

A diákolimpián két kísérleti feladatot kellett megoldaniuk a versenyzőknek. Az előző olimpiákhoz képest szokatlan volt, hogy a szervezők minden versenyző munkaasztalára egyszerre kikészítették mindkét kísérlet összes tartozékát és feladatszövegét, így a két feladatra együttesen rendelkezésre álló öt órát a versenyzők maguk osztották be. Mint utólag kiderült, szinte mindenki számára rövidnek bizonyult ez az idő.

Az első kísérleti feladat a polarizált fény optikai tulajdonságainak vizsgálatával foglalkozott, különös tekintettel a kettős törés jelenségére. A versenyzők a feladathoz egy darab polárszűrőt kaptak, amit analizátorként használhattak. A polarizált fényt egy lámpa fényének üveglemeze fölött történő visszaverődésével állíthatták elő. Az első részfeladatnak a polárszűrő áteresztési irányát kellett meghatározniuk és bejelölniük a polárszűrő fóliára. Ugyanennek a részfeladatnak a második alkérdése a polarizált fény előállítására szolgáló üveglemez törésmutatójára kérdezett. Ehhez önállóan kellett mérési összeállítást készíteni. A részfeladat szövegében a következőkben megfogalmazott mondat nyújtott elméleti segítséget: „Ha polarizálatlan fény esik egy üvegtömbre, a visszavert fény akkor lesz teljes mértékben lineárisan poláros, ha az i beesési szögre a következő összefüggés teljesül: $\operatorname{tg} i = n$, ahol n az üveg törésmutatója.” Ez lényegében a Brewster törvényt fejezi ki. Könnyen belátható, hogy ez a matematikai összefüggés akkor teljesül, ha a megtört és a visszavert fénysugár merőleges egymásra, ekkor maximális az egymásra merőleges polarizáció a megtört és a visszavert sugárban. Azok a versenyzők dolgoztak helyesen, akik a polarizátort kereszttezett helyzetben használták. Az emberi szem ugyanis sokkal érzékenyebb arra, hogy a fényintenzitás teljes megszűnését (minimumát) észlelje, szemben a teljesen áteresztő helyzettel, amikor az intenzitás maximuma jelenik meg a Brewster szögnél. A pontos érték $n = 1,51$ volt, ami arra utal, hogy az üveglemez közönséges üvegből készült. A törésmutató értékét a versenyzőknek 2%-on belüli pontossággal kellett meghatározniuk (3%-os hibáig fele pontszám járt erre a részfeladatra), míg a polarizációs irányt 2° pontosságon belül kellett megadni (3° -os eltérésig fele pontszám mellett fogadták el a megoldást). A versenyzőknek meg kellett adniuk a törésmutató hibáját is elfogadható érvelés alapján.

A következő részfeladatban a rendelkezésre álló eszközökből polarizációs készüléket kellett összeállítani kettős törő műanyagfóliák és lemezek merőlegesen beeső lineárisan polarizált fényben történő vizsgálatára. A kettős törésről a következő ismertetést olvashatták a résztvevők: „A kettős törő anyagok a fényt két komponensre bontják fel. Ezen komponensek elektromos rezgései két egymásra merőleges síkban mennek végbe; ezek a síkok határozzák meg a kettős törés tengelyeit. Ez a két hullám különböző sebességgel terjed az anyagban.” Ugyanennek a részfeladatnak a keretében átlátszó celofán lapot kellett a polarizációs készülékbe helyezni. A celofánon áthaladó fény polarizációs síkjának megfigyeléséből meg kellett határozni a kettős törés tengelyeit és ezeket bejelölni a celofánon. A versenyzők feladata volt továbbá a megfigyeléseik leírása és magyarázata is.

A harmadik részfeladatban cellux szalagból az 1. ábrának megfelelően lépcsőzetesen tíz réteget kellett egy üveglemezre ragasztani, majd az így elkészített lemezt a polarizációs készülékbe helyezni.

