

AZ I. J. JAKOVLEV ÁLLAMI CSUVAS PEDAGÓGIAI FŐISKOLA IFJÚ FIZIKUSOK TANULÓKÖRÉNEK SZAKMAI TAPASZTALATAIBÓL

I. V. BUSEV—SZ. N. PROKOFJEV*

(Közlésre érkezett: 1972. december 1.)

Az I. J. Jakovlev Állami Csuvas Pedagógiai Főiskola fizikai tanszéke és a csebokszári tanulóifjúság kapcsolata nem újkeletű. Együttműködésünk kb. húsz évvel ezelőtt kezdődött, amikor a fizika iránt érdeklődők számára először rendeztünk vetélkedőt. A későbbiek folyamán, az évenként két-három alkalommal megrendezett fizikaverseny „holt” időszakában, tanszékünk dolgozói rendszeresen foglalkoztak a résztvevőkkel. A lelkiismeretes felkészítő munka kedvező tapasztalatai arra ösztönöztek bennünket, hogy megalakítsuk az ifjú fizikusok tanulókörét. Tíz évvel ezelőtt kezdtük el a szakköri munkát. A felső tagozatosokkal komoly szellemi erőfeszítést igénylő feladatokat oldattunk meg, s a tanulók havonként egy alkalommal előadást is hallgattak. Az utóbbi négy esztendőben a foglalkozások jellege megváltozott. Az előadások témája már nem kapcsolódott a tankönyvek anyagához. A 9. osztályosok mechanikai alapismereteket, a tizedikesek az elektromágnességet és a relativitáselméletet tanulmányozták, így a foglalkozások anyaga több vonatkozásban eltért a fizikatagozatos osztályok tananyagától.

Az ifjú fizikusok tanulókörében október elejétől május közepéig folyik az oktatás. A tanítási szünapokon nem tartunk órát. Egy tanévben 28—30 alkalommal találkozunk kétórás foglalkozások keretében. Vendégeket mindig szívesen látunk, s a szakkör munkájába az év folyamán bármikor be lehet kapcsolódni. Tapasztalataink szerint, októberben és novemberben általában 60—90-re tehető a kilencedikes és tizedikes szakköri tagok száma. A következő hónapok során a foglalkozások látogatottsága fokozatosan csökken. A tanév utolsó három hónapjában már csak 15—20 tanulóval dolgozunk. Az órák látogatását igazoljuk. Azok a 9. osztályosok, akik az előző tanévben rendszeresen részt vettek a foglalkozásokon, a következő tanévben már a 10. osztály anyagával ismerkednek meg. Az ifjú fizikusok tanulókörének résztvevői hazánk tekintélyes felsőoktatási intézményeibe nyernek felvételt. Vélményünk szerint már

*A szerzők az Állami Csuvas Pedagógiai Főiskola (Csebokszari) tanárai.

azok is nagy hasznát látták a szakköri munkának, akik csak egy-két alkalommal látogatták a gyakorlati foglalkozásokat.

Az ifjú fizikusok tanulókör metodikája a következő. Először 45 perces új ismeretet közlő előadást hallgatnak a kilencedik és tizedik osztályosok. Tízperces szünet után az előadás anyagára épülő, feladatokat megoldó óra következik. Az irányító és szervező munkába főiskolánk tudományos diákkörének legjobb hallgatóit is bevonjuk: részt vesznek a foglalkozások előkészítésében, a kísérletek lebonyolításában. Az ifjú fizikusok tanulókörben tanulmányozandó anyag gazdagítja, szélesíti, pontosabbá teszi a fizikaórákon, az általános és középiskolai tagozatos órákon szerzett ismereteket.

