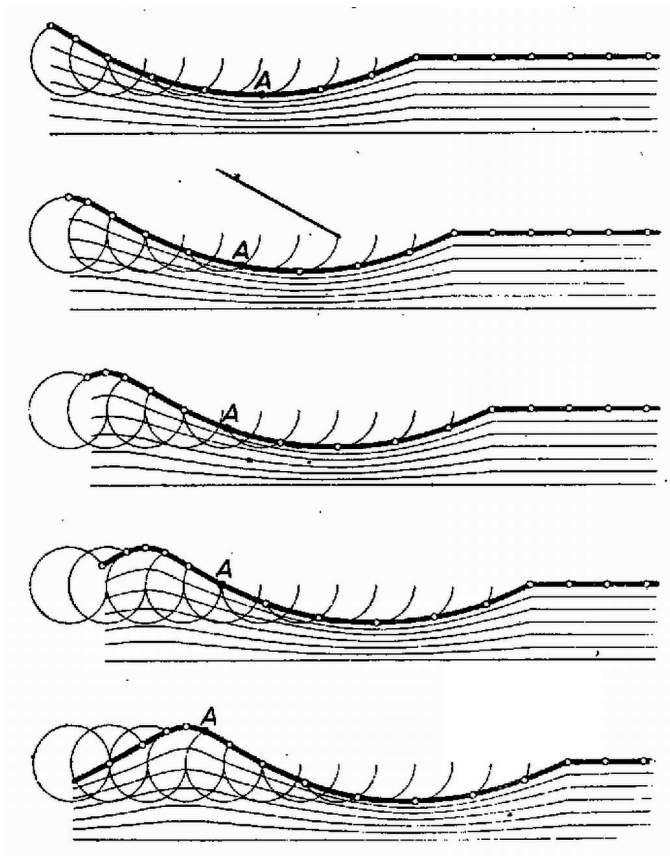


Ha hullámmozgásról beszélünk, általában a legkézenfekvőbb példára, a vízhullámokra gondolunk. Pedig a vízhullámok igen sok vonatkozásban eltérnek a leggyakrabban tárgyalt szabályos tranzverzális hullámoktól. Ezeket általában rugalmas erők hozzák létre, bennük a részecskék lineáris rezgést végeznek. Igen gyakran használják a vízhullámokat a tranzverzális hullámok törésének, interferenciájának és egyéb tulajdonságainak bemutatására. Erre szolgál az ún. hullámkád, mely lapos üvegedény; a benne keltett hullámokat kivetítve tanulmányozhatjuk. Először azt kell megvizsgálnunk, hogyan keletkeznek a vízhullámok.

A tengeri hullámok keletkezésének oka elsősorban a szél. Ezenkívül földrengés, apály–dagály, a légnyomás gyors változása és a tengeráramlatok hoznak létre hullámmozgást a tenger felszínén. Mivel leggyakoribb a szél által keltett hullámozgás, a keletkezés mechanizmusát erre az esetre írjuk le.

Ha valamilyen ok, például szél megzavarja a felszín egyensúlyát, akkor a nehézségi erő akarja az előbbi állapotot visszaállítani. A vízhullámok leginkább a részecskék mozgását tekintve térnek el a tranzverzális hullámoktól. Tranzverzális hullámokban a részecskék lineáris rezgést végeznek a terjedés irányára merőleges síkban. A víz felszínén keletkező hullámok esetében egészen más a helyzet. Ekkor az egyes vízrészecskék a terjedés irányában fekvő függőleges síkban zárt görbéken mozognak. Igen mély víznél, ha a mélység nagyobb a hullámhossz felénél, ezek a görbék, vagyis az egyes vízcseppek útjai körök. A terjedés irányába eső szomszédos cseppek fokozatosan változó fázisban, mindig később és később kezdve végzik körmozgásukat, amint azt az 1. ábra mutatja.



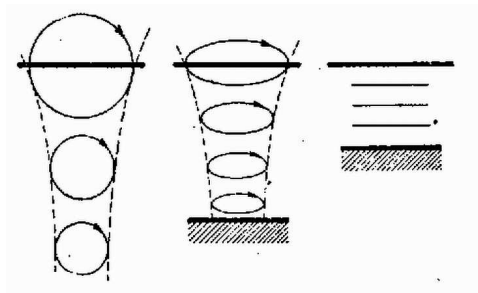
1. ábra

Például vegyük szemügyre az A -val jelzett vízrészecskét. Ez a cseppecske körpályán mozog, és egy periódus alatt teljes kört ír le. Ábránk egymás alatti sorai $1/12$ periódusidő elmúltával mutatják a hullám állapotát. Az A -val jelzett csepptől jobbra levő cseppek mindig később és később kezdik körmozgásokat, és így jön létre a haladó hullám jelensége. Ha a víz elég mély, és a hullám sehonnan sem verődik vissza, akkor zavartalanul kialakul ez a kép. A hullám alakja nem szinuszos, hanem rövidített cikloisz formájú; a hullámhegy meredekebb, mint a hullámvölgy. (A jobb megértés érdekében célszerű, ha egy pontos, nagyméretű ábrán magunk is megrajzoljuk ezt a hullámalakot, és megvizsgáljuk haladását.) A hullámok c terjedési sebességére levezethető ez a képlet:

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

Itt λ a hullámhossz és g a nehézségi gyorsulás. Állandó erősségű és sebességű szél mellett a terjedési sebesség nem lehet nagyobb, mint a szél sebessége. Képletünkéből az adott szélesebesség mellett kialakulható legnagyobb hullámhossz is kiszámítható. Annyi mindenesetre biztos, hogy nagyobb szélesebességhez nagyobb hullámhossz tartozik.

