

Mottó: „A kísérletek nélküli fizika nem több egy érthetetlen képletgyűjteménynél”

ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
NEMZETI OKTATÁSI MINISZTERIUM
LICEUL TEORETIC ADY ENDRE ELNÖKELETTI LICEUM
ORADEA - NAGYVÁRAD
JUDEȚUL BIHOR BIHAR MEGYE

**Stroboszkópos fényképekkel
támogatott fizikaórák
a nagyvárad i Adyban**

dr. Bartos-Elekes István, Nagyvárad, ADY Endre Líceum

A stroboszkópos képekből készült fényképalbumot

Gilicze Tamás,

Csongrádi Batsányi János Gimnázium és Kollégium tanárának

dr. Bartos-Elekes István,

a CNC stroboszkópos felvételek készítője ajánlotta fel

Tartalomjegyzék

◉ Néhány szó az album stroboszkópos képeiről	3
◉ Néhány szó a komplex berendezésről	5
◉ Első próbálkozásaim	9
◉ Klasszikus stroboszkópos képek	13
◉ A pálya viszonylagossága	23
◉ Körmozgás	34
◉ Tehetetlenség	39
◉ Rugalmas ütközések	46
◉ Mozgás a lejtőn	53
◉ Körmozgás - Rezgőmozgás	58
◉ Mechanikai rezgések	63
◉ A rugalmas inga lecsengő rezgései	73
◉ Egymásra merőleges rezgések összetétele	77
◉ Felületi hullámok	83
◉ Állóhullámok a húrokban	88
◉ Vegyes témájú képek	97
◉ Az egyszerű lefuttatást kiegészítő forrógombok	105

Néhány szó az album stroboszkópos fényképeiről

A múlt század '70-es éveinek végén egy kalibrált elektronikus stroboszkópot építettem, amely a '80-as évek végére - a frissen elfogadott szabadalmam (párhuzamos interfész, PIO) alapján - számítógépes kapcsolatot is kapott. A villantásvezérlőt egy kvarcalapú, rezidens program működtette, de ugyanaz a PC indította el és állította meg a kísérletvezérlőt és a fényképezőkocsit is, kezelte a teremvilágítást, figyelte a fényképezőgép zárszerkezetét és elindította-kezelte-megállította a kísérletet, majd kinyomtatta a mérési jegyzőkönyvet. Precíziós fénySOROMPÓK választották ki a mozgás „kifényképezendő” részét. Az addig elterjedt állandó időközű stroboszkópos fényképezéshez képest bevezettem az állandó térközű fényképezést, illetve a villantási időköz táblázatot. A fényképezőkocsi mozgását (Master-Slave módban) egy másik PC vezérelte, így sikerült a különböző módokon elmozduló (egyenletes vagy gyorsuló) megfigyelő szemével láttatnom a mozgó test helyzetét, a pálya viszonylagosságát. Érdekes egybeesés: először a golyó szabadesését állandó térközzel fényképezzük, és egy gyorsuló fényképezőkocsiból figyeljük. A második esetben állandó időközzel fényképezünk, a golyó egyenletesen ereszkedik, és az egyenletesen elmozduló fényképezőkocsiból figyeljük a pályát. Mindkét esetben egy ferdén, egyenletesen elmozduló golyó pályaképét láthatjuk.

A kezdeti nehézségek után az igen komplex számítógép-vezérelt stroboszkópos berendezéssel lefényképeztem az elemi mozgásokat, a tehetetlenséggel kapcsolatos alapvető kísérleteket, az ütközéseket, a rezgéseket, a hullámokat, a hullámjelenségeket. Különleges figyelmet fordítottam a pálya viszonylagosságának bemutatására. Igazi stroboszkópos csemege a mozgásfüggvény inverz-függvénye szerinti villantási időközzel való fényképezés, amelynek szigorúan egyenletes mozgást kellene mutatnia, de az indító elektromágnes remanenciája miatti késés pályatorzulást okoz. A torzulás mértékéből visszaszámíthatjuk a torzulás okát. Olyan képet is láthatnak, amelyben egy jóindulatú csalás van. A pálya viszonylagosságát demonstráló, szabadon eső golyónak nincs tartó-elektromágnes. Ha lenne, az állandó térközűre fényképezett pálya eltorzulna. Ezt kikerülendő, az első időközt meghosszabbítottam a visszatartási idővel, és kitöröltem a megfogó elektromágneket (ez a csalás). A plafonba szerelt lineáris oszcillátor rezgéseinek a fékezés miatti csillapodását két hónapig fényképeztem, mert a 250 felvételen a krétadarabot tartó zsinór nem maradt párhuzamos önmagával, szeizmográfként reagált minden környezeti mozgásra. Amikor ez sikerült, akkor kiderült, hogy sokkal nagyobb a baj, mert a lecsengés nem exponenciális! A kísérlet körülményeinek elemzése kiderítette, hogy így a jó, de miért? Ha jól megnézzük a három képet, akkor egyértelműen látszik az ok: a fékezést egy lényegében állandó, és nem a sebességgel arányos fékezőerő okozhatta, ugyanis a zsinórt vezető csigát finoman szabályozható csúszási súrlódással fékeztem.

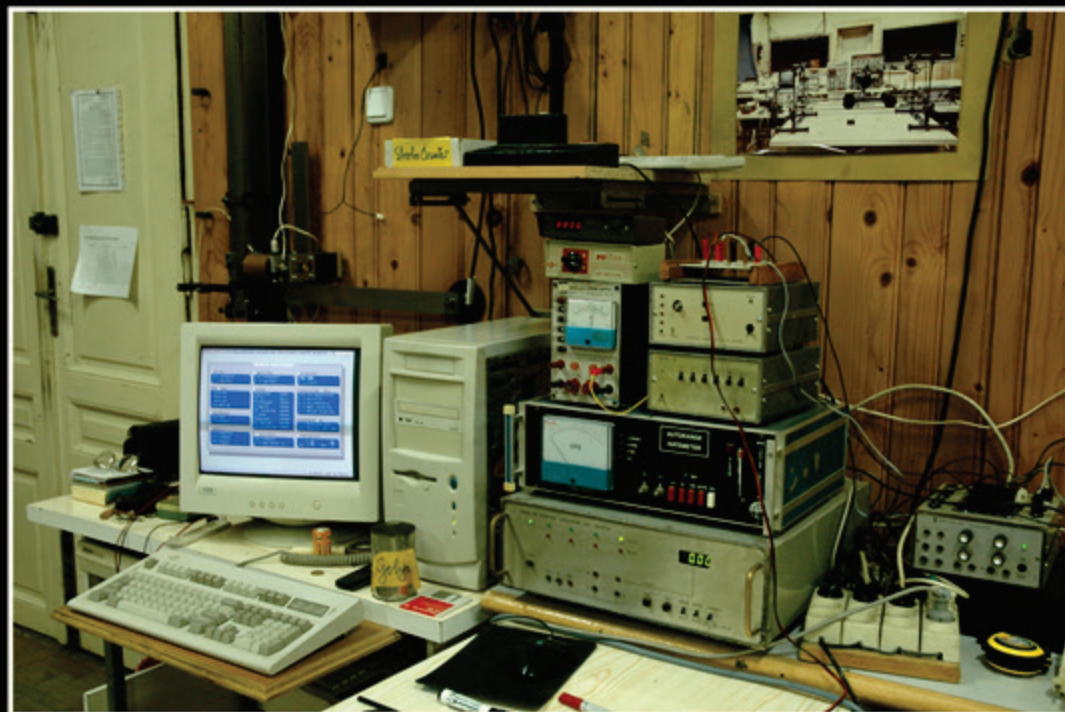
Néhány szó a komplex berendezésről



1975-ben az Altamira sok ezer éves barlangfestményei között egy nyolclábú vaddisznót láttam. Rögtön megfogalmazódott bennem a fizikatanítást segítő pályaképek készítésének a lehetősége. A hazajövetelem után egy elektronikus stroboszkópot terveztem, és meg is építettem.

A stroboszkóp vezérlése

A klasszikus stroboszkóp 1977-ben épült, de a '80-as évek végére számítógép-vezérlést is kapott. A mostani rendszer egy közepes képességű PC-ből és egy sor, saját fejlesztésű kiegészítő elektronikus készülékből áll.

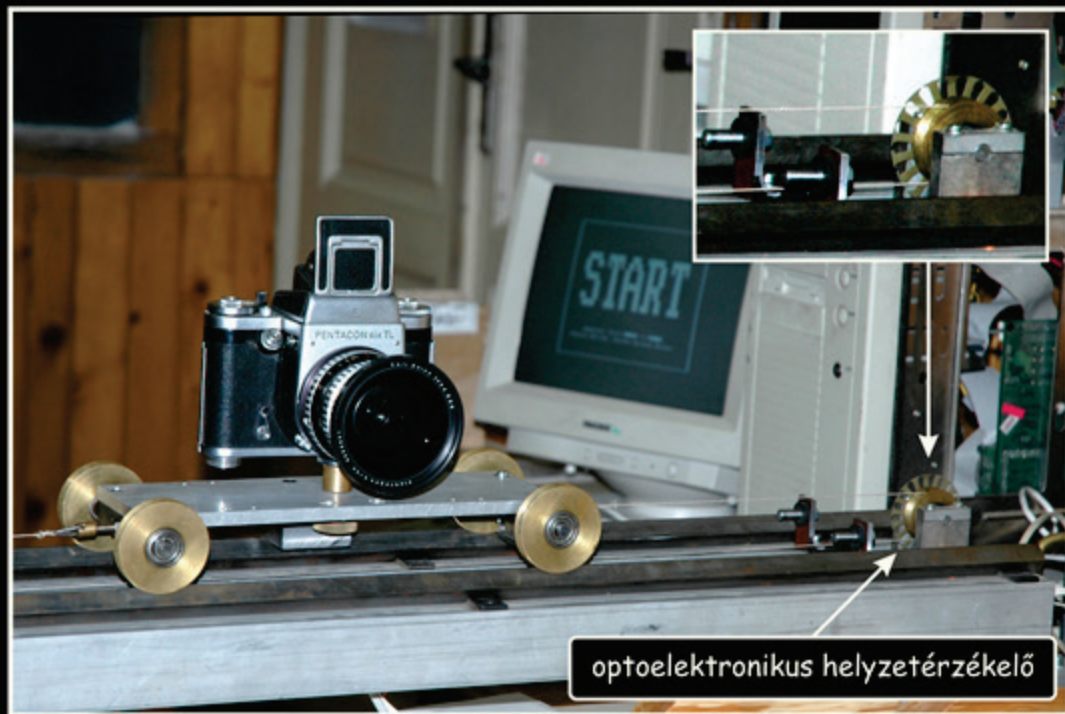


Állandó időközű fényképezés. A villantásvezérlőt egy kvarcalapú, rezidens program működteti, de ugyanaz a PC indítja el és állítja meg a kísérletvezérlőt és a fényképezőkocsit is, kezeli a teremvilágítást. Precíziós fénysorompók választják ki a mozgás „kifényképezendő” részét.