Célunk az, hogy alapvető fizikai szakműveltséget adjunk, a lehetséges tanulóira felfigyeljünk és képességeit rendszeresen és hatékonyan fejlesszük. A végzős hallgatók, segítő munkájuk során, pedagógiai tapasztalatokra tesznek szert, s ez is hozzájárul ahhoz, hogy a főiskola elvégzése után ők maguk is vezessenek fakultatív kurzusokat az iskolában. Az ifjú fizikusok tanulókörének tantervét a tanszék adjunktusai, a cikk szerzői állították össze. A 9. osztály tantervét I. K. Busev, a 10. osztályét Sz. N. Prokofjev készítette. Amint már ezt említettük, ők vezetik a foglalkozásokat is a tanterv alapján, a végzős hallgatók bevonásával.

A tantervet az alábbiakban ismertetjük.

A 9. osztályosok tanterve. A mechanika alapjai

A fizika alapjai c. fejezet fő feladata: természetes úton, segédeszközök felhasználása nélkül összegezni a modern fizika, főleg a mechanika alapjait, kiemelve a klasszikus fizika értékeit, fontosságát, megértetni módszereit, eredményeit, s azokat a gyakorlatban meg is valósítani. Ahhoz, hogy a fenti problémákkal sikeresen meg tudjunk birkózni, tanulóinkat feltétlenül meg kell ismertetnünk egy sor olyan kérdéssel, amelyeket a középiskolai tanterv nem érint. A fenti kurzus anyagát és tárgyalási sorrendjét a következőkben összegezzük.

A fizika történeti fejlődésének áttekintése, szakaszai, problémái és megoldásuk

A mechanikus mozgás. A mozgás fajtái. Az anyagi pont. Leolvasási rendszerek. A mozgó pont. A tér és idő fogalma, homogén volta. A mozgó pont viszonylagossága. A mozgás ábrázolása. Vektor- és skaláris mennyiségek. Súlyhatárok. A mozgás és a sebesség mint vektor. A sebesség fizikai és geometriai értelmezése. A gyorsulás. Gyorsulás görbe vonalú mozgás esetén. Az egyenes vonalú és forgómozgás alapvető kinematikus (ki)jegenlítői.

A mozgás problémája. A kérdés története. A tehetetlenség. Galilei munkái. Newton törvényei mint mechanikai feladatokat megoldó mód-

szer. A törvények dinamikai mennyisége és fizikai értelmezése. A módszer felhasználása konkrét dinamikai feladatok megoldására. A feladatok megoldása során külön figyelmet szentelünk a mozgás működő erőinek és kiegyenlítőinek összetevőire. Zárt rendszerek. Az impulzus megőrzésének törvénye. Változó tömegű testek mozgása. A reaktív erő. Rakéták. Sajátosságai. Kozmikus repülések. Ciolkovszkij munkássága. Az energia-megmaradás törvénye.

A relativitás elméletének alkotórészei. A modern fizika kapcsolata a hagyományos fizikával.

A forgómozgás dinamikájának alapjai

Bizonyítandó, hogy bármilyen szilárd test bonyolult mozgását úgy lehet szemlélni, mint belépő mozgásokat, s azok tengely körüli forgásaik összességét. A giroszkóp. A giroszkóp tengely körüli forgása. A giroszkopikus hatás és felhasználása a modern technikában. Galilei képLETEINEK ÁTALAKÍTÁSA.

Galilei relativitásának elve. Abszolút és relatív sebesség. A sebességek összeadásának törvénye. Anyagi pont relatív mozgási egyenletének felállítása. Ehhez elengedhetetlenül szükséges Newton második törvénye.

Egy sor feladat megoldása (gyorsuló mozgást végző vagon, lift . . . stb.). Minden feladatot kétszer oldanak meg a tanulók. Az egyik alkalommal a viszonylag tehetetlen mozgást vizsgáljuk (a Föld felszínéhez viszonyítva), máskor a nem tehetetlen rendszereket (gyorsuló mozgást végző vagon, lift . . . stb.). A gyorsuló mozgást végző lift példája alapján a tanulók megértik a testek súlyát, a súlytalanságot.

