

**INTRODUCTION TO MODERN PHYSICS  
TEST 2**

**66 pts total**

**Name:** (6pts)

**TA group:**

**Student ID:**

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

$$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{m/s}$$

$$\text{eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{J}$$

$$hc = 1.240 \cdot 10^{-6} \text{eV} \cdot \text{m}$$

$$m_{\text{electron}}c^2 = 0.511 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

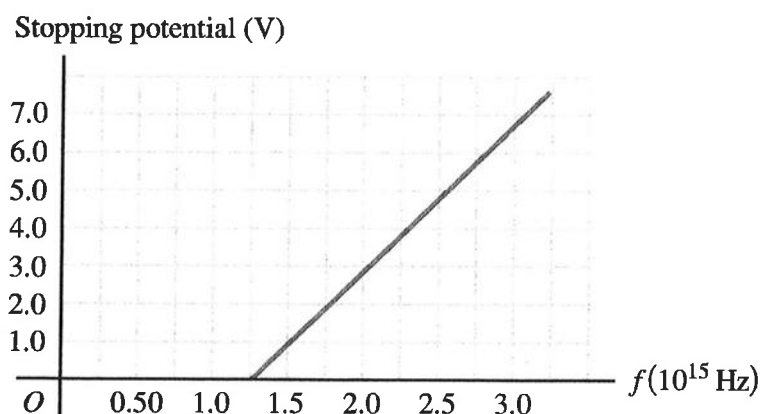
$$E_{\text{groundstate electron-hydrogen}} = -13.6 \text{ eV}$$

• **Problem 1: Photoelectric effect (15pts)**

The graph below shows the stopping potential as a function of the frequency of the incident light falling on a metal surface. The stopping potential is the counteracting potential needed to decrease the current of escaping electrons back to zero.

- Use the expression for the energy of photon in terms of its frequency to find the photoelectric work function for this metal. Express the answer in electron-volts.
- If a different metal were used, which characteristics of the graph (i.e. slope, intercept) would you expect to be the same and which ones would be different?
- In classical physics shining light on matter would heat it up. This would cause the average speed of the electrons in matter to increase, and as a result there is a finite chance that an electron can escape. All that matters is the energy transfer.

This is contradicted by the observation that the stopping potential becomes zero below a certain frequency of the incident light. Explain in words how the quantum concept of a photon explains the fact that the stopping potential becomes zero at a fixed frequency.



---

De grafiek hierboven laat het afrem-potentiaal (stopping potential) zien als een functie van de frequentie van invallend licht op een metalen oppervlak. Het afrem-potentiaal is het tegengestelde potentiaal dat nodig is om de stroom van ontsnappende electronen weer terug naar nul te brengen.

- Gebruik de uitdrukking voor de energie van een photon in termen van de frequentie om de photo-electrische work-function voor dit metaal te bepalen. Geef het antwoord in electron-volts.
- Als een ander metaal wordt gebruikt, welke karakteristieken van de grafiek (i.e. richtings-coëfficiënt, snijpunt) verwacht je dat hetzelfde zullen blijven en welke zullen veranderen?
- In de klassieke natuurkunde warmt invallend licht de materie op. Dit zorgt er voor dat de gemiddelde snelheid van de electronen in de materie omhoog gaat, en als gevolg is er een zekere kans dat een electron kan ontsnappen. Het enige wat telt is de totale energie-overdracht.  
Dit wordt tegengesproken door de waarneming dat het afrem-potentiaal naar nul gaat als de frequentie van het invallend licht minder dan een bepaalde waarde wordt. Leg in woorden uit hoe het quantum concept van het photon verklaart dat het afrem-potentiaal nul wordt op een bepaalde frequentie.

---

● **Problem 2** (15pts)

(*Conc. Mod. Phys. Ex 3.28*)

The lowest energy possible for a certain particle trapped in a certain box is 1.00 eV. [You may assume non-relativistic and one-dimensional motion]

- What are the next two higher energies the particle can have?
- If the particle is an electron, how wide is the box?

---

De laagst mogelijke energie voor een bepaald deeltje dat in een zekere doos opgesloten zit is 1.00 eV. [Je mag aannemen dat de beweging niet-relativistisch is en in één dimensie plaatsvindt.]

- Wat zijn de twee hieropvolgende hogere energieën die het deeltje kan hebben?
- Als het deeltje een electron is, how groot/breed is de doos?

---

● **Problem 3: Bohr Atom and atomic spectra** (15pts)

- Find the wavelength of the spectral line that corresponds to a transition in hydrogen from the  $n = 5$  state to the  $n = 2$  state. In what part of the spectrum is this (UV, visible, IR)?
- When radiation with a continuous spectrum is passed through a volume of atomic hydrogen gas whose atoms are all in the ground state, which spectral series will be present in the resulting absorption spectrum? State both the name and the quantum number.
- What is the essential insight in Bohr's model of the atom why quantum-mechanically electrons do not spiral in towards the nucleus? State the corresponding mathematical requirement on the orbits of the electron.

- 
- Vind de golflengte van de spectraal-lijn die correspondeert met een overgang in waterstof van de  $n = 5$  toestand naar de  $n = 2$  toestand. In welk deel van het spectrum is dit (UV, zichtbaar licht, IR)?
  - Wanneer straling met een continu-spectrum door een volume met waterstof gas passeert, waarbij de waterstof atomen allen in de grond-toestand zijn, welke spectraal-series zal in het resulterende absorptie-spectrum aanwezig zijn? Geef zowel de naam als het quantum-getal.
  - Wat is het essentiële inzicht in het Bohr model van het atoom waarom quantum-mechanisch electronen niet in een spiraal naar de kern toe vervallen? Geef de corresponderende wiskundige eis op de banen van de electronen.
-

● **Problem 4: Structure of a Virus: electron vs optical microscope (15pts)**

To investigate the structure of extremely small objects, such as viruses, the wavelength of the probing wave should be about one-tenth the size of the object for sharp images. But as the wavelength gets shorter, the energy of a photon of light gets greater and could damage or destroy the object being studied. One alternative is to use electron matter waves instead of light. Viruses vary considerably in size, but 50 nm is not unusual. Suppose you want to study such a virus, using a wave of wavelength 5.00 nm.

- a. If you use light of this wavelength, what would be the energy (in eV) of a single photon?
- b. If you use an electron of this wavelength, what would be its kinetic energy (in eV)?
- c. Does the answer explain why matter waves (such as in the electron microscope) are often preferable to electromagnetic waves for studying microscopic objects? Explain why.

---

Om de structuur van hele kleine objecten, zoals bvb virussen, te bestuderen, moet de golflengte van de inspectiegolf ongeveer een-tiende van de grootte van het object zijn om scherpe beelden te krijgen. Echter als de golflengte kleiner wordt, wordt de energie van een lichtphoton groter en zou het het bestudeerde object kunnen beschadigen. Een alternatief is electron-golven te gebruiken in plaats van licht. Virussen hebben een grote variatie in groottes, maar 50nm is niet ongebruikelijk. Stel dat je zo'n virus wilt bestuderen, met behulp van een golf met golflengte 5.00 nm.

- a. Als je licht met deze golflengte gebruikt, wat is de energie van een enkel photon (in eV)?
  - b. Als je een electron van deze golflengte gebruikt, wat is zijn kinetische energie (in eV)?
  - c. Verklaart het antwoord waarom materie-golven (zoals in een electronenmicroscop) vaak de voorkeur hebben boven electromagnetische golven om microscopische objecten te bestuderen? Leg uit.
-