Állandó térközű fényképezés (1992). Az addig elterjedt állandó időközű stroboszkópos fényképezéshez képest bevezettem az állandó térközű fényképezést és a villantási időköz táblázatot. Ezzel a módszerrel összesen 1024, tetszésszerű villantási időközt lehet előre beállítani.

A fényképezőkocsi

Egy robusztus, párhuzamos ékpályán elmozduló, CNC kiskocsi, rajta a fényképezőgép, a mindenkori megfigyelő. A mechanikai mozgások tanításakor a pálya viszonylagosságát hivatott láttatni.



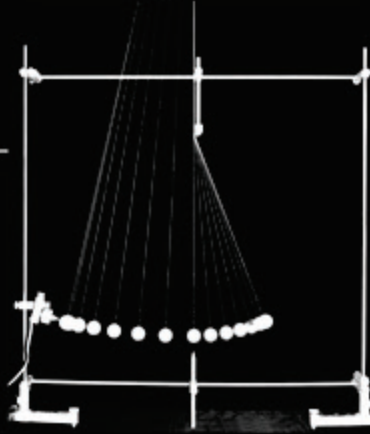
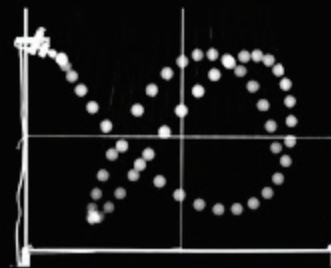
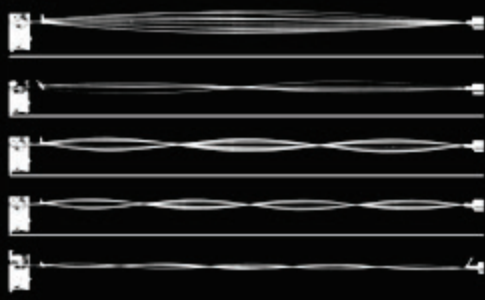
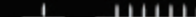
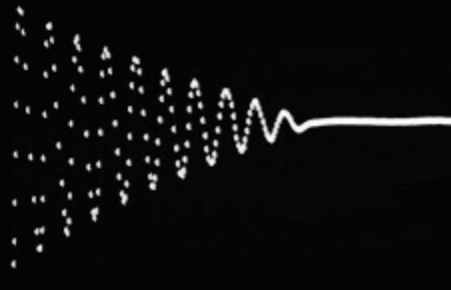
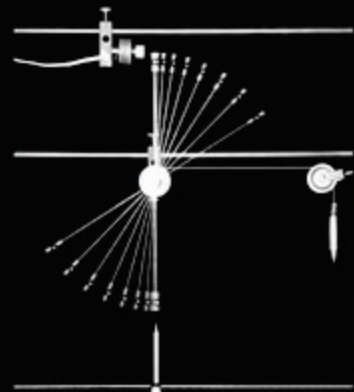
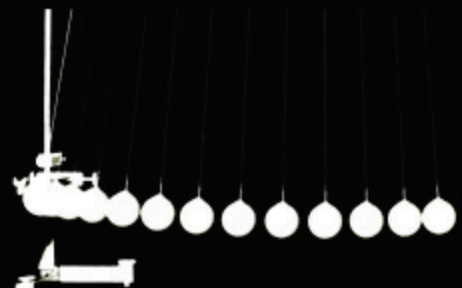
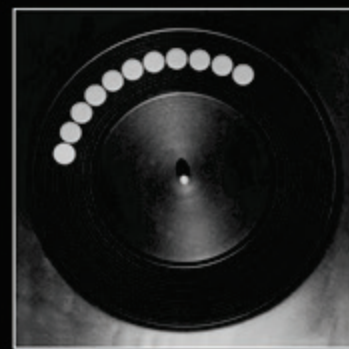
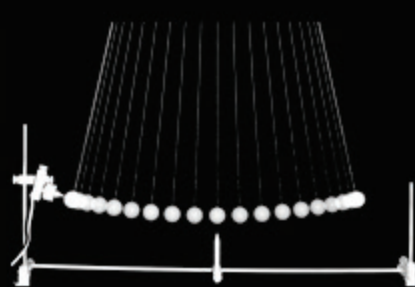
Optoelektronikus helyzetérzékelő. A kiskocsi mozgását egy másik számítógép vezérli Master-Slave módban a villantásvezérlő Master PC-vel. A mintegy 200 helyzetinformáció alapján a Slave PC a kiskocsi mozgását vezérli az előre megadott idő-elmozdulás függvény szerint.

Ha a **villantási időfüggvény** a mozgásegyenlet inverz-függvénye, akkor egyenletes mozgás látszik a képen. Amennyiben zavaró jelenségek vannak, úgy a stroboszkópos felvétel nem egyenletes mozgást jelez, ekkor megtalálhatjuk, és ki is mérhetjük a zavaró okokat.