A Coriolis földi erő és a tehetetlenségi centrifugális erő problémája. A test súlyának és térfogatának összefüggése. Mozgó testek elmozdulása (légtömegek, víz is) a Földön, mesterséges bolygók, súlytalanság. A tapasztalat azt mutatja, hogy a tehetetlenségi erő fogalmának megismerése után a tanulók könnyebben oldják meg a forgómozgással kapcsolatos feladatokat.

A 10. osztályosok munkaterve Elektromágneses mező és a relativitáselmélet

Az előadásokon bemutatott kísérletek alapján tudatosítjuk Maxwell alapvetően fontos egyenleteinek fizikai tartalmát, integrált formában. Ilyen módon szerzik a tanulók újabb elektromosságtani ismereteiket, mintegy az iskolai tananyag kiegészítéseképpen. Például az egyenlő mértékben feltöltött, végtelen síkú elektrosztatikus mezőkkel, végtelenített, egyenes vonalú vezetón folyó egyenáramú mágneses mezőkkel, mágnes-tekerccsel, elektromos hullámok síkoszcillátorral történő sugárzásával stb. ismerkednek meg.

E rövid bevezető után, amely keretében a tanulók áttekintették a tematikát, a foglalkozások jellegét, néhány történeti adatot, az elektromos

töltést mint mennyiséget vizsgáljuk meg. Ebből a célból, saját készítésű elektrosztatikus mérleg segítségével lemérjük egy kis feltöltött golyó kölcsönhatási erejét.

Fontos anyagrész a tantervben a vektoráramlás felületi áramlása. Megadjuk az áramerősség vektorának meghatározását. A két vektor skaláris szorzatának megállapításához megadjuk a matematikai adatokat. A következő mechanikai példára hivatkozunk: munkaerő egyenlő a vektor erejének és a vektor mozgásának szorzatával. Bevezetjük a területvektor fogalmát. Arra a következtetésre jutunk, hogy a vektoráramlás egyenlő a térvektor és ugyanezen vektor szorzatával.

Aztán az elektromosság megmaradásának törvényét vizsgáljuk. Megadjuk a törvény matematikai jelölését: zárt felszínen (felületen) folyó áram erőssége egyenlő a belső térfogat egy időegység alatti töltésvesztésével (folytonossági törvény). Megismertetjük a tanulókat az elektromos mező indukciójának vektorfogalmával, amelyet a fémlemezekben indukált töltés nagysága (mennyisége) alapján határoznak meg. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a gömb külső felszínén indukált töltés egyenlő az elektromos mező indukciójának vektoráramával, az alábbi következtetésre jutunk: az elektromos mező indukciója vektoráramának zárt rendszerben történő áramlása egyenlő a felszín alatti töltéssel vagy töltések összegével; a töltés változása a számításhoz nem játszik szerepet.

Eljutottunk Maxwell egyik legfontosabb egyenletéhez.

Az elektromos mező indukciós vektorának és feszültségvektorának kapcsolatát a $\frac{\text{coulomb}}{\text{m}^2}$ megméréndőben vizsgáljuk, amelyet a tizedikesek iskolai tanulmányaik során már $\frac{V}{m}$ formában megismertek. A fenti

Maxwell-tételt azonban másképpen is értelmezhetjük: az elektromos mező zárt felszínén folyó vektoráram vákuumban egyenlő a zárt felszín egyenáramtöltésének hányadosával.

Megjegyezzük, hogy néha a felszínen keresztül folyó vektoráram helyett a vektor vonalainak számáról beszélnek, amelyek ugyanezen a felszínen haladnak át, sőt a vonalak számát az elemzendő vektorárammal egyenlőnek fogják fel.

