Határozzuk meg a szabadon eső vízsugár alakját! Tegyük fel, hogy a víz belső súrlódásának, felületi feszültségének, a csapszáj és a víz közötti súrlódásnak a hatása figyelmen kívül hagyható! Mivel a víz belső súrlódását elhanyagoltuk, feltehetjük, hogy a víz az A_0 keresztmetszetű függőleges cső minden pontján azonos v_0 kezdősebességgel hagyja el a csövet, és az esés folyamán a sebességeloszlás minden vízszintes keresztmetszetben homogén marad. Ekkor – a vizet összenyomhatatlannak tekintve – a vízsugár bármely keresztmetszetén Δt idő alatt áthaladó víz mennyisége egyenlő a csapból Δt idő alatt kifolyt víz mennyiségével:

$$A_0 v_0 \Delta t = A(z) v(z) \Delta t, \tag{1}$$

ahol z a csap szélétől függőlegesen lefelé mért távolságot jelöli.

$v(z)$ az energia megmaradásából számolható (csak a gravitációs tér hatását vesszük figyelembe):

$$(1/2) v^2(z) = v_0^2 + 2gz. \tag{2}$$

(1) és (2) segítségével

$$A(z) = A_0 \frac{1}{\sqrt{1 + (2gz/v_0^2)}}\,,$$

illetve a megfelelő átmérőkkel

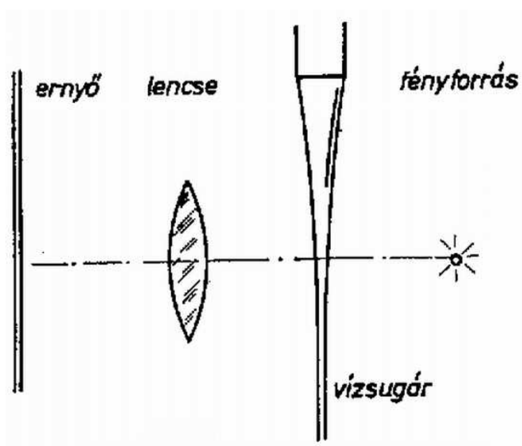
$$d(z) = d_0 \frac{1}{\sqrt[4]{1 + (2gz/v_0^2)}} \tag{3}$$

Ez a képlet csak a fenti feltételek teljesülése esetén írja le helyesen a vízsugár alakját.

A kifolyó vízsugár felülete egy darabig sima, majd fodrozódni kezd, cseppekre bomlik. A jelenség kialakulásában a turbulens áramlás játszik lényeges szerepet.

A vízsugár alakját a csőszájhoz közel lényegesen befolyásolja a fém és a víz közötti tapadási feszültség hatása. Ez a jelenség kevésbé lényeges, ha a cső falvastagsága lényegesen kisebb, mint annak sugara. A szokásos csapoknál ez nincs így, ezért a vízsugár – főleg kis kifolyási sebesség mellett – szélesebb, mint képletünk alapján várható lenne.

A (3) összefüggés a csővégtől a fodrozódás kezdetéig tekinthető jó közelítésnek. Ezen a szakaszon az áramlás nagyjából stabil és a nehézségi erő hatására létrejövő szűkülés jellemzi.



1. ábra

A kísérlet lényege a pontos távolságmérés és a vízsugár átmérőjének a minél pontosabb megmérése. Ez rendkívül egyszerű eszközökkel is megvalósítható. Példaként *Szabó László* (Miskolc, Földes F. Gimn., III. o. t.) kísérleti elrendezését mutatjuk be (*1. ábra*). A lencsét úgy kell beállítani, hogy éles képet adjon. Ha pontosan akarunk mérni, akkor a lencsét és a fényforrást mindig a kívánt magasságra kell beállítani, és csak ebben a síkban szabad mérni. A nagyítást egyszerűen meghatározhatjuk az ismert méretű csőszáj és képének méretéből.

A (3) képlet igazolásához szükség van még v_0 ismeretére is. Ezt a legegyszerűbben valamely ismert (V) térfogatú mérőedény megtöltéséhez szükséges idő mérésével végezhetjük el, ugyanis állandó kiömlési sebességet feltételezve:

$$v_0 = \frac{V}{r_0^2 \pi t}\,, \tag{4}$$

ahol r_0 a csőszáj sugara, V a mérőedény térfogata és t a megtöltéshez szükséges idő.

A kísérlet elvégzését nagy mértékben zavarhatják a vízvezetékben fellépő nyomásváltozások, melyek megváltoztatják a kiömlési sebességet és módosíthatják az áramlás jellegét. Ez a zavaró körülmény kiküszöbölhető, ha a vizet egy olyan tartályból folyatjuk ki, melyben a vízszint változása elhanyagolható. *Nálhi Tamás* (Nagykáta, Damjanich J.