Számítógép-vezérelt stroboszkóp

Stroboszkópos fényképekkel támogatott
fizikaórák a nagyváradí Adyban



..... Első próbálkozásaim

A kezdetek... 1977



A labda szabadesése

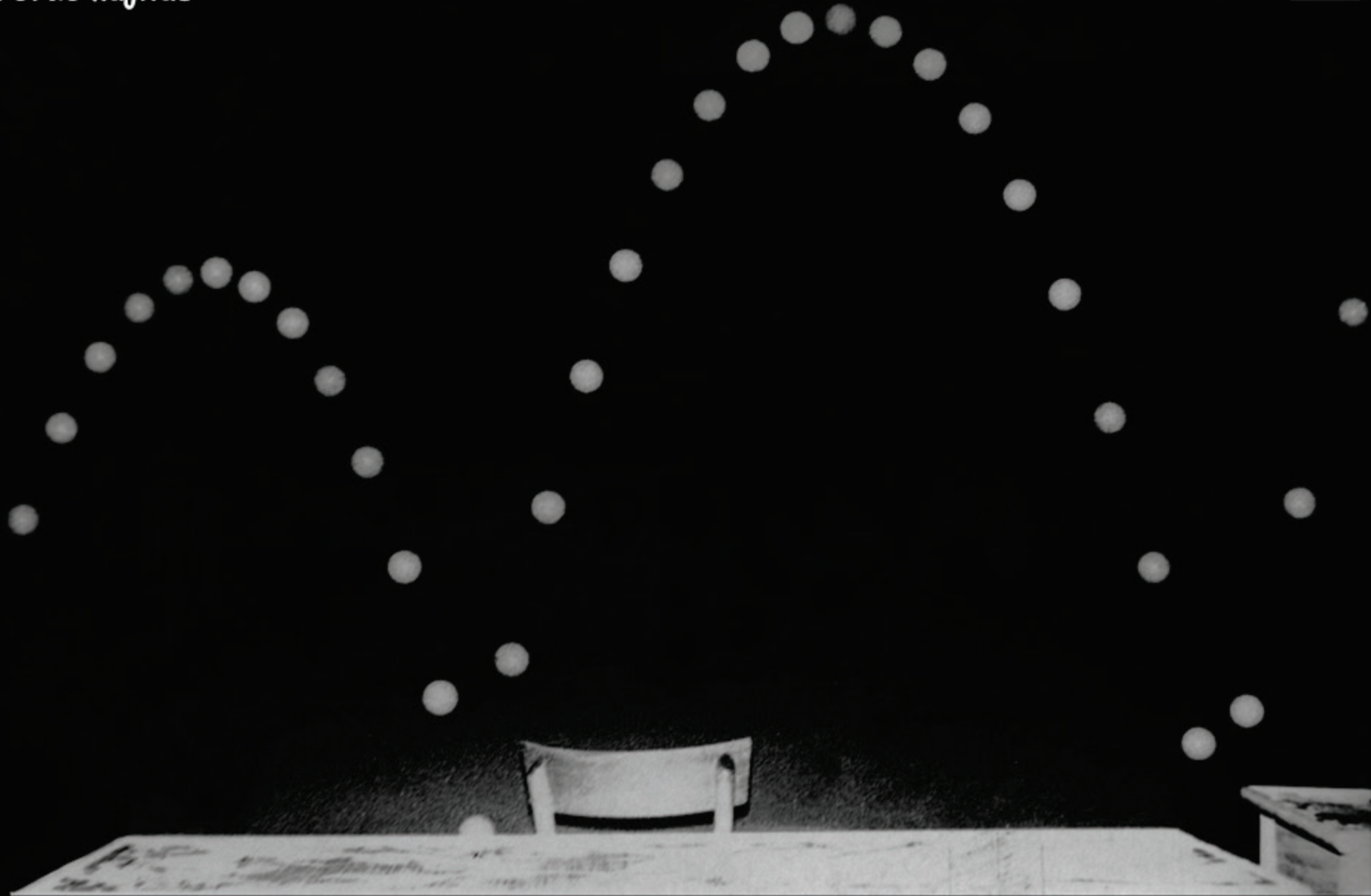


Körmozgás



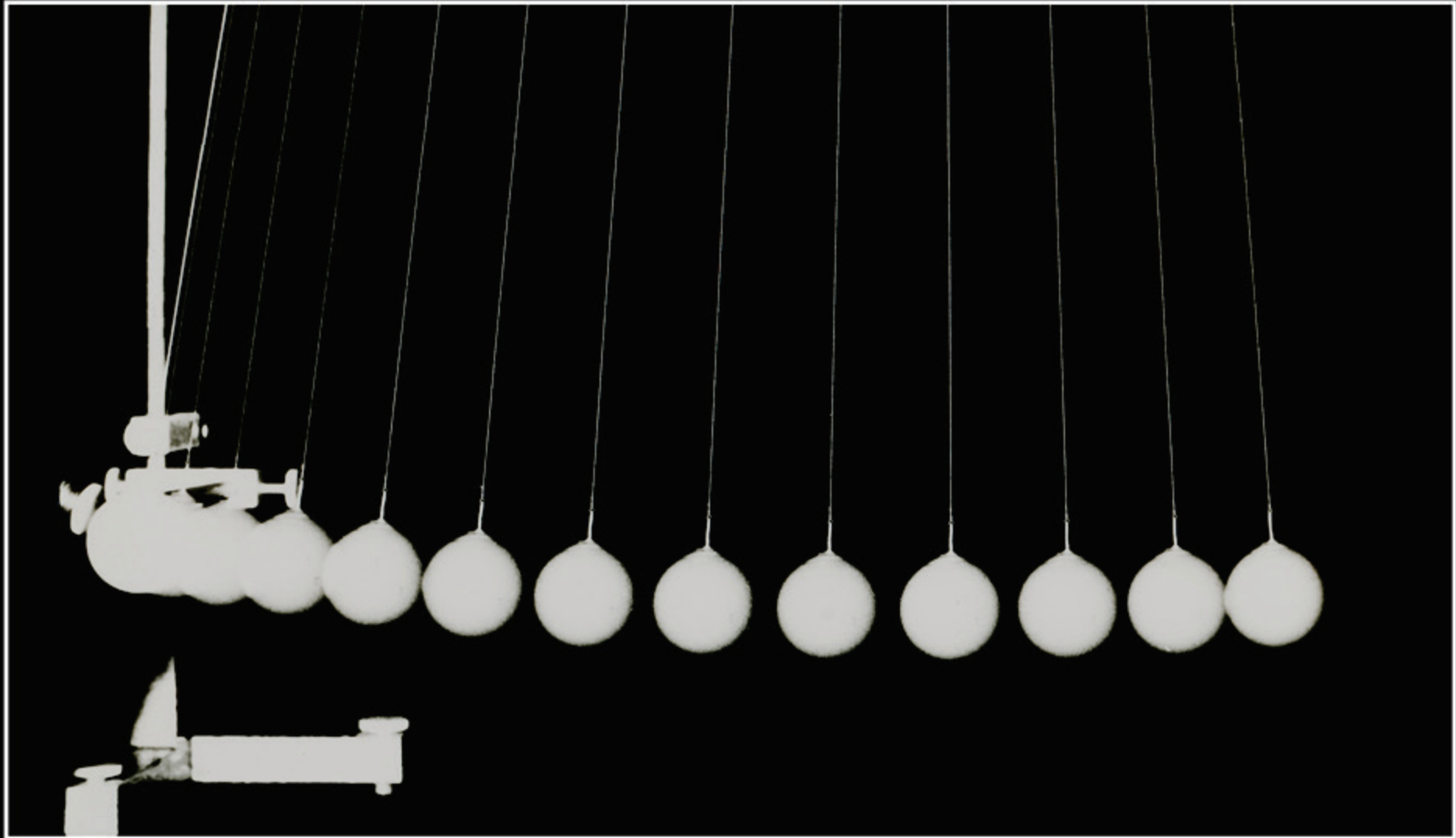
Fonálinga

Ferde hajítás



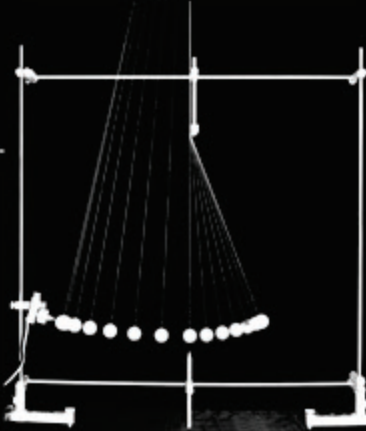
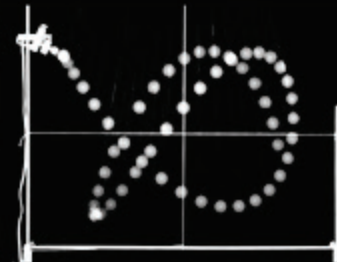
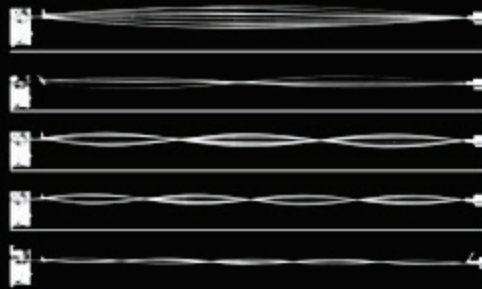
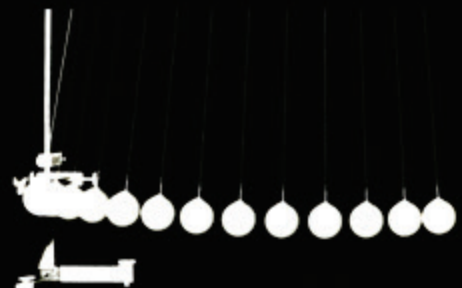
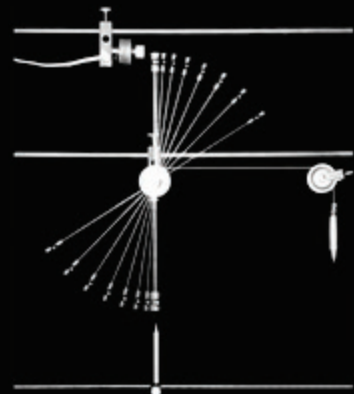
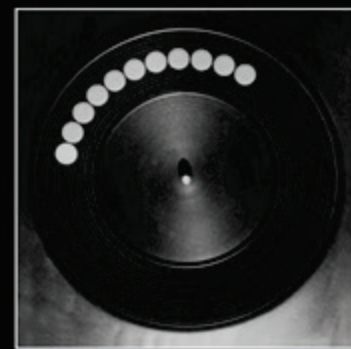
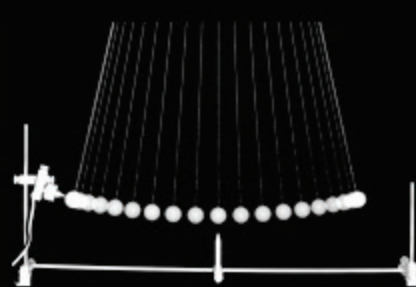
A pingponglabda pattogása. A jobbról érkező labda az asztalról energiavesztésekkel pattan vissza. Nem sikerült elkapni az első ütközést (33 villantás, $\Delta t = 50 \text{ ms}$)

Fonálinga (töredék)



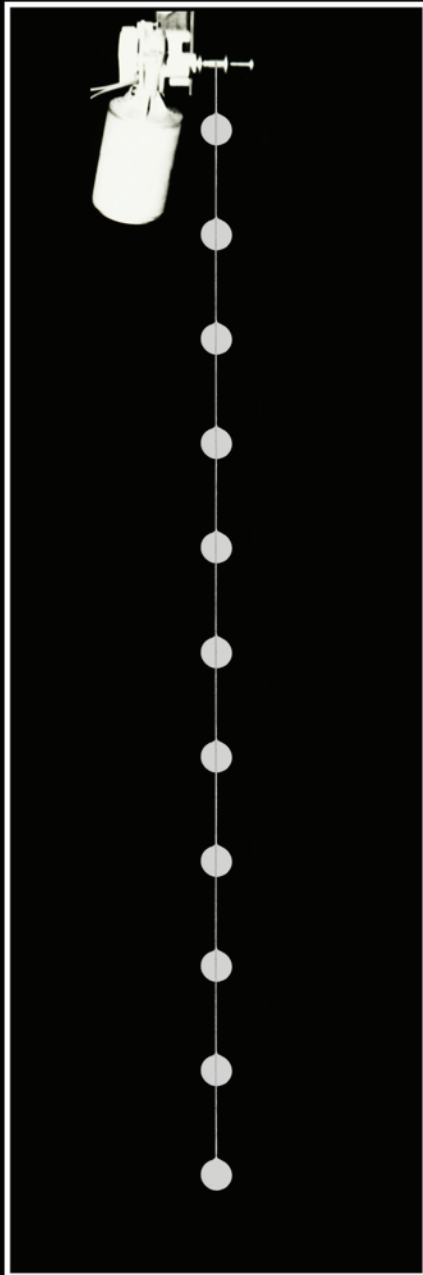
Első stroboszkópos ingaképm. A képkivágást a fényképezőgép 1 s-os zárideje segítségével oldottam meg (14 villantás, $\Delta t = 80$ ms)

Stroboszkópos fényképekkel támogatott fizikaórák a nagyváradí Adyban

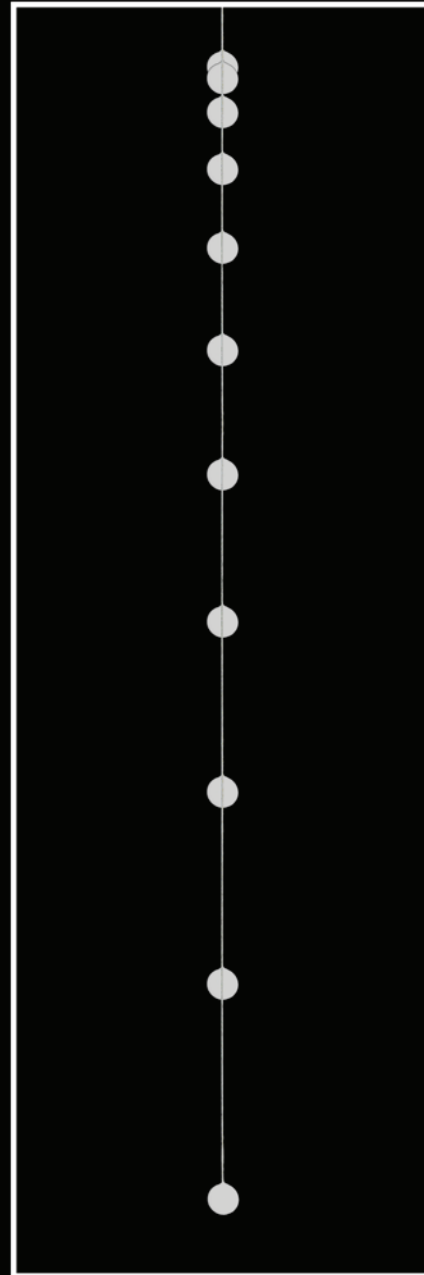


..... Klasszikus stroboszkópos képek

Egyenletes és gyorsuló mozgás (1:4)