A fenti Maxwell-egyenlet segítségével kiszámítjuk a ponttöltés elektromos mezőit, amely térfogatát tekintve megegyezik a golyó töltésével. A pontszerű, nem mozgó töltés mezőinek kiszámítása során eljutunk Coulomb törvényéhez. Megjegyezzük, hogy a Coulomb-törvényt felhasználva le lehet vezetni a Gauss-törvényt is, amely a Maxwell-egyenlet konkrét megtestesítője, nemcsak elektrosztatikus, hanem változó mezők esetében is.

A következőkben áttérünk a mező elektromos erőinek vizsgálatára. Megismertetjük tanulóinkkal a vektor cirkulációja műszót, konkrét példa alapján.

Bebizonyítjuk, hogy az elektromos mező feszültségi vektorának cirkulációja bármely zárt áramkör esetében egyenlő nullával, vagyis az elektrosztatikus mező potenciális mező, mivel ellenkező esetben örök-

mozgót lehetne létrehozni, amely a munkát vagy energiaveszteség nélkül, vagy a környezet hőjének felhasználásával végezné. Ez, természetesen lehetetlen.

Rátérünk az egyenáram vizsgálatára. Megállapítjuk, hogy az elektromos mező állandóságának a töltések egyenletes eloszlása az oka. Az állandóság egyenletét felhasználva azt is megállapítjuk, hogy egyenáram esetén a zárt felületen átfolyó áram erőssége nullával egyenlő. Ebből következik, hogy az egyenáram láncolata mindig zárt, s a szétágazó csomópontokból kifolyó áramerősség algebrai összege egyenlő nullával. (Kirchhoff I. törvénye.) Megjegyezzük, hogy az egyenáram állandó mezejének potenciális jellege van. Az egyenáram láncában, az állandó elektromos mező cirkulációja vagy elektromos ereje egyenlő nullával, ehhez azonban feltétlenül szükséges az idegen (külső) elektrosztatikus erők jelenléte is.

Az elektromágneses erő jelenségét vesszük vizsgálat alá. Az elektromos erő nem függ az áramkör anyagától. Ezt egy indukált tekercsel bizonyítjuk, amelyen két egyenlő számú, de különböző ellenállású tekercselés van (például rézhuzal és króm-nikkel ötvözet). Ha a króm-nikkel tekercshez képest viszonylag kis ellenállású galvanométer segítségével megfigyeljük az indukált áram impulzusait, megváltoztatva a tekercselésen áthaladó mágnesáramot, kiderül, hogy a réztekercsben indukált áram impulzusa sokkal nagyobb, mint a króm-nikkelben keletkezetté. Ha pedig összekapcsoljuk a tekercseket úgy, hogy a keletkező elektromotoros erők egymással szembe áramoljanak, akkor az indukált áram impulzus nélkül marad. Ez azt is bizonyítja, hogy az indukció elektromos ereje nem függ az áramkör anyagától. Aztán arra a következtetésre jutunk, hogy bármilyen nagy is az áramkör ellenállása, a mágnesáram periodikus változtatásával, benne indukciós elektromos erő keletkezik. Az indukció elektromos ereje nem más, mint az elektromos mező nem potenciális (örvénylő) feszültségi vektorának cirkulációja. Az ilyen örvénylő elektromos mezők felhasználása betatronokban történik az elektronok gyorsítása céljából.

Ilyenformán, Faraday elektromágneses indukciójának törvénye elvezet bennünket Maxwell II. egyenletéhez: az elektromos mező feszültségének cirkulációja bármely áramkörben egyenlő a felszínen áthaladó mágnesáram sebességváltozásának ellenkező előjelével.

A mágnesáramlást megmérhetjük elektromágneses milliweberméter segítségével, az elektromágneses indukció törvénye alapján. Bevezetjük a mágnesmező indukciós vektorának fogalmát, amelynek felületi áramlását fentebb röviden mágnesáramnak neveztünk. Emlékeztetjük a tanulókat az indukció mágnesvonalaira, amelyekkel korábbi tanulmányaik során már megismerkedtek. Valamely felületen áthaladó indukcióvonalak száma feltételesen egyenlő az ugyanezen felszínen áthaladó mágnesmező indukcióvektorával.