1988-11-406-1.eps

1. ábra

A versenyzőknek le kellett írniuk azokat a kísérleti körülményeket, amelyek színek észlelésére vezetnek, továbbá azt, hogy milyen módon változtathatók a színek, és röviden magyarázniuk kellett megfigyeléseiket. Ha a cellux csíkok iránya körülbelül 45° -os a beeső fény polarizációs irányával és az analizátort is úgy helyezük el, hogy annak áteresztési iránya szintén 45° -ot zár be a cellux csíkok irányával, akkor a ragasztószalag egyes lépcsőiről ragyogó színek sorozata jut a szemünkbe. Vegyük észre, hogy ezt az elrendezést kétféleképpen valósíthatjuk meg, a polárszűrő párhuzamos, illetve kereszttezett állása mellett. Megfigyelhetjük, hogy a két esetben ugyanazon a helyen megjelenő színek éppen egymás kiegészítő (komplementer) színei. A színek megjelenésének magyarázata, hogy a cellux anyaga is kettős törő tulajdonságú, benne a két sugár irány szerint nem válik szét, de terjedési sebesség és polarizációs irány szerint igen. Ezek a celluxból az optikai úthosszkülönbség miatt valamekkora fáziseltéréssel lépnek ki és adódnak össze. Általános esetben a kilépő rezgés elliptikusan poláros lesz. Az elliptikusan poláros fényből az analizátor az intenzitás egy részét periodikusan átengedi, más részét kiszűri bármilyen analizátorhelyzet esetén. Ez az eset nem vezet színek megjelenéséhez. Bizonyos frekvenciák esetén azonban olyan speciális fáziseltérés jön létre, hogy a kilépő két sugár eredője lineárisan polarizált hullám lesz. Könnyen megmutatható, hogy a lineárisan polarizált hullám polarizációs síkja a belépő nyaláb polarizációs síkjával megegyező, ha a fáziseltérés egy hullámhossznyi, vagy annak egész számú többszöröse, illetve arra merőleges, ha az optikai úthosszkülönbség a félhullámhossz egész számú többszöröse. Ez akkor teljesül, ha a celluxcsíkok iránya 45° -os szöget zár be a beeső fény polarizációs irányával, ahogy erről már az előzőekben említést tettünk. Ez azért előnyös, mert a celluxban az előállítás során alkalmazott húzás és hengerelés miatt a kettős törés polarizációs irányai a cellux csíkok hossztengelyével egyirányúak, illetve arra merőlegesek, így szimmetrikus lesz a celluxban a két polarizációs sík a beeső fény síkjára. Ha az analizátor párhuzamos állású, akkor azok a színek, amelyekre az optikai úthosszkülönbség λ egész számú többszöröse, felerősödnek, míg ha az úthosszkülönbség $\lambda/2$ egész számú többszöröse, az analizátor ezeket kioltja, tehát ezek kiegészítő színeit látjuk. Az analizátor 90° -os elforgatása után éppen a fordított helyzet jön létre, így magyarázatot kapunk arra, hogy ilyen elforgatás eredményeként miért látjuk az előző színek komplementereit. Ugyanabban a részfeladatban a versenyzőknek piros fólia segítségével „monokromatikus” fény előállításával is meg kellett vizsgálniuk a lépcsős cellux csíkot, majd a megfigyelések alapján megbecsülniük, mekkora a ragasztószalag egy rétegére eső optikai úthossz-különbség vörös fény esetén. A feladatot az előzőek alapján annak megfigyelésével lehetett megoldani, hogy egy kioltást követően hányadik rétegben következik újabb kioltás a

vörös fényre, vagyis egy fekete lépcsőt követően mikor találkozhatunk újabb fekete színű lépcsővel. A kettő között az optikai úthosszkülönbség éppen egy hullámhossznyi, ami vörös fény esetén $\lambda \approx 720$ nm. Ezt az értéket kellett elosztani a megfigyelt rétegszámmal, ami 3–4 réteg volt az adott ragasztó esetén.

Az utolsó részfeladat egy teljes felületet betöltő háromszögvonalzó középső tartományának vizsgálata volt a polarizációs készülékkel. A versenyzők feladata volt a lényeges optikai tulajdonságok leírása, megfigyeléseik elemzése, következtetések a vonalzó anyagának fizikai állapotára és a vonalzó gyártási folyamatára. A vonalzó segítségével olyan interferenciaképet állíthatunk elő, mint amilyen például a Budó–Mátrai: Kísérleti fizika III. kézikönyv 292. oldalon található 6. ábrája, amely arra utal, hogy a vonalzó anyaga optikailag egytengelyű és a vonalzó síkja erre merőleges. Nem tévesztendő össze ez a közismert feszültségoptikai képekkel, amelyek a vonalzó (és egyéb műanyag tárgyak) gyártási beöntési pontja körül keletkeznek. Ezt bizonyítja az is, hogy a vonalzót forgatva a kép nem változik. A magyarázatot az adja, hogy a divergens nyalábot alkotó sugarak számára a vonalzó rétegvastagsága más és más, továbbá a kettős törés miatt is különböző. Ebből adódik a létrejövő interferenciakép. A gyártási eljárásra vonatkozólag az egyenletes, feszültségmentes anyageloszlásra következtethetünk.

