

A ROBBANÓANYAGOK INICIÁLÁSA FOLYADÉKLEZERREL

*Papp József okl. fizikus, kiemelt mérnök
(Bányászati Kutató Intézet, Tatabánya)*

A tanulmány ismerteti a robbanóanyagok közvetlen iniciálásának gondolatához vezető kísérleteket, a szerző építette folyadéklezeres iniciáló berendezést, az elvégzett iniciálási kísérletek eredményeit és az azokból levonható következtetéseket.

Végül bemutatja a Bányászati Kutató Intézetben kidolgozott különleges gyutacsot.

A kutatás előzményei

1965-ben robbanási színhőmérsékletek mérésére egy optikai pirometrián alapuló módszert dolgoztunk ki. Méréseink során a por alakú robbanóanyagok színhőmérséklete jóval nagyobbak adódtak a vártnál. Ezért elhatároztuk, hogy kísérletekkel vizsgáljuk a kondenzált robbanóanyagok robbanásának folyamatát. A kísérletek során az alábbi módszereket alkalmaztuk:

Robbantási próbák. Öntött és porrá tört TNT indíthatóságát vizsgáltuk levegő és argon atmoszférában úgy, hogy a töltény mellé vörösréz csövet tettünk. Ennek összenyomhatósága jellemezte a detonációt.

Robbanási színhőmérsékletek mérése. Különböző robbanóanyagok színhőmérséklet- idő görbéit vettük fel az általunk készített fotoszorosozós pirométerrel.

A robbanási sugárzás spektrális eloszlásának felvétele. A szovjet gyártmányú, SZFR betűkkel rövidített nagy sebességű fotoiregisztrálóra spektroszkópot

építettünk, és meghatároztuk por alakú, valamint dinamit típusú robbanóanyag robbanás közbeni sugárzásának időbeli változását.

A kísérletekből az alábbi következtetéseket lehet levonni:

A robbanási folyamatra jelentős befolyást gyakorol a robbanóanyag pórusaiba bezárt gáz mennyisége, minősége és eloszlása, azonban szerepe nem lehet kémiai.

- A robbanási folyamat beindulásához olyan mértékű gócképződés szükséges, hogy a reakcióenergia megfelelő része pótolni tudja – a lökőhullám áthaladási ideje alatt – annak energia veszteségeit.
- A szükséges gócok száma a Q felszabaduló energia és az E energia viszonyától függ.
- Kis Q/E viszonyszámú robbanóanyagok esetén kellő számú góc kialakulásához, hacsak nem tételezünk fel rendkívül erős indítást, szükséges a gázbuborékok jelenléte.
- A robbanási gócok zömét a bezárt gáznak a lökőhullám hatására bekövetkező lumineszkálása hozza létre.

Az eredmények alapján kialakított elképzelésünk a robbanóanyag iniciálódására nem egyezik meg pontosan egyik jelenleg elfogadott hipotézissel sem, azonban tartalmazza azok egyes elemeit. Elképzelésünk lényegében a gázokra vonatkozó *Sänger-féle* hipotézist alkalmazza a kondenzált robbanóanyagra, azonban nem tételezi fel a robbanóanyag elgőzölgését a lökőhullám hatására, hanem a robbanóanyagba bezárt gázok lumineszkálását tekinti a gócok kialakulása forrásának.

A közvetlen iniciális hipotézise

Az előző fejezetben ismertetett kutatások alapján arra a következtetésre jutottunk: szekunder típusú robbanóanyagok iniciálódásában döntő szerepe van

a primér lökőhullám által létrehozott fotonoknak. Röviden: *az iniciálást a fotonok viszik tovább.*

Amennyiben ez a következtetés helyes, *a robbanóanyagoknak tisztán fotonbesugárzás hatására iniciálhatónak kell lenniök.* Csupán megfelelő sugárforrás szükséges hozzá. Kérdés, milyen legyen ez a sugárforrás?

Mindenekelőtt az iniciáláshoz megfelelő energiával kell rendelkeznie. A robbanás kialakulásához ugyanis kellő számú góc szükséges. (Ha nem így volna, nem létezne stabil robbanóanyag, hiszen néhány góc a kozmikus sugárzás, a hőmozgás stb. miatt mindig van.)

A szükséges iniciáló energiát három különböző úton is megbecsültük: színhőmérséklet méréseink alapján, a gyutacs 1 mm^2 -re jutó energiája alapján és az 1 mm^3 robbanóanyagból felszabaduló energia alapján. A becslések szerint a szükséges energiasűrűség kb. 1 joule/mm^2 .

Az iniciáló hatásnak rövidnek, a lökőhullám áthaladásával azonos idejűnek kell lennie. Ebből következik, hogy a besugárzási teljesítménysűrűségnek $0,1\text{-}1 \text{ MW/mm}^2$ -nek kell lennie.

Feltehető, hogy az iniciálásban nem mindenfajta foton vesz egyformán részt, vagyis az iniciálás hullámhossz szerinti szelektivitást mutat. Ezért szükséges az iniciálhatóság hullámhossz függésének vizsgálata is. Ezek a feltételek normális fényforrásokkal nem teljesíthetők. *A megoldást az utóbbi években megjelent folyadéklézer alkalmazása jelentette.* Ennek beszerzése azonban igen nehéz – mivel még csak kísérleti példányok léteznek – és igen költséges. Ezért Intézetünkben 1971-72-ben elkészítettünk egy színezéssel működő folyadéklézert.

Szerves színezékek generálása

A szerves színezékek elektron vibrációs nivói degeneráltak, azaz több alnivóra hasadnak fel. Így spektrumuk sávós. A mondottak vonatkoznak a

tiltott átmenetekre is, tehát a folyadékoknál több alnívó esetében létrejöhet az indukált átmenet. Ha valamelyik átmenethez tartozó hullámhosszra teljesül a lézerezés feltétele, a gerjesztett folyadékból lézersugár lép ki.