Ezen az úton eljutunk Maxwell II. egyenletéhez is, amely szerint, a zárt rendszerben (felszínen) folyó mágnesmező indukciójának vektorárama mindig nullával egyenlő. Az áramkör feszültsége eközben nem változik, s ha mégis, akkor téves eredményhez jutunk. A tanulókat meg-

ismertetjük V. F. Mitkevics akadémikus kísérletével, amelynek leírását a „Mágnesmező és átalakítása” c. könyvének 83. oldalán találjuk meg. (Изд-во Академия Наук СССР, 1946). Egy analogikus kísérletet ír le Fejnmanov is (6. kötet, 54. old. Изд-во „Мир”, Москва, 1966).

V. F. Mitkevics akadémikus 1901-ben végzett kísérletéhez egy mágnesárammal telített vasgyűrű szükséges. A gyűrűt szigetelt vezetékből készített egyenletes tekercseléssel látjuk el, s egyenáramot bocsátunk rá. A kb. egy cm szélességű réz- vagy alumínium pólusokból olyan zárt áramkört hozunk létre, amely magában foglalja a gyűrűt és a tekercset is. A keletkezett mágnesáram a vasgyűrűn és a tekercseléstől elszigetelt áramkörön halad keresztül. A váltóáramú zárt áramkör nem érintkezik a vasgyűrű mágnesáramával. Aztán, nem nyúlva az áramkör érintkezési pontjaihoz, kapcsolatba hozzuk a vasgyűrű mágnesáramának zárt zónájával, majd a pólusokat a zárt zóna külső ellentétes oldalai mentén csúsztatjuk, először eltávolítjuk, majd közelítjük egymáshoz. Az egymással újból érintkezésbe lépett pólusokat ismét eltávolítjuk a zárt fémzónától. Ennek eredményeképpen, a vasgyűrű mágnesárama áthalad a váltóáramú zárt áramkörön, de semmilyen elektromotoros indukciós erő nem keletkezik. Tehát, az elektromágneses indukció fenti törvénye itt nem érvényesül. Kiegészítésképpen megjegyezzük, hogy V. F. Mitkevics akadémikus, kísérletének végzése során tekercselt vasgyűrű helyett egy kb. 100 kg súlyú nagy teljesítményű állandó mágneset használt. Az elektromágneses indukció fentebb vizsgált törvénye nem ad választ arra a kérdésre sem, hogy milyen indukciós elektromos erő keletkezik.

A tanulókat elvezetjük az elektromágneses indukció törvényének másik formájához, amely alkalmas a váltóáramú áramkörök magyarázatára: az áramkörben keletkező indukció elektromotoros ereje egyenesen arányos az áramkör felületének hosszával, a mágnesmező indukciójának és mozgásának sebességével. Így eljutunk Amper törvényéhez, a Lorenz-féle erőhöz és a mezők viszonylagosságának kérdését is érintjük. Bemutatjuk Faraday korongkísérletét, amelyhez egyszerű unipoláris generátort használunk fel. A generátor réztekercse forgásba jön az elektromágnes pólusai között, méghozzá úgy, hogy a galvanométerhez kötött egyik kontaktus lemez a tekercs szélét, a másik pedig a tengelyét érinti.

Végül Maxwell utolsó egyenletének tárgyalása következik. Rogovszkij zónaelméletét és az elektromágneses indukció jelenségét felhasználva, megállapítjuk a mágnesmező indukciós vektor-cirkulációja és a cirkuláció alapját képező felületi egyenáram közti arányosságot. (Rogovszkij elméletét „Kísérletek, fizikaelőadások” c. könyvében találjuk meg. Szerkesztette V. I. Iverova, Изд-во „Наука”, 1965). Az arányossági szorzó az állandó mágnesáram lesz. Új értéket vezetünk be, a mágnesmező feszültségi vektorát, amely körforgása bármely egyenáramú mágneses áramkör esetén egyenlő a felületi áramerősséggel. Az áramkör felülete különböző formájú is lehet.

