

## Kísérleti fizika 1. Kiegészítések az előadáshoz – 2020. november 19.

A mai óra témája a *csatolt rezgések*, ami azért is érdekes számunkra, mert átvezetést jelent a rezgések leírásától a hullámok tárgyalásához.

A november 17-i kísérleti bemutató (YouTube) középső részében egy sor ezzel kapcsolatos jelenség volt látható.

A kettős ingánál először azt figyelhettük meg, hogy csatolatlanul a két inga teljesen egyformán (kis csillapítással, azonos periódusidővel) leng.

Ha a két inga között egy gyenge csatolást hozunk létre egy rugóval, akkor a két inga már nem egymástól függetlenül mozog. Különböző kezdeti feltételek mellett nagyon különböző mozgások jönnek létre:

- Ha a két ingát ugyanabban az irányban, ugyanakkora kitéréssel engedjük el, akkor az ingák teljesen egyformán mozognak, a csatoló rugó feszessége nem változik, az ingák úgy mozognak, mint a csatolatlan esetben.
- Ha a két ingát ugyanakkora kitéréssel, de ellentétes irányban térítjük ki, akkor a rugó feszessége már változik, viszont a szimmetria miatt a két inga – egymás tükörképeként – ugyanúgy fog mozogni. A frekvencia azonban nagyobb lesz.
- Ha kezdetben az egyik ingát térítjük csak ki, akkor a két inga között folyamatos energiaátadás alakul ki: a kezdetben kitérített inga lassan átadja az energiáját a másiknak, és közben megáll, majd a szerepek felcserélődésével ugyanez történik meg az ellentétes irányba, és így tovább... (Emlékezzenek vissza arra, amit a *Nyugat-Berlini* múzeumban látott kísérletről meséltem, ahol a két inga két hintázó ember volt!)

Az első két esetet a mozgás normálrezgéseinek nevezzük. A levezetés alapján látható, hogy minden más eset előállítható ennek a két rezgésnek a lineáris kombinációjaként. A harmadik, nagyon látványos esetben mindkét inga mozgása egy – egymáshoz képest  $90^\circ$ -kal eltolt – lebegés.

Kérem, olvassák el a **jegyzet** 9.3 fejezetét (*Csatolt rezgések*)! Itt megtalálható a mozgás differenciálegyenlet-rendszerének a megoldása. A leírt mozgáshoz hasonlóan a differenciálegyenlet-rendszer is *csatolt*, azaz a két ismeretlen mindkét egyenletben előfordul (ahhoz hasonlóan, mint ahogy a nutáció levezetésében láttuk – lásd. a jegyzet 6.6 fejezetében). Új ismeretlenek ( $y_1$  és  $y_2$ ) bevezetésével azonban már két független (másodrendű, lineáris) differenciálegyenletet kapunk, amelyeknek már ismerjük a megoldását. Ezekből azután már felépíthetjük az egyes ingák mozgását leíró  $x_1(t)$  és  $x_2(t)$  időfüggvényeket.

A rendszernek négy szabadsági foka van, négy kezdeti feltételt kell megadni (például mindkét inga kezdeti kitérését és kezdeti sebességét), és az általános megoldásban szereplő négy paramétert ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $\varphi_1$  és  $\varphi_2$ ) ez alapján lehet meghatározni. ( $\omega_1$  és  $\omega_2$  értékét a rendszer fizikai paramétereit – az ingák hossza és tömege, a rugó direkciós állandója és a nehézségi gyorsulás – már egyértelműen meghatározták.)

Az  $A_2 = 0$  eset az első normálrezgést, az  $A_1 = 0$  pedig a második normálrezgést adja vissza. Az  $A_1 = A_2$  (és  $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ ) pedig a kísérleti bemutatón is látható szép esetet.

A következő „sárga golyós” kísérletben egy gerjesztett csatolt rezgést láthattak. Itt a két normálrezgésnek megfelelően két rezonanciafrekvencia figyelhető meg. Minél több szabadsági foka van egy rendszernek, annál több rezonanciafrekvenciája lesz. Ha megengedjük a rugóra merőleges irányú mozgásokat, akkor ennek a rendszernek is több sajátrezgése van.

A „színes golyós” kísérletben látható, hogy egy adott gerjesztésre a rendszernek az az eleme „válaszol” legerősebben, melynek a sajátfrekvenciája legközelebb áll a gerjesztés frekvenciájához. (Emlékezzenek, amit a *világvevő* rádióról meséltem.)

A *Wilberforce-inga* az egyik kedven kísérletem. Ha valakinek van egy elég laza (és elég hosszú) csavarrúgója, akkor tud ilyet készíteni: egy (elfordulást is megakadályozó módon) rárögzített kisméretű testre (pl. egy iskolai 50 g-os „súlyra”) keresztirányba vastagabb drótot lehet ragasztani, majd a drót hajlítgatásával addig játszani, hogy a longitudinális és rotációs rezgés frekvenciája épp megegyezzen.

Akinek kérdése van, írjon! November 24-én, kedden a hullámok leírásával folytatjuk.

*Vankó Péter*