Gimn., III. o. t.) megoldása igen szellemes. Egy megtöltött kádba vékony gumicsövet eresztett, majd a csövet megszíva egyenletesen áramlott át a víz a csövön. Az átáramló víz mennyiségét egy szorító bilinccsel tudta szabályozni. A kifolyt vizet folyamatosan lehet pótolni, csak arra kell ügyelni, hogy ezzel csak kis mértékben zavarjuk meg a kádban kialakult áramlást. Hasonló elven működő tartályt készített *Wéber Tamás* (Kazincbarcika, Ságvári E. Gimn., IV. o. t.) is.

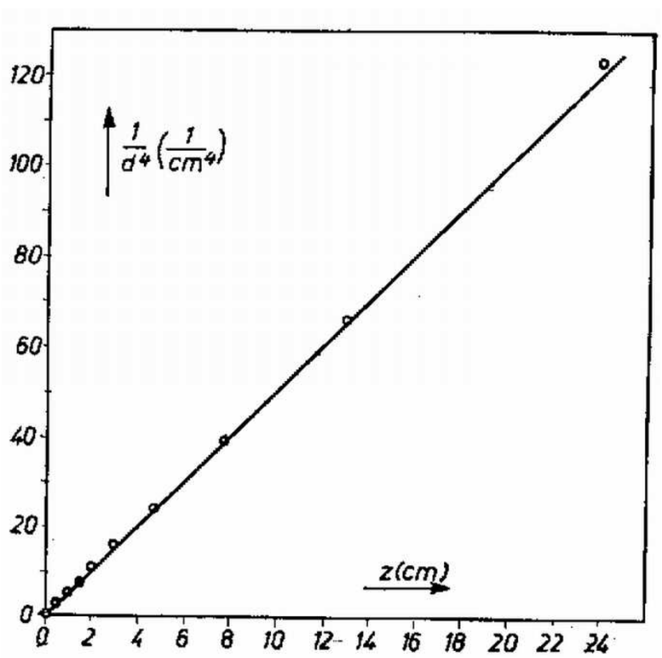
Versenyzőink nagy része a vízsugár átmérőjét közvetett úton mérte – lefényképezte, ill. árnyékát lerajzolta –, s az így nyert „felvételt” értékelte ki. Többen próbálkoztak közvetlen méréssel is, pl. tolómérővel vagy sablonok segítségével. Szellemes, habár elég pontatlan módon mérte a vízsugár átmérőjét *Emri Miklós* (Kazincbarcika, Ságvári E. Gimn., IV. o. t.), aki finom szövésű szitát, ill. *Furó István* (Nagykanizsa, Landler J. Gimn., IV. o. t.), aki lisztes élű kést húzott el vízszintesen a vízsugár alatt. A szita szálai közt vízhártya maradt ott, ahol a víz átment, míg a késről a vízsugár vastagságának megfelelő szakaszon mosta le a lisztet a víz. Mindkét módszer a valódinál nagyobb átmérőt ad.

Néhány megoldónk a feladatot félreértve a teljesen turbulens áramlási szakaszt mérte.

A feladat első részét – a vízsugár átmérőjének mérését – legtöbb versenyzőnk jól oldotta meg. A feladat második részét – a mérési eredmények összehasonlítását a 913. feladat alapján számítható eredménnyel – már csak hárman végezték el. Ezeket fogadtuk el teljes értékű megoldásnak.

Korcsmár Tamás (Nagykanizsa, Landler J. Gimn., III. o. t.) mérési adatait és a (3) képlet igazolásához szükséges d^{-4} értékeket tüntettük fel a következő táblázatban.

z (cm)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,7	7,7	13,0	24,0
d (mm)	12,0	7,5	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0
d^{-4} (cm^{-4})	0,482	3,16	5,60	7,72	10,93	16,00	24,39	39,06	66,6	123,5



2. ábra

A (3) egyenlet szerint, ha d^{-4}-t ábrázoljuk z függvényében, akkor egyenest kell kapnunk, melynek tengelymetszete d_0^{-4}, meredeksége pedig $2gv_0^{-2}d_0^{-4}$. A *2. ábrán* láthatjuk az ily módon ábrázolt mérési pontokat. Az egyes pontok – a legalsó helyen mért kivételével – jól meghatároznak egy egyenest. A tengelymetszet kis értéke miatt ez az egyenes nem alkalmas arra, hogy meghatározzuk d_0 értékét, de elfogadva a mért $d_0 = 12$ mm adatot, a grafikonból leolvasott meredekségből kiszámíthatjuk a víz v_0 kifolyási sebességét, amelyre 13,7 cm/s adódik, jó egyezésben a közvetlenül mért 13,62 cm/s-os értékkel. Így megállapíthatjuk, hogy mérésünk hibahatárán belül nincs eltérés az elméleti (3) képlet és a mért vízsugár alakja között.