Kiszámítjuk a lineáris áram mágneses mezejének feszültségét. A H egységnyi rendszerben született amper-meghatározásból kiindulva, meghatározzuk a mágneses erő állandó értékét is. A váltóáramú mágnesmező feszültségének körforgása egy-egy időegység alatt meghatározott

mennyiséget képvisel, s általában nem egyenlő a felszíni cirkulációval. Az elektromosság megmaradásának törvényét felhasználva bebizonyítjuk, hogy egy adott áramkör felületén az áram vezetőképességének és -eltérésének összege azonos értékű. Itt utalunk Maxwell egyenletére, amely szerint a mágnesmező feszültségének körforgása egyenlő az áram vezetőképességének és -eltérésének összegével. Példaként a váltóáram mezőit vizsgáljuk meg.

Összegezzük Maxwell négy egyenletét, és a továbbiakban az elektromágneses hullámok sugárzásának kérdését vizsgáljuk síkoszcillátor segítségével (vö. pl., Feinmanov „Fizikaelőadások” 6. kötet). Meghatározzuk az elektromágneses hullámok sebességét, az elektromos állandó erő értékét. A sugárzást konkrét példán keresztül szemléltetjük, majd Maxwell energiamegmaradásának törvénye elvezet bennünket *Poyting* vektorának meghatározásához. Kísérleteket végzünk háromcentiméteres elektromágneses hullámokat előállító generátorral.

Ezzel befejeztük az elektromágneses mező tanulmányozását, s átérünk a relativitás elméletének ismertetésére.

Az előadások tematikája

Galilei relativitáselmélete. Maxwell egyenletének tehetetlenségi rendszere. A fény sebessége mint Maxwell egyenletének konstansa, Michelson kísérlete. Einstein relativitáselmélete és a fény sebessége. Az óra járásának szerepe a leolvasási rendszerben. A mozgás irányával párhuzamos hosszúságok összehasonlítása. Az órák szinkronizálása. Lorenz törvényének átalakítása. A relativitáselmélet sebességeinek összeadása, ill. törvénye. Tér- és időintervallum. A relatív dinamika elemei. A tömeg és az energia kapcsolata. Kinetikus energia a relativitáselméletben.

Tanulmányunk befejezéseként az ifjú fizikusok tanulóinak értékelő megjegyzéseiből kívánunk néhányat közreadni (1969—70-es tanév).

B. és M., a hatos iskola kilencedik osztályos tanulói, írják: „...A foglalkozásokon sok újat és érdekeset tanultunk meg, így megértettük, hogy mennyire *vonzó* is lehet a fizika. Korábban azt hittük, hogy az egyik »rossz« tárgy csupán. Az ifjú fizikusok szakkörében, a kiegészítő foglalkozások során sikerült mélyebben megismerkedni a tantervi anyaggal is.” I., a négyes iskola tizedikes tanulója: „Elsősorban azért tartom hasznosnak ezeket az órákat, mert több olyan részletkérdésre, apróbb problémára is választ adnak, amelyek az iskolában talán válasz nélkül maradtak volna.” T., a tizennégyes iskola tizedik osztályos tanulója: „Számomra is nagyon hasznos volt ez a kurzus. Úgy érzem, hogy már nem vagyok olyan gyenge fizikából, mint októberben, s így örülök, hogy a szakkör tagja lehettem.” N., a harminckettes iskola tizedikes tanulója: „Az ifjú fizikusok tanulóikörébe már kilencedikes koromban is rendszeresen jártam. Kedvenc tárgyam a fizika, s mivel itt sokkal több kísérletet láttam, mint az iskolai órákon, többet tanultam. A foglalkozások nagymértékben hozzájárultak fizikai ismereteim bővítéséhez.”