Jelöljük a gerjesztő sugárzás frekvenciáját ν_g -vel, az alapszintek közötti emissziós frekvenciát ν_e -vel, akkor az erősítési tényező valamely ν frekvenciára:

$$k(\nu) = \chi(\nu) \left[\frac{n_2}{n} - \frac{n_1}{n} * e^{-h(\nu_e - \nu) * (kT)^{-1}} \right] \quad (1)$$

ahol n_1 az alsó nívón levő molekulák száma cm^3 -enként,

n_2 a felső nívón levő molekulák száma cm^3 -enként,

$$n = n_1 + n_2,$$

$$\chi(\nu) = \sigma(\nu) * n \text{ a határerősítés,}$$

$$\sigma(\nu) = \text{a határerősítési keresztmetszet.}$$

Ha $n_2 = n$, $k(\nu) = \chi(\nu)$, az erősítés tehát ν és n_2 függvénye. Ha a festéket ν_g monokromatikus fénnel gerjesztjük

$$\frac{n_2}{n} = \frac{e^{h(\nu_g - \nu_{Ae}) * (kT)^{-1}}}{\frac{A_{21}}{\eta B(\nu_g) * U_g} + 1 + e^{h(\nu_g - \nu_e) * (kT)^{-1}}} \quad (2)$$

Itt A_{21} a spontán átmenet átlagos gyakorisága, $B(\nu_g)$ az *Einstein-féle* abszorpciós együttható, η a lumineszcencia kvantum-hatásfoka, U_g a gerjesztő sugárzás sűrűsége. (Ha U_g nagy és $(\nu_g - \nu_e) \gg kT$, $n_2 \approx n$, tehát a gerjesztés közel optimális.)

A (2) összefüggés matematikai vizsgálatból a tipikus színezékre az alábbi következtetések vonhatók le:

- minden U_g -hez tartozik egy optimális ν_g ;
- ha nő az U_g , nő az erősítés;

- ha nő az U_g , az erősítési sáv a nagyobb frekvenciák felé tolódik;
- a legalkalmasabb gerjesztő frekvencia közel esik az abszorpciós maximumhoz.

Ha a gerjesztendő anyagot k_v veszteségű rezonátorba helyezzük és a rezonátor vesztesége szelektív, a generálási frekvenciát a rezonátor szelektivitása határozza meg.

A mondottak alapján tehát ha a színezékoldatot elegendő energiájú kevert sugárzással pumpáljuk és olyan rezonátorba helyezzük, amelynek szelektivitása változtatható, akkor a színezékből kilépő sugárzás bizonyos határok (egy színezékre kb. 40 m μ) között változtatható. Több festék oldatával vagy ezek keverékével az egész spektrum lefedhető.

Az iniciáló berendezés elvi felépítése

Az iniciáló berendezés elvi felépítését az 1. ábra mutatja.

A rendszer működése a következő: 1 nagyfeszültségű tápegység 10-20 kV-ra tölti a 4*3,5 μ F-os 2 impulzus kondenzátort. Az 1 tápegységben elhelyezett szinkronizáló berendezés segítségével a kondenzátorok feszültségét a szükséges pillanatban rákapcsoljuk a 3 villanó csövekre. Ezek fényét a 4 elliptikus tükrök az 5 színezékoldattal töltött küvettára koncentrálnak. A küvettából kiinduló indukált lézersugárzást egyik oldalon a 6 totálreflektáló prizma veri vissza, másik oldalon a 7 speciális *Littrow prizma* részben színeire bontva visszaveri, részben kicsatolja. A kicsatolt lézernyaláb a 8 jelű 45°-os prizma jut, amely az energia egy kis hányadát a 9 energiamezőre juttatja. Az energia nagy részét a 10 lencse a 11 robbanóanyagra fókuszálja. A robbanóanyag (11) a 12 robbantókamrában van elhelyezve. A kamra belseje *Ulbricht-gömbként* van kiképezve, és bárium-szulfáttal van bevonva, így megvilágítottsága arányos a robbanóanyagról reflektált energiával. A reflektált energiát a 13 energiadetektor méri.

Az átlátszatlan robbanóanyagra eső sugárzás egy része abszorbeálódik, egy része pedig visszaverődik a robbanóanyagról. Ha a beeső lézernyaláb energiája E , a reflektált energia R , akkor az abszorbeált energia.

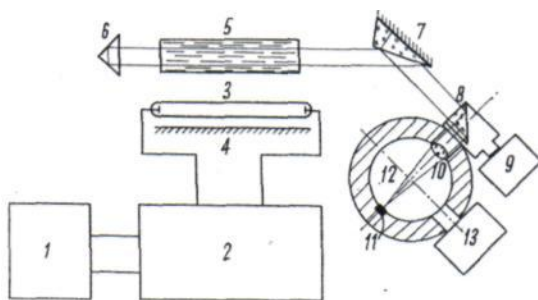
$$A = E - R \quad (3)$$

Az E beeső energiát a 9 jelű, az R reflektált energiát a 13 jelű energiamérővel mérve, meghatározható az A abszorbeált energia, mely robbanás esetén az iniciáló energiát adja.

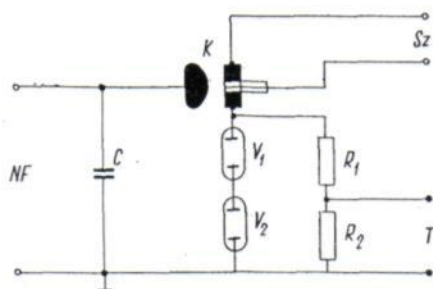
A lézert pumpáló egység

A folyadéklézert villanócsövekkel pumpálják. A villanócsövek működtetéséhez szükséges, hogy alkalmas időben rájuk kapcsoljuk a nagyfeszültségű tápegységgel feltöltött impulzus-kondenzátorokat. Az egység kapcsolási rajzát a 2. ábra mutatja.