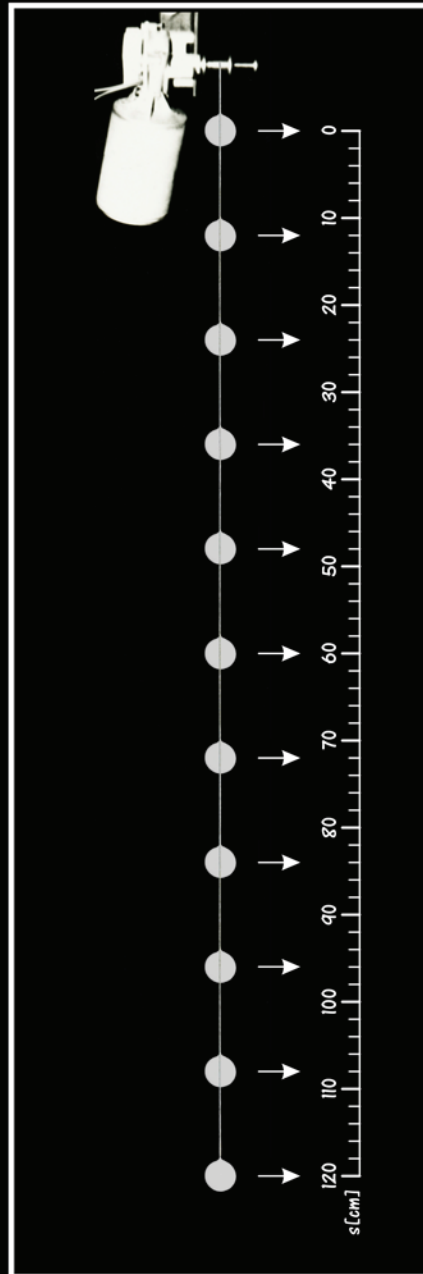


$s = 1,20 \text{ m}$; $v = 1,20 \text{ m/s}$; ($\Delta t = 100 \text{ ms}$)

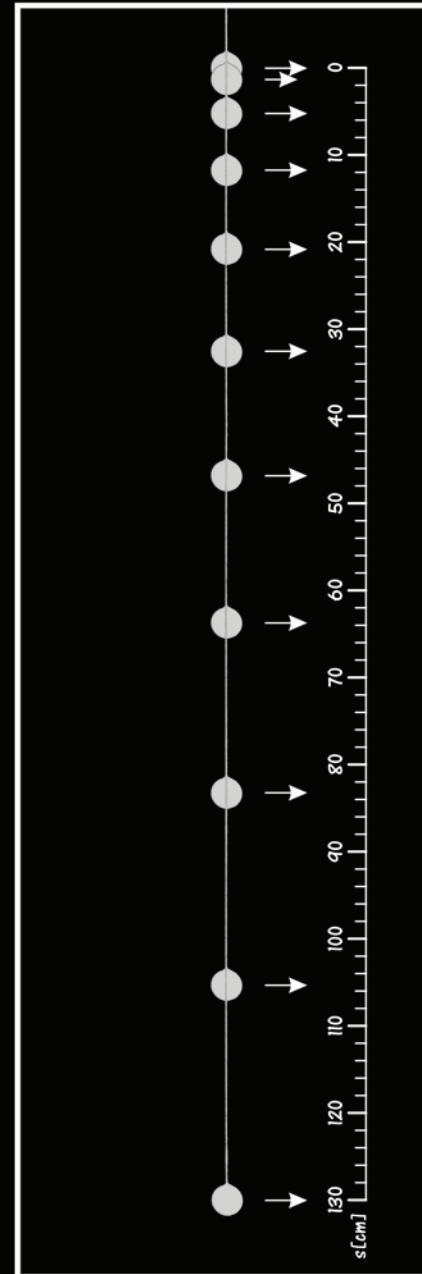


$s = 1,30 \text{ m}$; $a = 2,60 \text{ m/s}^2$; ($\Delta t = 100 \text{ ms}$)

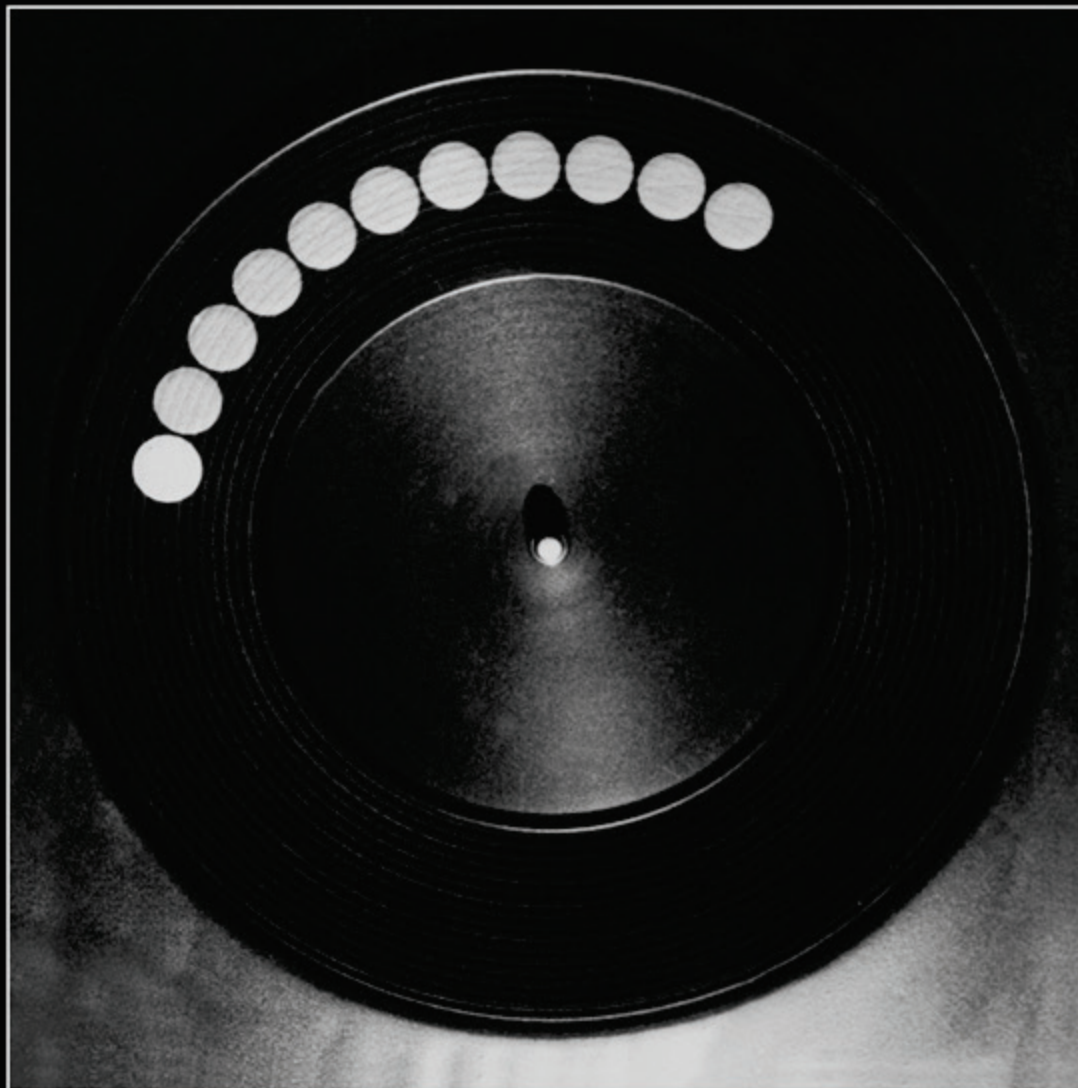
Egyenletes és gyorsuló mozgás (1:4)



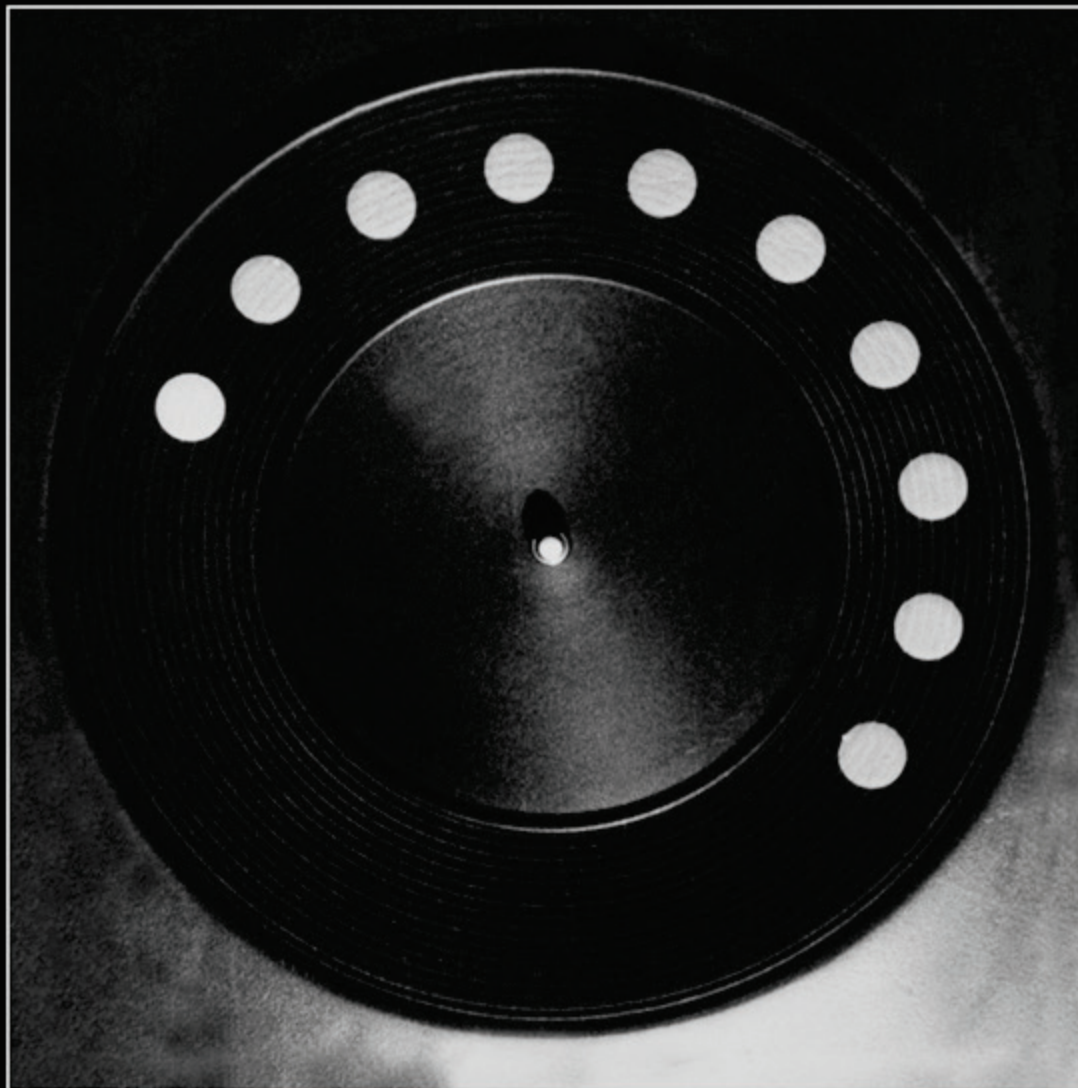
$s = 1,20 \text{ m}$; $v = 1,20 \text{ m/s}$; ($\Delta t = 100 \text{ ms}$)