A második kísérleti feladat témája a termikus emisszió volt, a versenyzőknek egy egyenirányító elektroncső felületkezelt katódja wolfrám anyagának kilépési munkáját kellett meghatározniuk. A feladat szövegében a következő ismertetés szerepelt a témáról: „A fémekben levő elektronok általában még külső feszültség alkalmazása esetén sem képesek elhagyni azt a potenciálvölgyet, amelyben tartózkodnak (2. és 3. ábra).

1988-11-407-1.eps

2. ábra

1988-11-407-2.eps

3. ábra

Ha azonban a fém (vagyis a benne levő elektrongáz) melegítjük, a hőmozgás segítségével az elektronok átléphetik a „kilépési munkának” nevezett W energiagátat. Ha külső feszültséget kapcsolunk a fémre, ezek a termikusan aktivált elektronok elérhetik az anódot. Ebben az esetben elektromos áramot mérhetünk. Az egységnyi idő alatt aktivált elektronok száma csak a katód anyagától és hőmérsékletétől függ. Az viszont már a feszültségtől függ, hogy az összes kilépő elektron eléri-e az anódot vagy sem. Emiatt egy adott katód esetén a katód hőmérsékletének függvényében különböző telítési áramokat mérhetünk (4. ábra).

1988-11-408-1.eps

4. ábra

A telítési áram (vagyis az időegységenként kilépő elektronok száma) az alábbi (Richardson-egyenletnek nevezett) összefüggést elégíti ki:

$$I_s = CT^2 \cdot e^{\frac{W}{kT}},$$

ahol C egy állandó, T pedig a katód hőmérséklete kelvinben ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K).

Az első részfeladat négy megszámozott ellenállás értékének meghatározása volt, amelyhez a versenyzők 9 V-os elemeket, egy darab 1,5 V-os elemet és egy univerzális mérőműszert használhattak, de a műszert ohm-mérő üzemmódban nem használhatták. Rendelkezésükre állt egy-egy 47,5 Ω , 100 Ω és 1000 Ω értékű ellenállás 1 – 2%-os pontossággal. Azok jártak el célravezetően, akik a műszerrel csak feszültségeket mértek, és a megadott ellenállásokra eső értékeket hasonlították össze a kérdéses ellenállásokra jutó feszültségekkel megfelelő elrendezésekben.

A második részfeladatban a telítési áramot különböző katódhőmérsékletek, vagyis különböző fűtőáramok esetén kellett meghatározni. A fűtőáramot az ellenállások különféle kombinálásával szabályozhatták. A katód hőmérsékletének meghatározásához rendelkezésre állt egy kalibrációs grafikon, amely a katód anyagának fajlagos ellenállását ábrázolta a hőmérséklet függvényében. A méréshez a versenyzők azt használták ki, hogy nagyon kis fűtőáram esetén a katód anyagának hőmérséklete gyakorlatilag megegyezik a terem hőmérsékletével, amit a rendezők közöltek.

A harmadik, egyben utolsó részfeladatban kellett a Richardson-egyenlet alapján meghatározni a W kilépési munkát, leírva, hogy milyen lépéseket követtek ehhez. Ekkor lényegében azt kellett leírni, hogy milyen matematikai átalakítások vezetnek olyan alakra, aminek grafikus képe egyenes és így könnyen kiértékelhető. A szokásos módszer szerint az $\ln \frac{I_s}{T^2} \sim \frac{1}{T}$ ábrázolás ad egyenest, amelynek meredeksége $-W/k$. Más ábrázolások is célravezetőek lehetnek, ahol

például W a tengelymetszetben jelenik meg. Egyszerűen belátható például, hogy a fenti egyenlet $kT \left(\ln \frac{T^2}{I_s} \right) = -kT \ln C + W$ alakra hozható, vagyis a bal oldali tagot $(-kT)$ függvényében ábrázolva W a tengelymetszeten jelenik meg, míg a meredekség $\ln C$ lesz. Ezt a szokatlan módszert alkalmazta a magyar csapatból Drasny Gábor, aki erre a feladatára a maximális 10 pontból kilencet kapott.

A kísérleti feladatok általában sokkal rosszabbul sikerültek a magyar versenyzőknek mint az elméletiek, ami annak a következménye, hogy a Magyarországon túlságosan magas szintű kötelező fizika tananyag elméletének megtanítása mellett a tanároknak alig marad idejük tanítványaik kísérleti tudásának fejlesztésére.

Honyek Gyula