Az NF nagyfeszültség a C impulzus-kondenzátort 20 kV-ra tölti. C értéke $14 \mu F$, így módon a tárolt energia az $E = 1/2 CU^2$ kifejezés alapján 2 800 Joule. A V_1 és V_2 sorbakapcsolt villanócsövek a C kondenzátortól a K kapcsoló



1. ábra. Az iniciáló berendezés elvi vázlata



2. ábra. A villanó csöveket működtető egység kapcsolási rajza

szikraközzel vannak elválasztva. A K szikraköz egy plexi házba épített 35 mm átmérőjű félgömbből és 40 mm átmérőjű sík elektródákból áll, amelyeknek távolsága egymástól állítható. A sík elektród közepébe 6 mm átmérőjű teflonrúd ágyazott 1 mm-es elektród van rögzítve. Ezen elektród és a sík elektród közé kötjük a szinkronizáló egység Sz kimenetét.

(A szinkronizáló egység egy tirátronnal vezérelt impulzustranzformátor.)

A K szikraközt úgy állítjuk be, hogy a C kondenzátor feszültségét biztosan tartsa. Amikor az S_z kapcsolón megjelenik a szinkronizáló feszültség, a sík elektródba épített segédszikraköz átüt, s a keletkezett ionizáció megindítja a K kapcsolón keresztül a kisülést, azaz a C kondenzátor feszültsége megjelenik a villanócsövek kapcsolain, mire azok átütnek és létrejön a villanás.

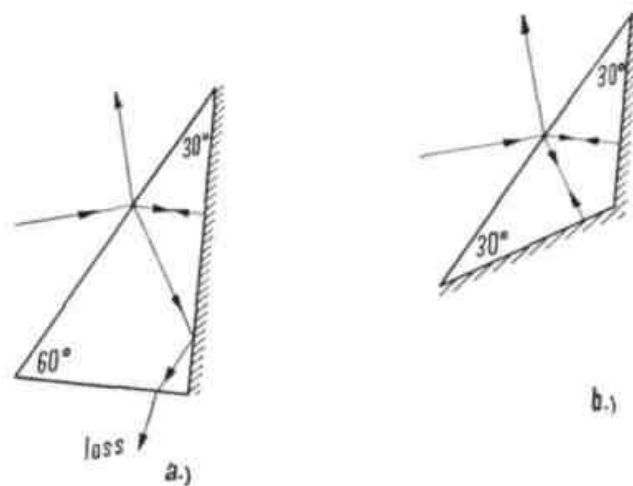
A rezonátor és elemei

A rezonátorház megtervezése előtt kutatás- fejlesztési szerződést kötöttünk a szegedi József Attila Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Intézetével, ahol már volt működőképes folyadéklézer. Munkatársunk tanulmányút keretében megtekintette ezt a berendezést. Az egyetemi intézet munkatársainak szakvéleménye alapján megterveztük Intézetünkben a folyadéklézer rezonátor részét. A rezonátorház három részből áll. A központi részben helyezkedik el a küvetta, két oldalán két villanócsővel. Ezeket veszi körül a két félellipszoid reflektor, amelynek a villanócsövek fényét a küvettába koncentrálják. A lézerház egyik végén a zárótükör, illetve a záró totálreflektáló prizma, a másik végén a nyitótükör, illetve az általunk módosított, hangoló *Littrow prizma* (lásd a 3. ábrát) van elhelyezve.

Ezeknek az optikai elemeknek a rögzítése hárompontos felfüggesztéssel van megoldva, ez által finoman beállíthatók. A hangolás mikrométer-csavar segítségével végezhető.

Az optikai elemeket (totálreflektáló prizma, *Littrow prizma*, küvetták, dielektrikum tükrök) részünkre a *Magyar Optikai Művek (MOM) Kutatási Osztálya* készítette el. Sajnos a MOM-tól ebben az időben beszerezhető tükrök közül csak a *Rhodamin 6 G*, illetve *Rhodamin B* sávjába eső nyitótükrök felelnek meg céljainknak. Ezekkel végzett kísérleteink szerint a jó minőségű dielektrikum tükörrel kétszeresre lenne emelhető a kimenő teljesítmény.

A lézerhez szükséges villanócsövet Magyarországon nem gyártják, import útján, pedig határidőre nem volt beszerezhető. Ezért felvettük a kapcsolatot a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Intézetével a megfelelő kísérletek lefolytatására. Az egyetemnek 1972 végére sikerült olyan villanócsöveket előállítani, amelyek az eddigi kísérletek során változás nélkül bírták az impulzuskondenzátorok kisütését 20 kV-on.



3. ábra. A módosított Littrow prizma

1. táblázat

Festék neve	Hangolás (nm)	Koncentráció (Mol/l)
Rhodamin B	650-620	10^{-5} - 10^{-4}
Rhodamin 6 G	620-580	10^{-5} - 10^{-4}
Fluoreszcein N	580-540	10^{-5} - 10^{-4}
7-dietilamino-4 metilkumarin	490-440	10^{-5} - 10^{-4}