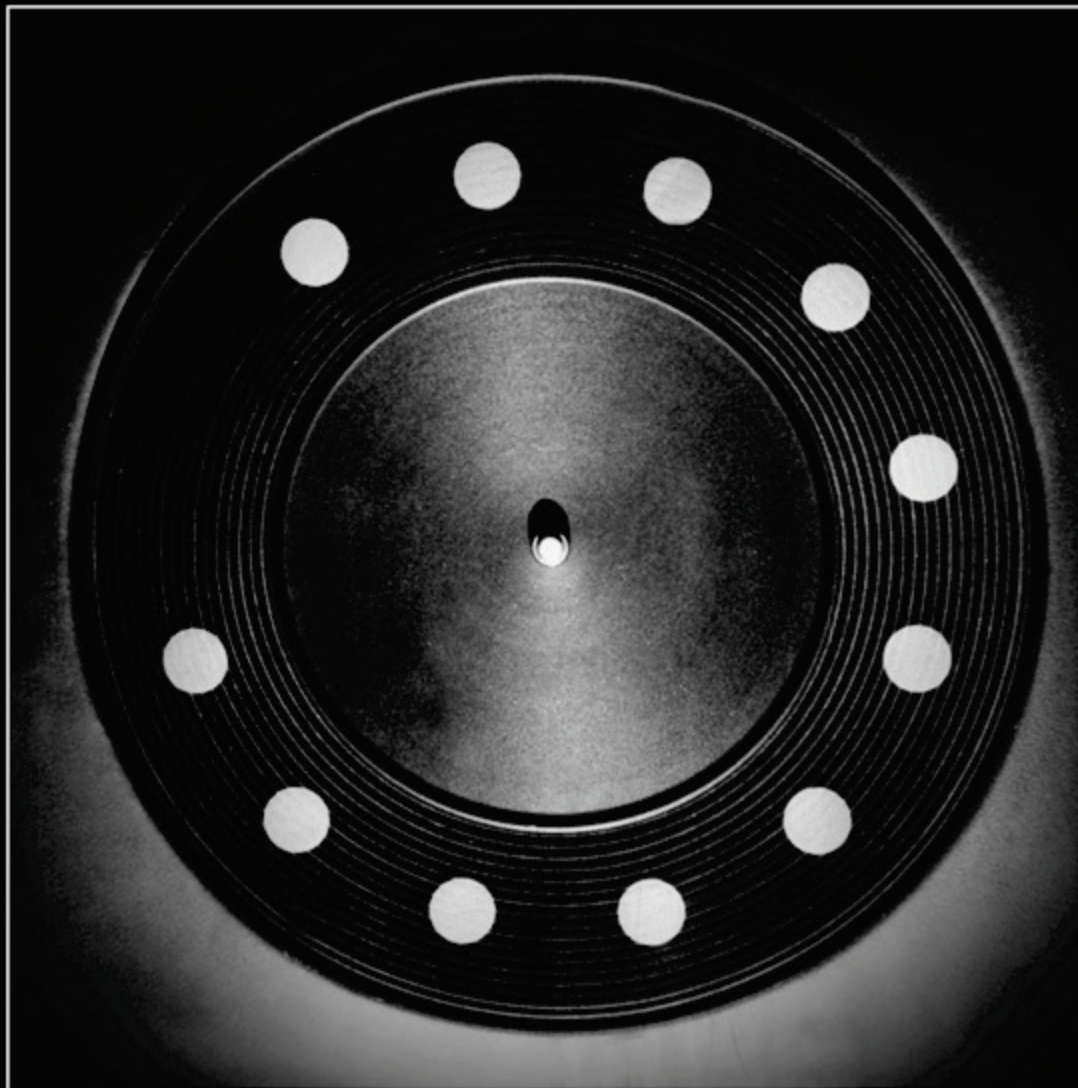
$s = 1,30 \text{ m}$; $a = 2,60 \text{ m/s}^2$; ($\Delta t = 100 \text{ ms}$)



Egy aszpirin a lemezjátszó korongján (RPM = 16; $\Delta t = 110$ ms)



Egy aszpirin a lemezjátszó korongján (RPM = 33; $\Delta t = 110$ ms)



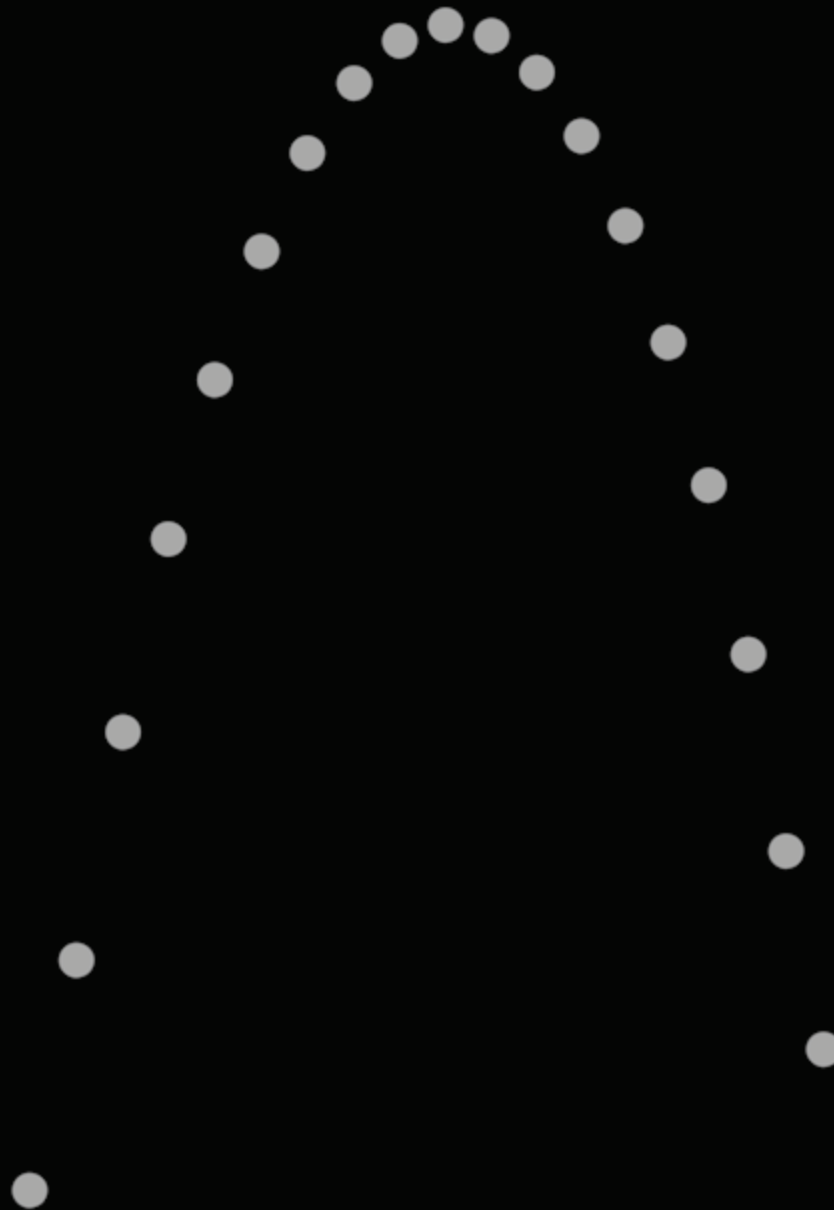
Egy aszpirin a lemezjátszó korongján (RPM = 45; $\Delta t = 110$ ms)

