK POLS is natuurkundedocent aan de Interconfessionele Scholengroep Westland (ISW) in 's-Gravenzande en is verbonden aan de TU Delft waar hij een promotieonderzoek uitvoert naar het gebruik van practica binnen de natuurkunde les. E-mail: freek.pols@nvon.nl



JEAN-PIERRE NELK is natuurkundedocent aan het Stedelijk Gymnasium Schiedam. Hij doet onder andere mee met de Shell-eco marathon. E-mail: j.nelk@stgs.nl

bepalen wanneer de LED gaat branden, kun je ook IR en UV-LED's gebruiken waardoor er meer metingen mogelijk zijn en het eindresultaat nauwkeuriger wordt. De Arduino kan spanningen tussen 0,0 en 5,0 V lezen met een 10 bit chip en is dan op 5 mV nauwkeurig.

De code

Voor de setup worden de variabelen die we gebruiken gedefinieerd. Ook laten we weten welke pinnen we gebruiken. In de setup geven we aan dat de computer praat met de Arduino en wel met een snelheid van 9600 keer per seconde. Ook laten we weten dan pin A0 een spanning meet en dus een input is. De loop wordt oneindig vaak herhaald. Het programma begint met het meten van de spanning op pin A0. Dit is niet meteen de spanning maar een getal tussen 0 en 1023. Dit getal wordt omgerekend naar de spanning en geprint zodat het zichtbaar wordt op de computer (Serial.print(spanning);). Op deze manier wordt voor iedere LED de drempelspanning bepaald. Het resultaat staat tabel 1.

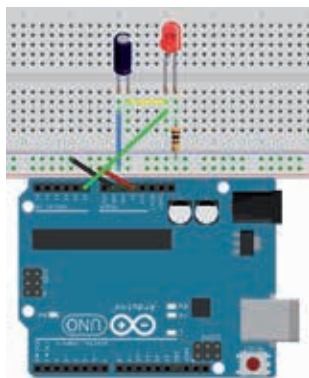
Vervolgens moet een ($f-U$)-diagram getekend worden. Uit de helling van de lijn is de constante van Planck te bepalen, want de helling van de lijn is gelijk aan h/q . Voor een volledig practicumvoorschrift kun je mailen naar een van de auteurs. fpols@hotmail.com of j.nelk@stgs.nl

Didactiek

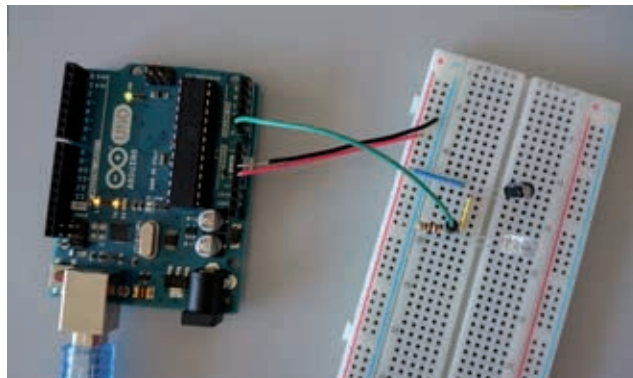
De uitvoering van de proef is voor leerlingen

	Golflengte	Frequentie	U_0
Kleur	(nm)	(Hz)	(V)
blauw	466	6,44E+14	2,31
groen	523	5,74E+14	2,04
oranje	603	4,98E+14	1,49
rood	623	4,82E+14	1,48
IR	940	3,19E+14	1,00

Tabel 1. Meetresultaten



figuur 1a: Het aansluitschema voor de Arduino gemaakt in Fritzing



Figuur 1b: De Arduino aangesloten

WAT IS EEN ARDUINO?

Een Arduino is een programmeerbare microcontroller die het mogelijk maakt om elektronica aan te sturen en uit te lezen. Op de computer schrijf je een code die je uploadt naar de Arduino. De Arduino voert het stukje code uit. Heel simpel gezegd kan een Arduino alleen een spanning van 0 of 5 V geven. Maar doordat je ook spanning tussen 0 en 5 V kunt meten (met een nauwkeurigheid van ~ 5 mV), is dit voldoende om vrijwel alle elektronische projecten uit te voeren. Zo zijn alle opdrachten met het systeembord te vervangen. De programmeertaal is redelijk eenvoudig en na een aantal lessen kunnen leerlingen en docenten zelf nieuwe scripts ontwikkelen. Wil je meer weten over het gebruik van de Arduino of meer ervaring opdoen in het gebruik van Arduino, kijk dan op: <http://www.boswell-beta.nl/workshop/arduino>

niet lastig. De code om de Arduino te gebruiken als voltmeter krijgen ze. De proef kan ook met een gewone voltmeter uitgevoerd worden, maar dat biedt minder mogelijkheden om uit te breiden met IR- en UV-LEDs. Het is belangrijk om de verbinding met de Quantum Mechanica te leggen: waarom werkt een LED zoals die werkt en hoe kun je hiermee de constante van Planck bepalen (Berg, v.d. & Beuning, 1994). Als je dat niet doet zal, nog meer dan bij andere proeven, de reden voor het uitvoeren van deze proef onduidelijk zijn en de leeropbrengst laag.

REACTIES VAN LEERLINGEN

Het was erg leuk om op deze manier dingen te meten. Pas toen we echt door kregen hoe een LED werkte, snapten we de proef.

Uitbreiding

De schakeling kan eenvoudig uitgebreid worden. Zo kan er met behulp van drukknoppen aangegeven worden welke LED (infrarood/rood/groen/blauw/UV) er gebruikt wordt. Met behulp van een transistor kunnen de

metingen ook geautomatiseerd worden. De data kunnen ook weggeschreven worden naar een SD-kaart als er een zogenaamde SD-shield gebruikt wordt in combinatie met de Arduino. De constante van Planck kan berekend worden door de Arduino en geprint worden op een LCD-scherm. Dit zijn slechts opties voor verdere uitbreiding want er is vast nog meer mogelijk. ●

LITERATUUR:

Frederik, I., Van den Berg, E., Te Brinke, L., Dekkers, P., Sonneveld, W., Spaan, W. & Van Woerkom, M. (2015). 'Showdefysica, natuurkunde laat je zien'. NVON Utrecht. Van den Berg, E. & Beuning, J. (1994). 'Practicum: leren ze er wat?', *NVOX* 19(6), 245-249.