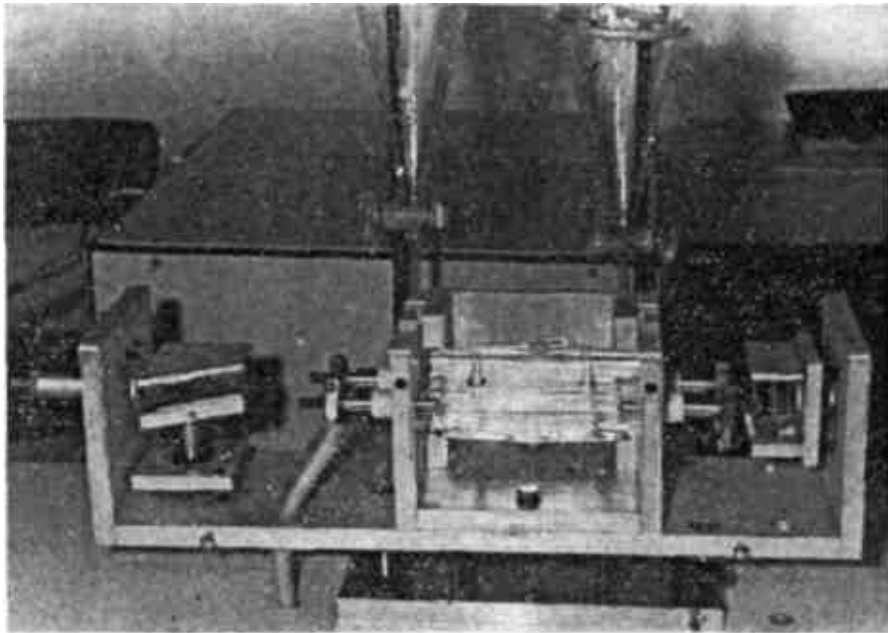
A Működtetéshez szükséges színezékek

A lézer működtetéséhez használt színezékeket a hangolhatósági sávokkal együtt az 1. táblázat tartalmazza.

Oldószerül 94%-os kétszer desztillált alkoholt és 6% pro-anal ecetsavat kell használni.

A villantások során a lézerszínezékben fotokémiai reakciók is lejátszódnak. Ez azt eredményezi, hogy a lézerfolyadék koncentrációja lecsökken és a generálás nem jön többé létre. Ezért a színezékoldatot 2-3 villantásonként ki kell cserélni a küvettában. A folyadék cseréjére a gravitációs áramoltatást választottuk.

A fentiekben ismertetett komplett lézert mutatja a *4. ábra*.



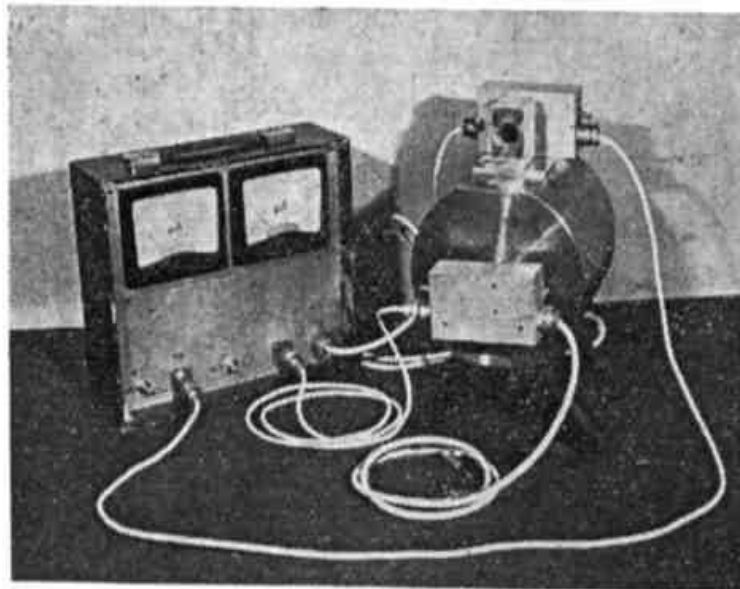
4. ábra. A lézer fényképe

Az energiamérő rendszer

Az energia mérésére két különböző típusú energiamérőt készítettünk. Az egyik egy elektronsokszorozós gyors energiamérő. Az energiamérőbe belépő lézersugárzás egy planparallel lemezen halad át, amelyről az energia 5%-a egy elektronsokszorozón jut, 95%-a pedig kilép az energiamérőből. A sokszorozó jelét oszcilloszkóp ernyőjéről fényképezéssel rögzítjük.

A kísérleti munka során azt tapasztaltuk, hogy ezzel az energiamérővel a munka meglehetősen lassú és komplikált, ezért ezt a későbbiekben csupán hitelesítésre használtuk, míg a vizsgálatokhoz integráló energiamérőt készítettünk. Az energiamérő kétcsatornás. A két detektor az integráló körrel és előerősítővel külön mérőfejekbe van építve és egyik a befutó, a másik a reflektált sugárzást figyeli. (A bejövő lézere energiát egy totálreflektáló prizma vezeti be a robbantókamrába. Mivel ez a prizma nem tökéletes, az energia egy kis részét átengedi a befutó energiát mérő detektorra. Azért, hogy ez a hányad ne változzék, a prizma reflektáló részét egy mattüveggel fedett páramentes légtérrel lezártuk. A második detektor a belépő irányra merőlegesen figyeli az *Ulbricht-gömb* falát, ez által jele a reflektált energiával arányos.)

A detektorok egy kétcsatornás csúcsfeszültség-mérőhöz csatlakoznak, amelyeknek jelét mutatós műszerek kitérése alapján lehet mérni. A mérésekhez összeállított komplett robbantókamrát az energiamérővel együtt az 5. ábra mutatja.



5. ábra. Kísérleti robbantókamra az energiamérővel

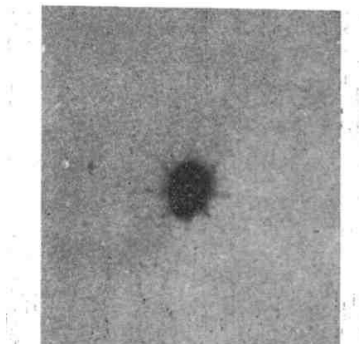
Mérések a lézerrel

1. A lézersugárzás ellenőrzése reflexió megfigyelésével

A lézersugárzás útjába kis szög alatt hajló fehér reflektáló felületet helyeztünk. Amennyiben lézer effektus nem lépett fel, a felületen a szórt lumineszcens fénynek megfelelő nagyobb átmérőjű, kis megvilágítottságú folt jelentkezett. Ha azonban a festék-lézerben létrejött a lézer effektus, a szórt lumineszcens fény közepén rendkívül fényes „*csillag*” látszott.