Pattogó pingponglabda



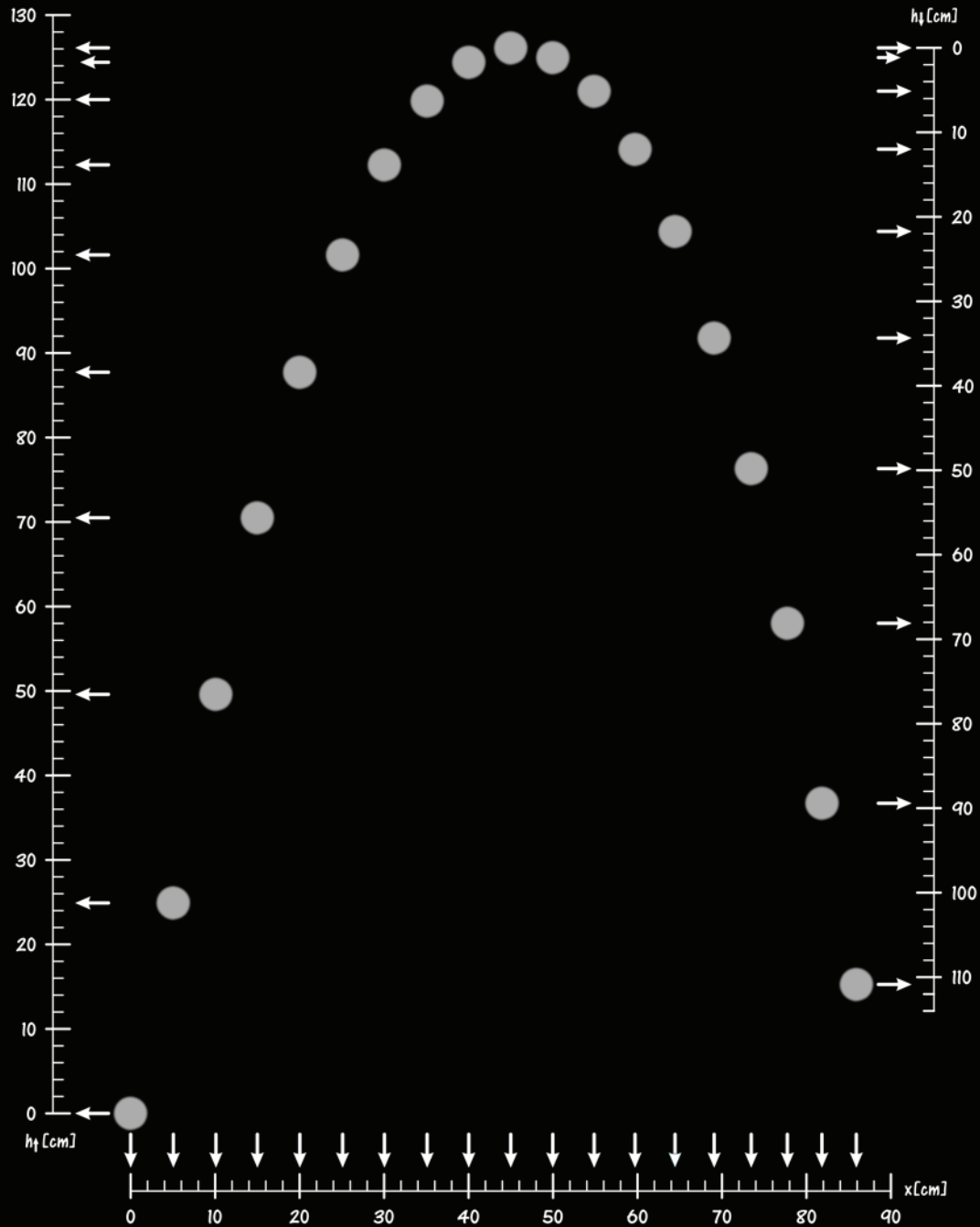
A jobbról érkező labda az asztalról energiavesztésekkel pattan vissza. Nem sikerült elkapni az első ütközést (47 villantás, $\Delta t = 50$ ms)

Valós ferde hajítás

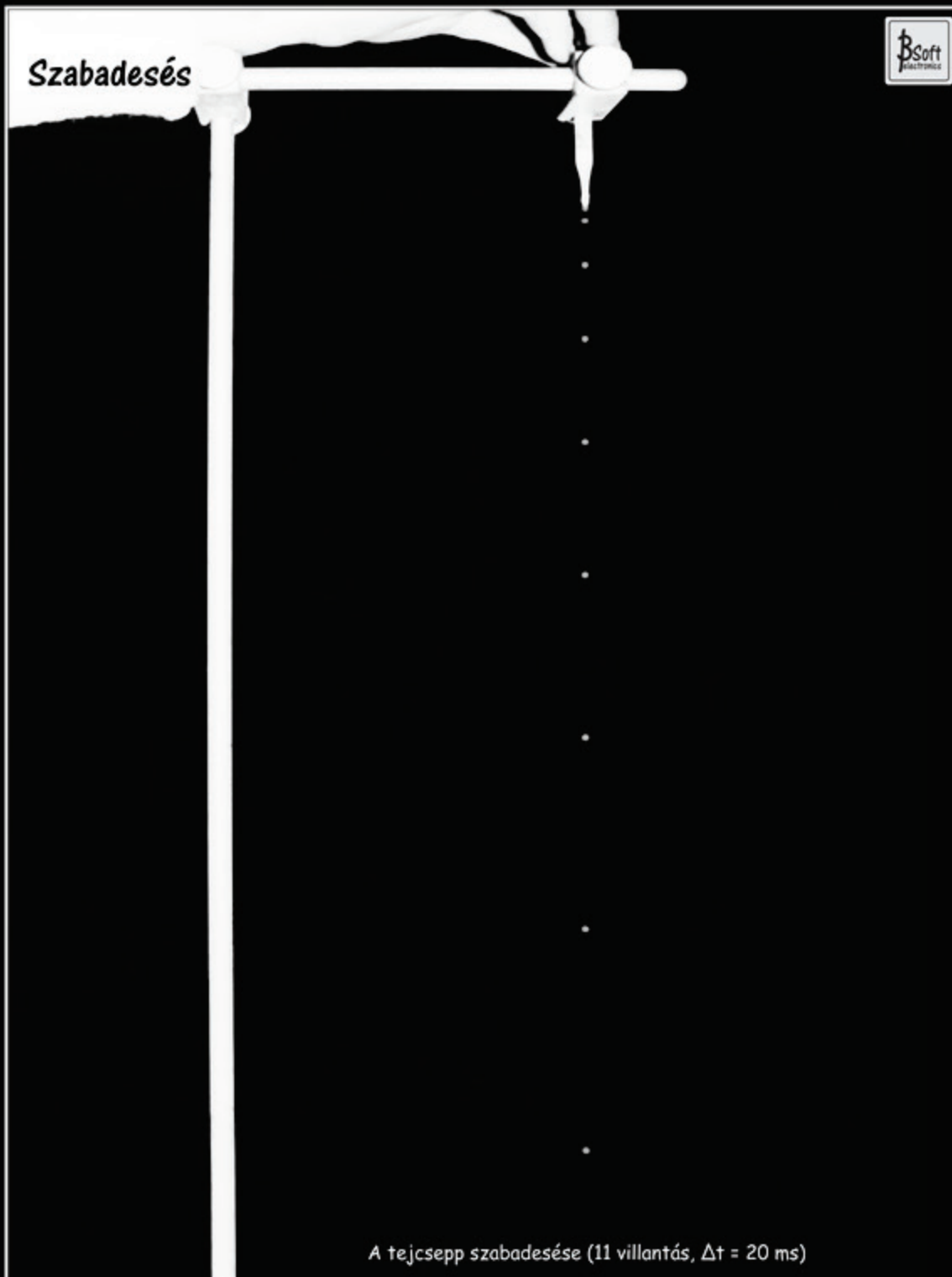


Az asztról visszapattanó pingponglabda energiavesztéséges mozgása (19 villantás, $\Delta t = 60$ ms)

Valós ferde hajítás

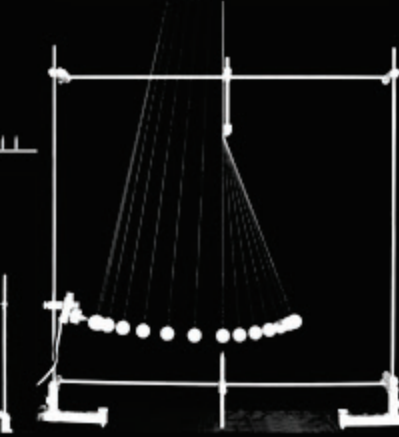
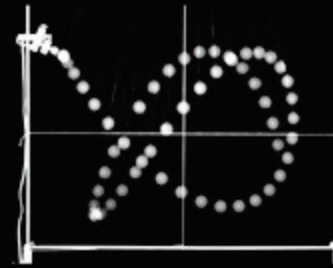
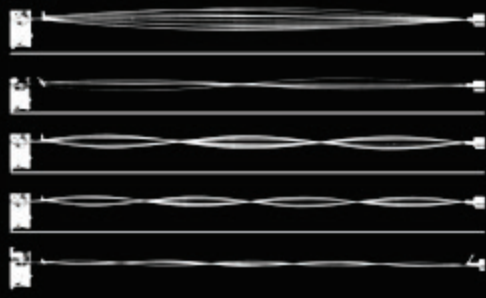
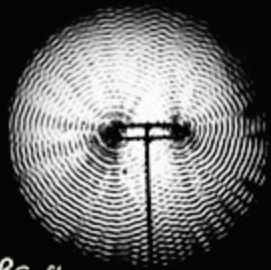
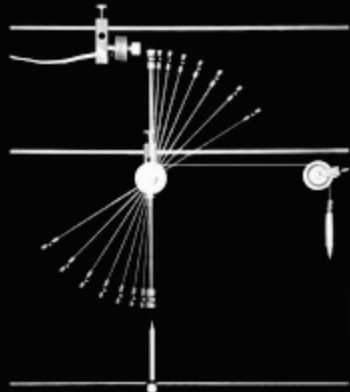
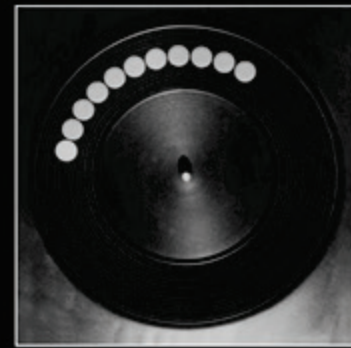
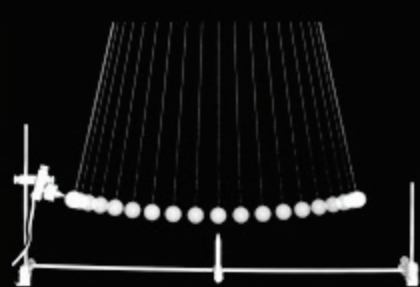


Az asztról visszapattanó pingponglabda energiavesztéses mozgása (19 villantás, $\Delta t = 60$ ms)



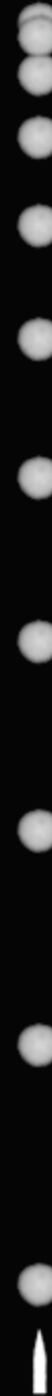
A tejcsepp szabadesése (11 villantás, $\Delta t = 20$ ms)