A víz mélysége befolyásolja a hullámok alakját és viselkedését. Nemcsak a felszín cseppei mozognak, hanem a mélyebben fekvők is. Ha a víz mélysége több a hullámhossz felénél, akkor a mélyebben fekvő vírzészecskék is körpályán mozognak, de ezek rádiusza mértani sor szerint (exponenciálisan) csökken. Ha a mélység kisebb ennél, akkor a vírzészecskék pályája ellipszis, és ha a vízmélység (h) kevesebb, mint a hullámhossz 25-öd része, akkor a víz mozgása vízszintesen, ide-oda megy végbe (2. ábra).



2. ábra

Ilyenkor a terjedési sebesség:

$$c = \sqrt{gh}$$

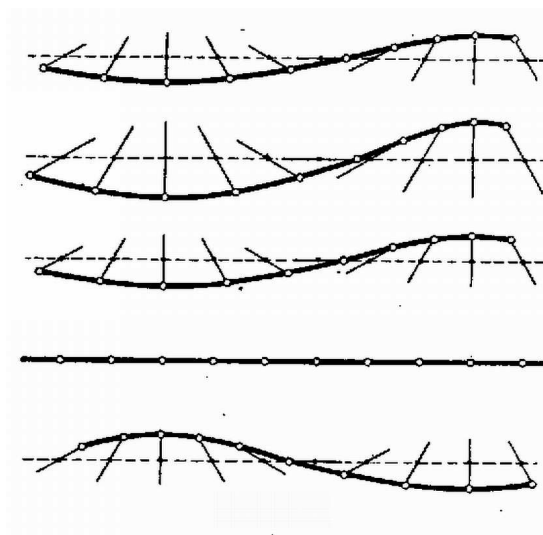
Mivel a hullámok sebessége függ a víz mélységétől, ezért fokozatosan sekélyedő vízben a légkör különböző sűrűségű rétegein áthaladó fénysugár viselkedéséhez hasonló jelenségeket tapasztalhatunk. A jelenség még inkább hasonlít a fénytöréshez, ha a vízréteg hirtelen válik sekélyebbé, például a hullámkád fenekére vastag üveglemezt helyezünk. Most épp úgy, mint a fénytanban, meghatározhatjuk a kétféle mélységű víz (két közeg) egymáshoz viszonyított törésmutatóját, mely itt is egyenlő a két közegben mért sebességek hányadosával. Mivel a törésmutató a terjedési sebesség révén függ a hullámhossztól, itt is fellép a diszperzió jelensége, vagyis különböző hullámhosszú hullámvonulatok különböző mértékben térítődnek el.

Ha csak kis zavar éri a víz felszínét, akkor nem a nehézségi erő, hanem a felületi feszültség gondoskodik az egyensúly helyreállításáról. Ilyenkor néhány cm-es hullámhosszú ún. kapilláris hullámok jönnek létre. Erősebb szélben ezeknek nincs jelentőségük, mert a több méter, esetleg száz méter hosszú hullámoknál a nehézségi erő működik közre. A kapilláris hullámok terjedési sebessége

$$c = \sqrt{\frac{2\pi a}{d\lambda}}$$

itt a a felületi feszültség, d a folyadék sűrűsége.

Mivel a vízhullámok nagymértékben térnek el a transzverzális hullámoktól, meglepő, hogy visszaverődésük szinuszos állóhullámot hoz létre. Erre vezet az elmélet és a kísérlet. De a szinuszos burkolófelülettel rendelkező álló folyadékfelszíni hullám és a közönséges transzverzális állóhullám között nagy különbség van. A transzverzális állóhullámra jellemző, hogy a részecskék azonos fázisban és irányban periodikusan változó amplitúdóval lineáris rezgést végeznek; így vannak csomópontok, ahol a részecskék nyugalomban vannak. Viszont a felületi állóhullámokban minden részecske azonos amplitúdóval és azonos fázisban végez lineáris rezgést, azonban a rezgés iránya változik periodikusan. A csomópontokban csak vízszintes irányú rezgés van, a duzzadóhelyeken csak függőleges, és közben a rezgési irány szöge egyenesen arányos a távolsággal (3. ábra).



3. ábra

Így szépen kialakul a szinuszfüggvény alakú burkolófelület.

A vízhullámok pontos ismeretére szükségük van a kikötők, hullámtörő gátak, egyéb tengeri építmények tervezőinek. Gát építésénél a gátra nehezedő hullámnyomást kell ismerni. A kikötőépítés bonyolultabb feladat, itt a különböző szélirányok mellett fellépő visszaverődéseket és hullámelhajlásokat is figyelembe kell venni. Gyakran a számítás nem lehet elég pontos, ilyenkor modellkísérleteket kell végezni. Ilyenkor az a nehézség lép fel, hogy geometriailag hasonló elrendezésekben nem nyerünk feltétlenül fizikailag is hasonló jelenségeket. Sokszor fél méternél nagyobb hullámhosszat kell alkalmazni a modellkísérletben is. Napjainkban számos kikötővárosban végeznek méréseket és elméleti kutatásokat a vízhullámok pontos megismerésére. Az eredmények nagy segítséget nyújtanak a tengeri építkezéseknél és a hajógyártásban