Annak eldöntésére, hogy valóban csillag alakú-e a folt, vagy ez csupán a rendkívüli intenzitás miatti optikai csalódás, lefényképeztük a foltot, s azt a 6. ábrán mutatjuk be.

Mint látjuk, a folt valóban csillag alakú, ami arra mutat, lézerünk nem tiszta móduszú. Mivel ez a mi problémánk szempontjából nem lényeges, ezért eltekintettünk a továbbiakban a módusz tisztaságára való törekvéstől.



6. ábra. A csillag alakú folt fényképe

2. Ólomátütési próba

A lézer teljesítményének gyors ellenőrzésére dolgoztuk ki a következő próbát: a lézersugarat fókuszáltuk, s a fókuszba fekete papírra ragasztott ólom fóliát helyeztünk. Az ólom fólia vastagsága 0,03 mm, a fekete papíré 0,1 mm volt. A lézersugárzás az ólom fóliára esett be.

Kielégítő lézerenergia esetén a lézernyaláb lyukat ütött a fólián. A lyuk nagyságából a lézer energiájára alsó határértéket lehetett megadni. Ha az ólom fajhőjét c -vel, párolgási hőjét q -val, sűrűségét g -vel, a keletkezett lyuk átmérőjét D -vel jelöljük, a felszabaduló hőmennyiség

$$Q > 3 \cdot 10^{-3} \frac{D^2 \pi}{4} \delta(1775c + q)$$

amiből a villanás energiája

$$E = \frac{Q}{0,24} > 10^{-2} D^2 \delta(1755c + q)$$



7. ábra. A lézer teljesítményének ellenőrzése (a)
és különböző robbantási próbák (b, c, d)

Lézer villantással készített ólomütést mutat a 7 a ábra.

Az ólomátütések alapján becsült legnagyobb energia 2,5 Joule volt.

3. Optimális színezékkoncentrációk meghatározása

Rhodamin B, *Rhodamin 6 G*, fluoreszcein-nátrium és kumarin színezékekből oldatokat készítettünk különböző koncentrációkkal és ezzel működtettük a lézert. A hatásfokot ólomátütéssel ellenőriztük.

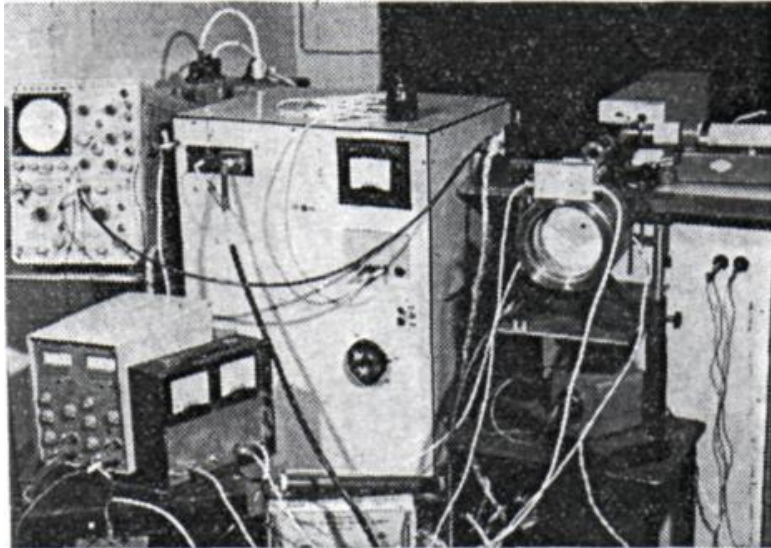
Az elvégzett kísérletsorozat alapján a továbbiakban az egyes színezékek alábbi koncentrációjával dolgoztunk:

<i>Rhodamin B</i>	$—10^{-4}$ M/l
<i>Rhodamin 6 G</i>	$—7,5 \cdot 10^{-5}$ M/l
fluoreszcein-nátrium	$—10^{-4}$ M/l
kumarin	$—10^{-4}$ M/l

4. A robbantókamra beállítása

A robbantási kísérletek során rendkívül fontos, hogy a lézerenergia teljes egészében belépjen a robbantókamrába és a 20 mm-re szűkített belépő lencse a lézer fényét a robbanóanyagra koncentrálja.

A beállításhoz a fény megfordíthatóságának elvét használjuk ki. Olyan beállító lámpát készítettünk, mely a robbanóanyag helyére rögzíthető úgy, hogy a fényforrás izzószála a belépő lencse fókuszába essék. A lencse az izzószálból kilépő sugarakat párhuzamosítja, s a totálreflektáló prizma továbbítja a lézer felé. Ezután a kamrát addig mozgatjuk, míg a lézer nyitó, tükréről visszaverődő fényfolt egybe nem esik a kilépő fényfolttal. Ebben az esetben a lézerből kilépő fény ugyanezen az úton halad, majd, s a lencse a megfelelő helyre koncentrálja. A méréshez előkészített komplett berendezést mutatja a 8. ábra.



8. ábra. A komplett mérőberendezés fényképe

5. Robbantási kísérletek

a) Ólomazid robbantási próbái

A folyadéklézert 10^{-4} Mol/l koncentrációjú *Rhodamin 60* oldattal töltöttük fel. Zárótükörként prizmat, nyitótükörként 80%-os remissziójú dielektrikumtükört alkalmaztunk. A kamrába be-téve az ólomazidot, 0,5 Joule energiájú, $600\text{ m}\mu$ hullámhosszú sugárzással az ólomazid felrobbantható volt.