Stroboszkópos fényképekkel támogatott fizikaórák a nagyváradi Adyban



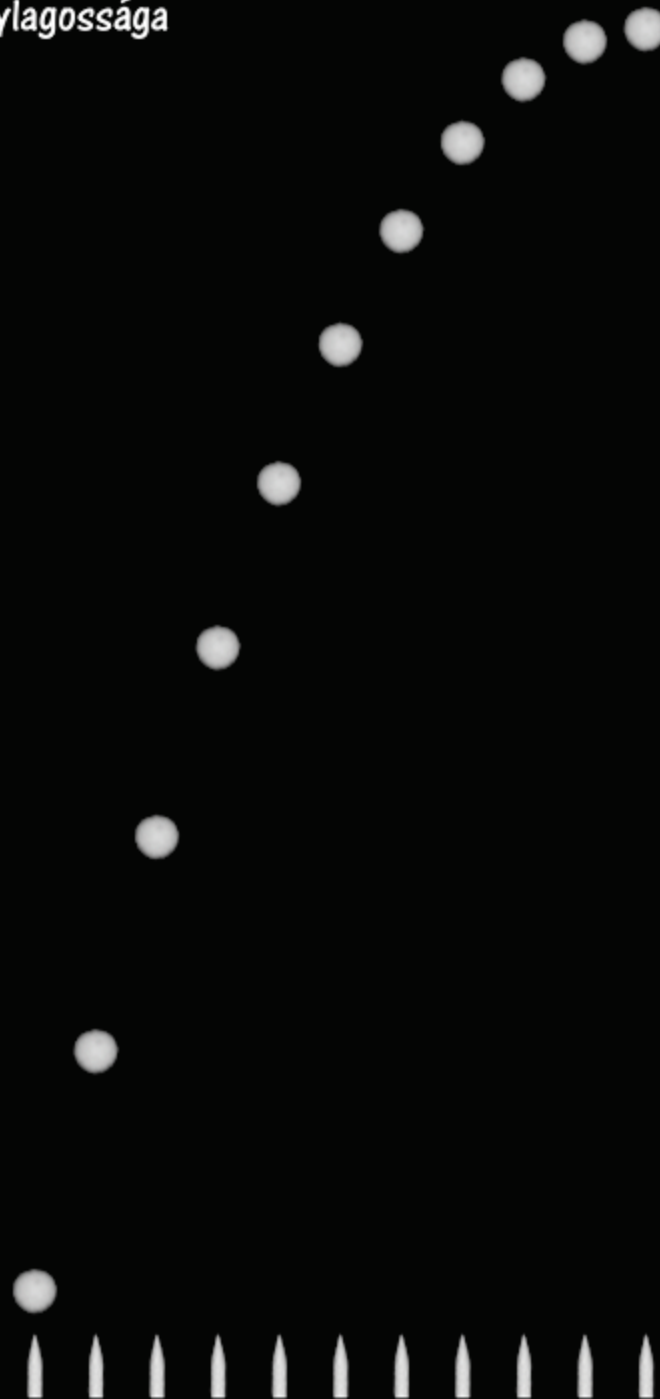
..... A pálya viszonylagossága

A pálya viszonylagossága



Ilyennek látja a szabadon eső test pályáját az álló megfigyelő (állandó időközű felvétel)

A pálya viszonylagossága



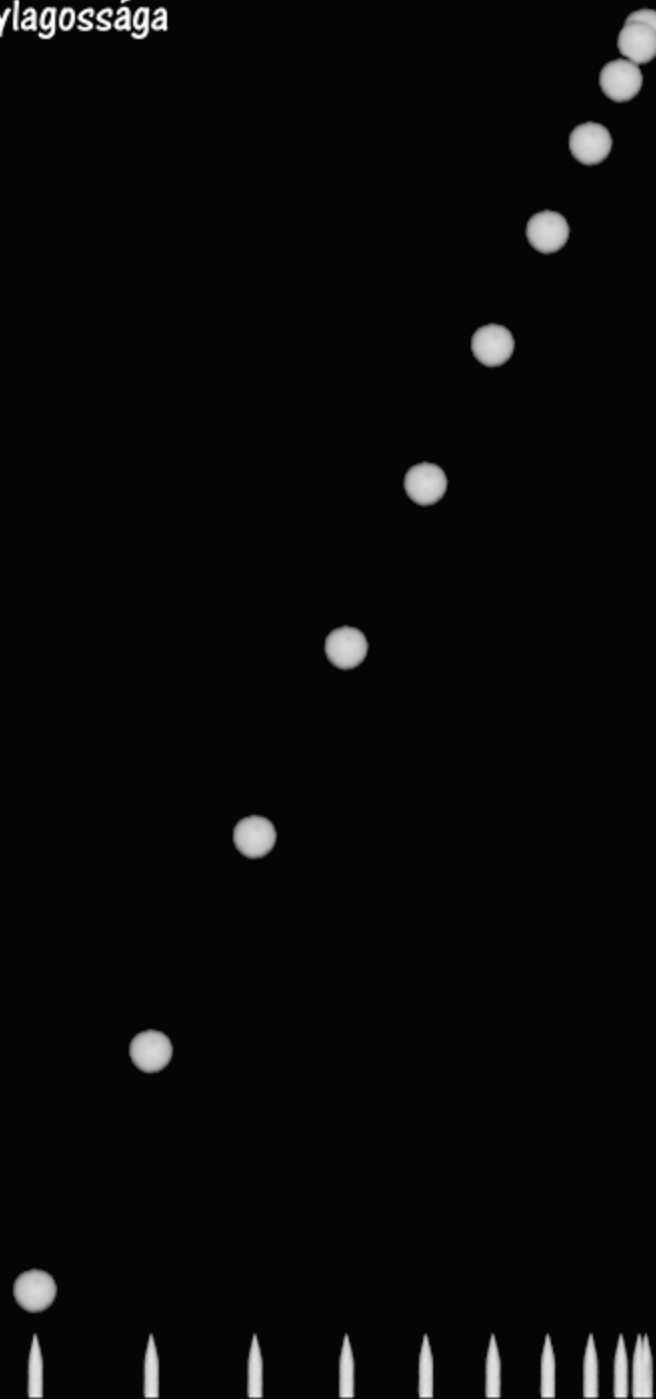
Ilyennek látja a szabadon eső test pályáját a jobbra egyenletesen elmozduló megfigyelő (állandó időközű felvétel)

A pálya viszonylagossága



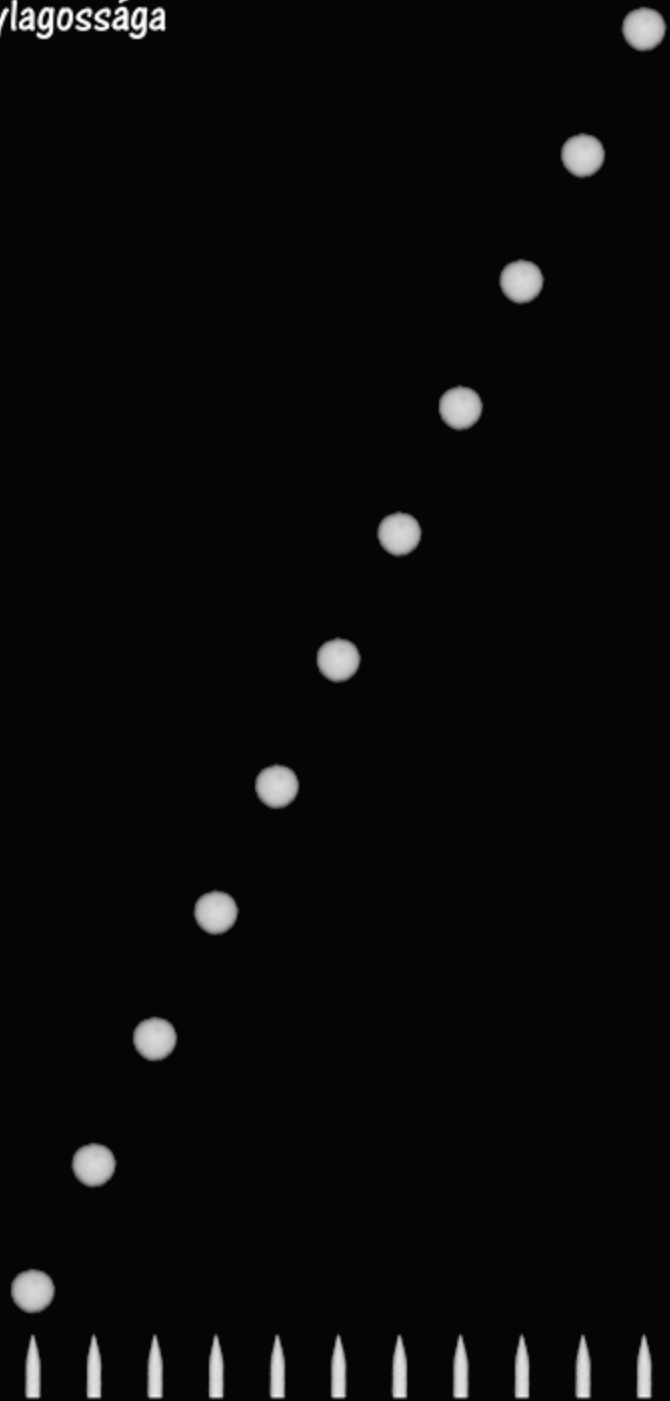
Ilyennek látja a szabadon eső test pályáját az álló megfigyelő (állandó térközű felvétel)