Ezután a lézerben kicseréltük a színezékoldatot *Rhodamin B* oldatra és a nyitótükört a *Rhodamin B* sávjában 70%-os reflexiójú nyitótükörré. A maximális energia 0,7 Joule, a sugárzási maximum hullámhossza $645\text{ m}\mu$ volt.

Az ólomazid a 0,7 Joule energiájú, $645\text{ m}\mu$ hullámhosszú lézerfényvel felrobbantható volt.

b) Robbanóanyagok remissziójának vizsgálata spektroszkóppal

A további robbantási próbák előtt megvizsgáltuk az egyes robbanóanyagok remissziós spektrumát. Eredményül azt kaptuk, hogy az ólomazid (színe sárgászöld) gyengén abszorbeál a vörösben, a nitroglicerín, a robbanóolaj, a dinamit láthatóan nem abszorbeál, a TNT (színe sárgásfehér)

gyengén abszorbeál az ibolyában, a hexogén egyáltalán nem abszorbeál, remissziója megközelíti az abszolút fehérét.

A vizsgálatokat azért végeztük el, mert jó hatás-fokú robbanthatóság csak akkor várható, ha a lézersugárzás hullámhosszán abszorbeál, a robbanóanyag. A robbanás lehetősége másodlagos hatásokra nincs kizárva (nem lineáris abszorpció, szomszédos közeg felmelegedett plazmaállapotú részéinek be-hatolása stb.), azonban a beindításhoz ilyen esetben előreláthatólag egy nagyságrenddel nagyobb energia szükséges. A mondottak értelmében robbanás várható vörös színű lézerfényre ólomazid, kék színű lézerfényre *TNT* esetében. A többi robbanó-anyagnál csak közvetett robbanás képzelhető el.

c) *Nitroglicerinnel robbantásának próbái*

Nitroglicerinnel mikromennyiségét kis vasedénykében a robbantókamrába helyeztük. A lézerünk-vel első kísérletként maximális energiával akartunk „rálőni” a robbanóanyagra, ezért a lézerbe fém és dielektrikum kombinációjú zárótükröt és 50%-os nyitótükröt raktunk. *A nitroglicerint közvetlenül nem sikerült felrobbantani*, bár a kísérletet többször és többfajta hullámhosszon megismételtük. Ezért megpróbálkoztunk a közvetett indítással. A nitroglicerint ólpm fóliára helyeztük, s így tettük a robbantókamrába. Elgondolásunk szerint az ólom abszorbeálja a lézersugárzást és a nitroglicerinnel hatoló forró fém plazma beindíthatja a nitroglicerint. *A 2 Joule energiájú, 610 nm hullámhosszú lézersugárzás az ólom lemezre helyezett nitroglicerint beindította. A nitroglicerincsepp által átszakított ólom lemezt a 7b ábra mutatja.*

Az eredmény alapján arra gondoltunk, ha a nitroglicerint megfestjük megfelelően abszorbeáló színezékekkel, szintén robbanást érhetünk el. Több színezéket megvizsgálva a malachitzöld mutatkozott olyan színezéknek, amelynek abszorpciós sávja átfedte a *Rhodamin 6 G* és a *Rhodamin B* lézerfestékek sugárzási sávját, bár a *Rhodamin 6 G* 600 nm körüli

lézersugárzásra az abszorpció mérsékelt volt. A nitroglicerint malachitzölddel megfestve, megkíséreltük a felrobbantását.

Sajnos az előző kísérlet során a zárótükrünk tönkrement, beégett. Valószínűleg a fém abszorpciója miatt a tönkremenetel fokozatos volt, de mivel nem szedtük szét minden villantáshoz a lézert, ezt csak akkor vettük észre, amikor a kijövő energia nagyon lecsökkent. Ezért vissza kellett térni a prizmához, amellyel maximálisan csak 1 Joule energiát tudtunk elérni és a biztonság okáért az első kísérlet során a robbanást segítő módokat kombináltuk. Ólom lemezre helyeztük a malachitzölddel megfestett nitroglicerint. *Az 1 Joule energiájú, 600 m μ hullámhosszú lézersugárzás az ólom lemezre helyezett, malachitzölddel festett nitroglicerint beindította.*

A továbbiakban megpróbálkoztunk a hatások szétválasztásával. Ki akartuk küszöbölni az ólom-plazma hatását. Ezért a festett nitroglicerint alumínium fóliára helyeztük, mivel az alumínium abszorpciója a 600 m μ fölötti sugárzásra igen kicsi. *Az alufóliára helyezett, malachitzölddel festett nitroglicerint 1 Joule energiájú lézersugárzásra felrobbant. A felrobbant nitroglicerint által átütött alufóliát mutatja a 7 c ábra.*

Ezek után az a kérdés merült fel, nincs-e a fémnek szerepe a beindulásban. Ezért megismételtük a kísérletet úgy, hogy a malachitzölddel festett nitroglicerint szűrőpapírra cseppentettük. *1 Joule energiájú, 600 m μ hullámhosszú lézersugárzással besugározva, a megfestett nitroglicerinnel átitatott szűrőpapír beindult. Ezt mutatja a 7 d ábra.* A lézer-folyadékot kicserélve Rhodamin B folyadékra, a nyitótükröt pedig 70% remissziójúra és megismételve a kísérleteket, az alábbi eredményeket kaptuk:

A nitroglicerint a 645 m μ -os és 0,7 Joule energiájú lézersugárzásra nem indult be. A malachit-zölddel festett nitroglicerint mind ólom, mind alumínium lemezen beindult a 645 m μ hullámhosszú és 0,7 Joule összenergiájú lézersugárzásra.

d) *Robbanóolaj robbantásának próbái*

A robbanóolajjal ugyanazokat a robbantási kísérleteket végeztük el, mint a nitroglicerinnel. Az eredmények is azonosak voltak:

- *A tiszta robbanóolaj sem a 600 m μ hullámhosszú és 1 Joule energiájú, sem a 645 m μ hullámhosszú és 0,7 Joule energiájú lézersugárzásra nem indult be.*
- *A malachitzölddel festett robbanóolaj viszont a 600 m μ hullámhosszú és 1 Joule energiájú, valamint a 645 m μ hullámhosszú és 0,7 Joule energiájú sugárzásra egyaránt beindult.*

e) *Nidin 50 robbanóanyag robbantásának próbái*

A Nidin 50 robbanóanyagot a korábban leírt módokon vizsgáltuk. Eredmények:

- *A Nidin 50 dinamit típusú robbanóanyag az 1 Joule energiájú, 600 m μ hullámhosszú, valamint a 0,7 Joule energiájú, 645 m μ hullámhosszú lézersugárzásra nem indult be.*
- *A malachitzölddel festett Nidin 50 robbanó-anyag az 1 Joule energiájú, 600 m μ hullámhosszú sugárzásra nem indult be, de a 0,7 Joule energiájú 645 m μ hullámhosszú lézersugárzás hatására beindult.*

f) *Hexogén robbantásának próbái*

A robbantási kísérleteket elvégeztük mind festett, mind festetlen hexogénnel, azonban robbanást nem sikerült elérni.

g) *TNT robbantásának próbái*

A TNT robbantási kísérletei mind festett, mind festetlen TNT robbanóanyag esetében és 600, illetve 647 m μ hullámhosszú sugárzás hatására eredménytelenek maradtak.

Az eredmények értelmezése

A robbanóanyag robbanásának nevezzük a nagy mennyiségű hő felszabadulásával és gázok képződésével járó, nagy sebességgel önmagától tovaterjedő kémiai átalakulást. A robbanóanyag lehet:

- a) éghető anyag és oxidáló anyag keveréke,
- b) éghető elemek és oxigén vegyülete,
- c) negatív képződéshőjű vegyület.

A kémiai átalakulás közben megváltozik a robbanóanyag molekuláinak energiaszintje.

Mivel a folyamat jelentős energia-felszabadulással jár, kellő számú és nagyságú aktivált góc esetén a góccal szomszédos robbanóanyag-rétegekben ismételten akkora energiakonzentráció alakul ki, amekkora a kezdeti gócok aktivált molekuláinál sokkal nagyobb számú molekulát aktivál. Ily módon a reakció felgyorsul, s az átalakulás detonációba megy át. Kérdés, hogyan alakulhat ki kellő számú góc?

Ahhoz, hogy adott molekulákból más típusúak jöjjenek létre, mindenképp előtte az eredeti molekulák egy csoportjának fel kell bomlania, azaz disszociálnia kell. Korábbi feltételezéseink szerint ez a disszociáció a lökőhullám következtében fellépő rendkívül intenzív sugárzás eredménye. A molekulák fényabszorpciója során a rotációs, vibrációs termek gerjeszthetők, és megfelelő nagy energia esetén a disszociáció létrejön. A rotációs és vibrációs spektrum sávós, a disszociációhoz viszont folytonos abszorpciós spektrum tartozik. A disszociációs energia a folytonos abszorpciós sáv maximális hullámhosszához tartozó energia. Ez a különböző molekulák esetében az ultraibolya tartományba esik. Vagyis a robbanási gócok létrehozásában a lökőhullám hatására létrejövő sugárzás ultraibolya részének van döntő szerepe.

A nagy molekulájú vegyületek disszociációja nem ilyen egyszerű. A disszociáció létrejöhet több lépésben is úgy, hogy először egy alacsonyabb energiájú rezgési vagy rotációs term gerjesztődik, majd az újabb energiakvantum hatására a disszociáció létrejön. Ez az ún. predisszociáció. Ehhez szükséges, hogy a gerjesztő fény hullámhossza megfeleljen valamelyik abszorpciós sáv energiájának. Vagyis fotodisszociáció csak akkor várható, ha a besugárzó fény hullámhosszán a besugárzott vegyület abszorbeál.

Elképzelhető az is, hogy rendkívüli erősségű elektromos tér hatására, vagy ionokkal, ill. elektronokkal való kölcsönhatás következtében felbomlik a molekula.

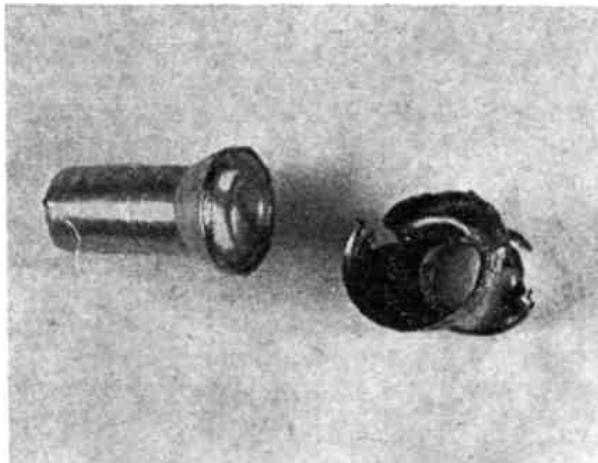
Végül pusztán hőmozgás okozta ütközések hatására is bekövetkezhet disszociáció többszörös áttételek hatására.

A lézer kisugározta energiát az anyag többféleképpen felveheti. Ily módon a lézer létrehozhatja az anyag felmelegedését (elpárologását), ionizációját, gerjesztését és disszociációját. Az egyes folyamatok arányát a besugárzó fény hullámhossza és az anyag szerkezete együttesen szabja meg.

A robbanóanyagok esetében amennyiben csak a fotonok hatására létrejövő közvetlen disszociációnak lenne szerepe a robbanásban, lézersugárzással nem lehetne beindítani a robbanóanyagot oly módon, hogy a sugárzással először fémplazmát hozunk létre, vagy a sugárzást jól abszorbeáló anyaggal hozzuk kontaktusba a robbanóanyagot. A robbantási kísérletek eredményessége arra utal, hogy a beindulási folyamat komplex. A lökőhullám hatására létrejövő ionoknak és a részecskék haladó mozgásának éppúgy szerepe van a beindulásban, mint a létrejövő sugárzás egyes sávjainak és ultraibolya részének. Módosítani kell, tehát korábbi álláspontunkat és az eredeti fotonhipotézis helyébe kombinált hipotézist kell kialakítani. Annak eldöntése, hogy az egyes részfolyamatoknak mennyi a szerepe, a további kutatások feladata.

Az eddigi eredmények alapján levonható az alábbi következtetés:

- a) Lehetséges a közvetlen iniciálás.
- b) Az iniciálási energiát úgy lehet csökkenteni, ha abban a sávban sugározzuk be a robbanóanyagot, amelyben abszorbeál. Ilyen szempontból reménykeltő a *TNT*, amelynek ibolyában gyenge abszorpciója van. Amennyiben megfelelő kicsatoló tükör áll rendelkezésünkre, a hidroxikumarinnal a megfelelő aktiváló fényt létrehozhatjuk.
- c) A robbanóanyagok iniciálása elősegíthető adalékanyagok (pl. ólompor vagy festékek) hozzákeverésével. (Ezzel a problémával érdemes lenne külön foglalkozni.)
- d) A közvetlen iniciálással lehetőség nyílik robbanóközegek távolról, mechanikai és elektromos kapcsolat nélküli indítására. Egy ilyen, közvetlenül felhasználható, a gyakorlati alkalmazást szolgáló kísérletről számolunk be a következő fejezetben.



9. ábra. Egy ép és egy felrobbant gyutacs fényképe

Lézersugárzással távolból indítható gyutacs

Az ólomazid iniciálásával kapcsolatos tapasztalatok alapján kialakítottunk egy olyan gyutacsot, amely biztonságosabb, mint bármelyik eddig használt gyutacsféleség és megfelelő erősségű lézerimpulzussal biztosan indítható.

A gyutacs szerkezete megegyezik a gyújtófej nélküli szereletlen gyutaccsal, csupán a gyújtófej helyett a megrövidített gyutacshüvely elé olyan kis átmérőjű lencsét szereltünk, melynek gyújtósíkja egybeesett a gyutacsban levő ólomazid homloklfelületével. Ebben az esetben — mivel a lencse rövid fókusz távolságú — bármilyen irányból is találja el a lézersugárzás a lencsét, ez a lézersugárzást az ólomazid felületére koncentrálja.

Ilyen módon készített gyutacsot helyeztünk a lézertől kb. 2 m távolságra egy acélcsőbe. A gyutacs 0,2 Joule energiájú lézervillanásra felrobbant. Ezekután arra gondoltunk: nem indítható-e az ólomazid állandó sugárzással? Ebben az esetben ugyanis folytonosan sugárzó gázlézert használhatnánk. Ezért olyan „műlézert” készítettünk egy 100 W-os halogén izzóval, amely a gyutacs lencséjére 100 mW energiát juttatott. Ezzel a berendezéssel a gyutacsot besugározva a gyutacs 5 percen belül nem robbant fel.

- a) Ellenőrzésképpen ugyanezt a gyutacsot a folyadéklézer villanásával felrobbantottuk. Egy felrobbant és egy ép gyutacsot mutat a 9. ábra. E kísérletek alapján a következő megállapításokat tehetjük:
- b) A távolról közvetlen iniciálással való indítás azonnal hasznosítható eredménye az eddigi kutatásoknak. A kidolgozott gyutacs biztonságos, hő- és ütészállósága nem rosszabb a HEG típusjelű gyutacsénál.
- c) Olyan lézerlövőgépet kell kidolgozni, amely az ólomazid

indításához szükséges minimális indító energiával és az ehhez tartozó hullámhosszon kvázi-folytonos üzemmódban működik és amely aránylag kis méretű és hordozható.

d) Ki kell dolgozni a TNT közvetlen iniciálásának módját, mivel abszorpciós spektruma reményt nyújt ibolyasugárzással való közvetlen iniciálásra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. *Andrejev, K. K: Beljajev, A. F.: A robbanóanyagok elmélete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.*
2. *Baum, Sztanjukovics, Sechter.: Fizika vzrűva. (Robbanóanyagok fizikája) G. I. F. M. L. Moszkva, 1959.*
3. *Sánger, E.: Über die hypothetische Rolle des Pho-tonengases bei der Detonation und Verbrennung fester oder flüssiger Sprengstoffe. (A fotongázok feltételezett szerepéről a detonációnál és a szilárd vagy folyékony robbanóanyagok elégésénél.) Explosiv-stoffe, Jg. 1955. Nr. 7.*
4. *Papp J.: Robbanási színhőmérsékletek mérése. 1-53-66-208. sz. kutatási zárójelentés, Bányászati Kutató Intézet, Tatabánya. 1966.*
5. *Papp J.: Porózus robbanóanyagokba zárt gáz sugárzásának szerepe a detonáció kialakulásának folyamatában. Bányászati Kutató Intézet Közleményei, XII. évf. 1. sz. (1968.) p: 119-131.*
6. *Papp Jné.: Röntgenimpulzus berendezés készítése. Bányászati Kutató Intézet Közleményei, XII. évf. 4. sz. (1968)p:71-80.*
7. *Levikov.: Laser pump lamps. (Lézergerjesztő lámpa)*
A Bányászati és Kohászati Lapok – Bányászat 107. évfolyam, 1974. 9. sz., 623-629. o. cikk másodközlése