A pálya viszonylagossága



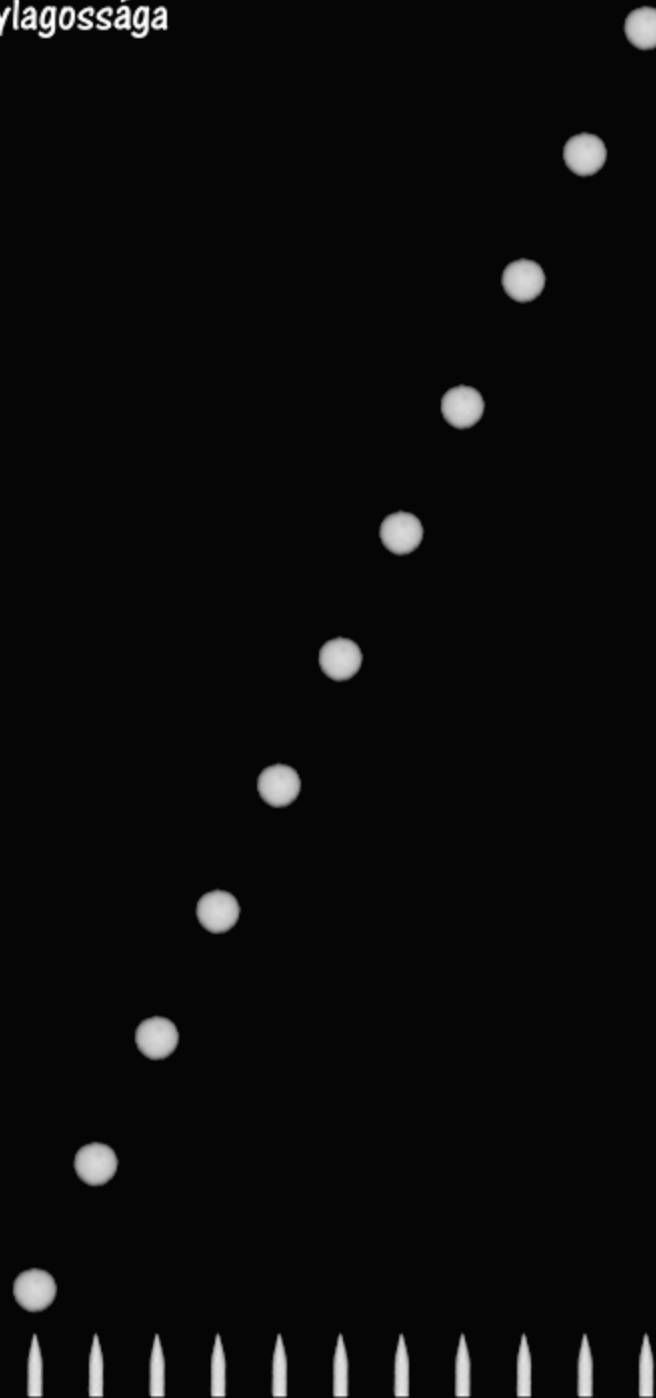
Ilyennek látja a szabadon eső test pályáját a jobbra, gyorsulva elmozduló megfigyelő (állandó időközű felvétel)

A pálya viszonylagossága



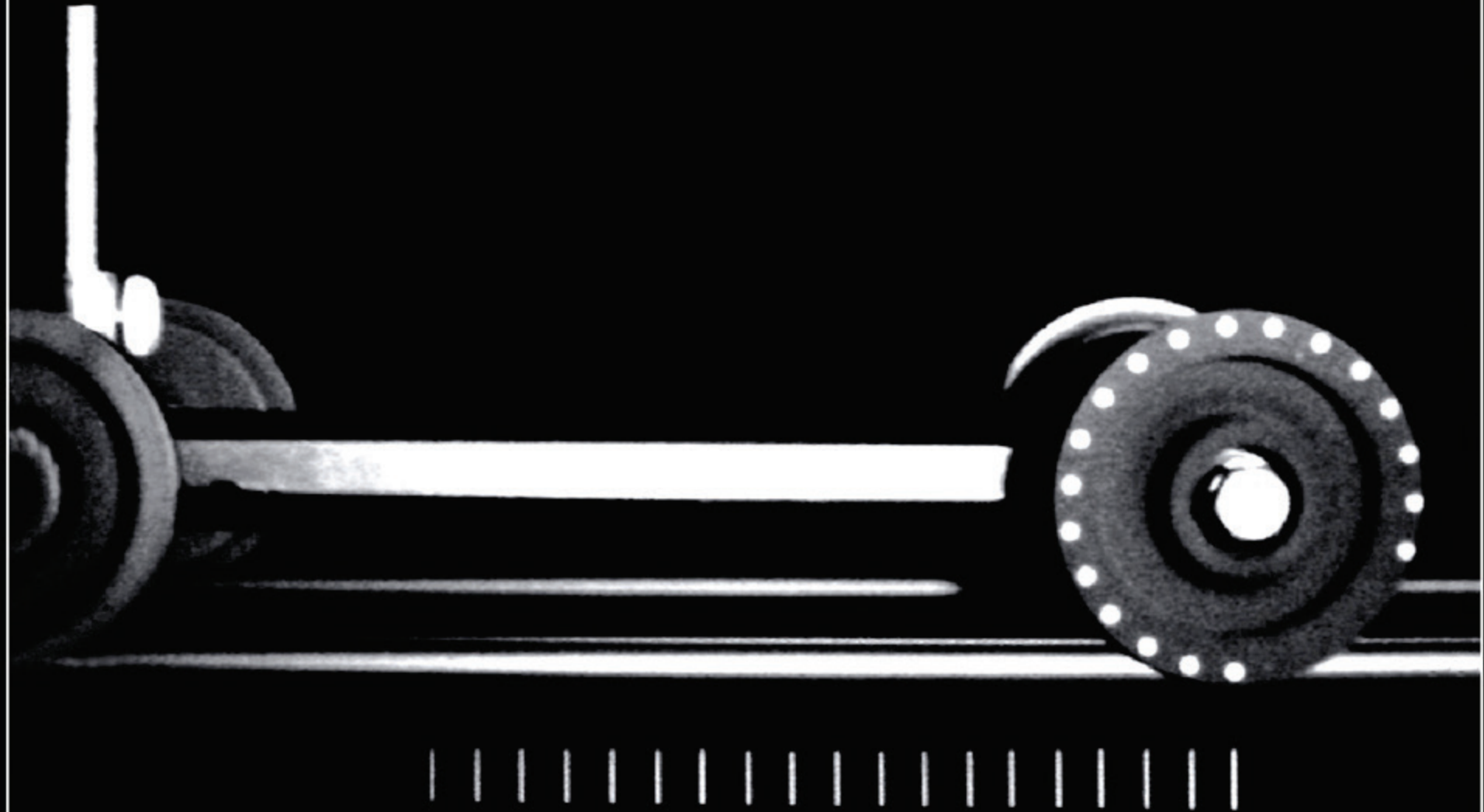
Ilyennek látja a szabadon eső test pályáját a jobbra, gyorsulva elmozduló megfigyelő (állandó térközű felvétel)

A pálya viszonylagossága



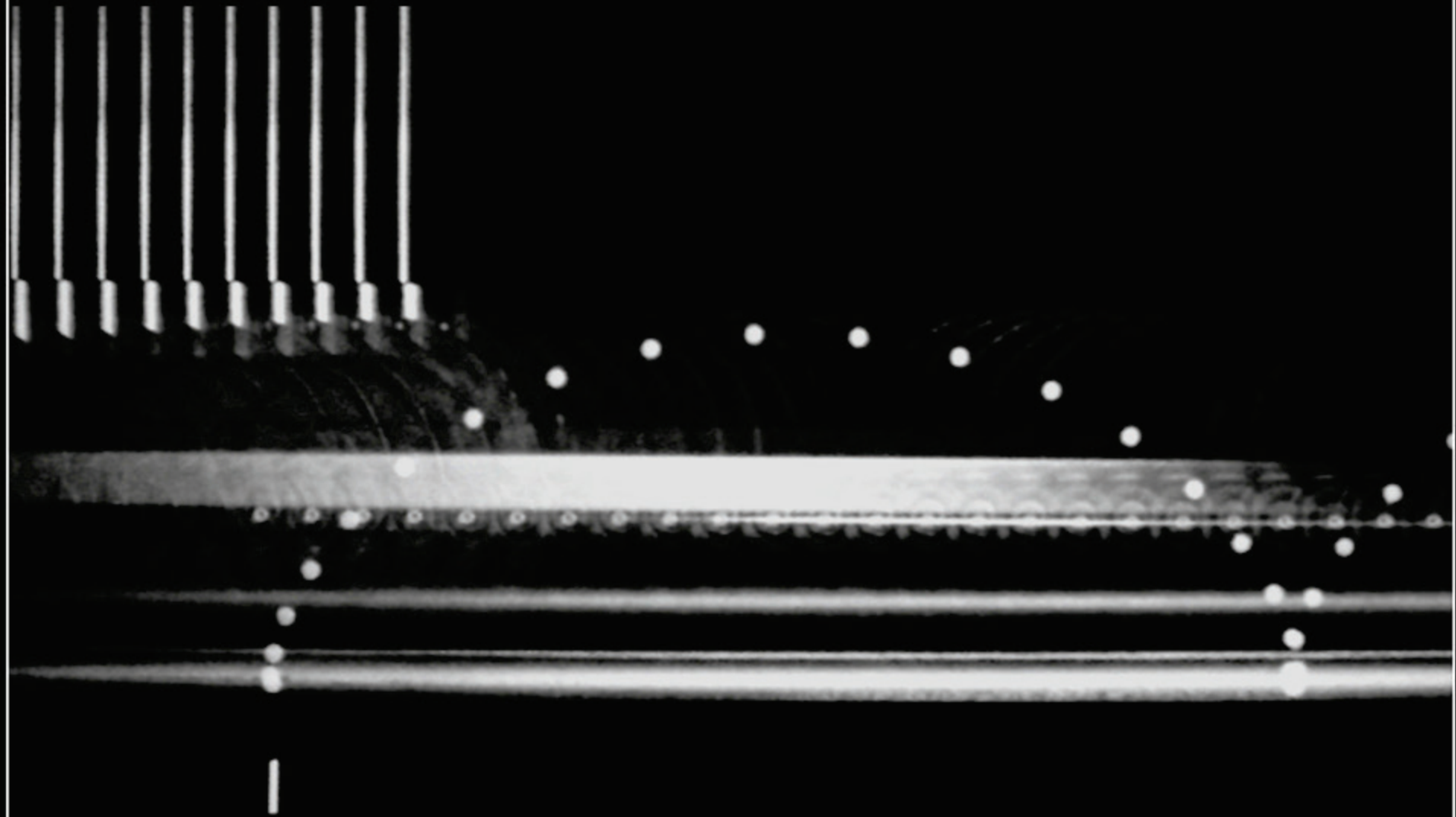
Ilyennek látná a lefele, egyenletesen mozgó test pályáját a jobbra, egyenletesen elmozduló megfigyelő (állandó időközű felvétel)

A pálya viszonylagossága



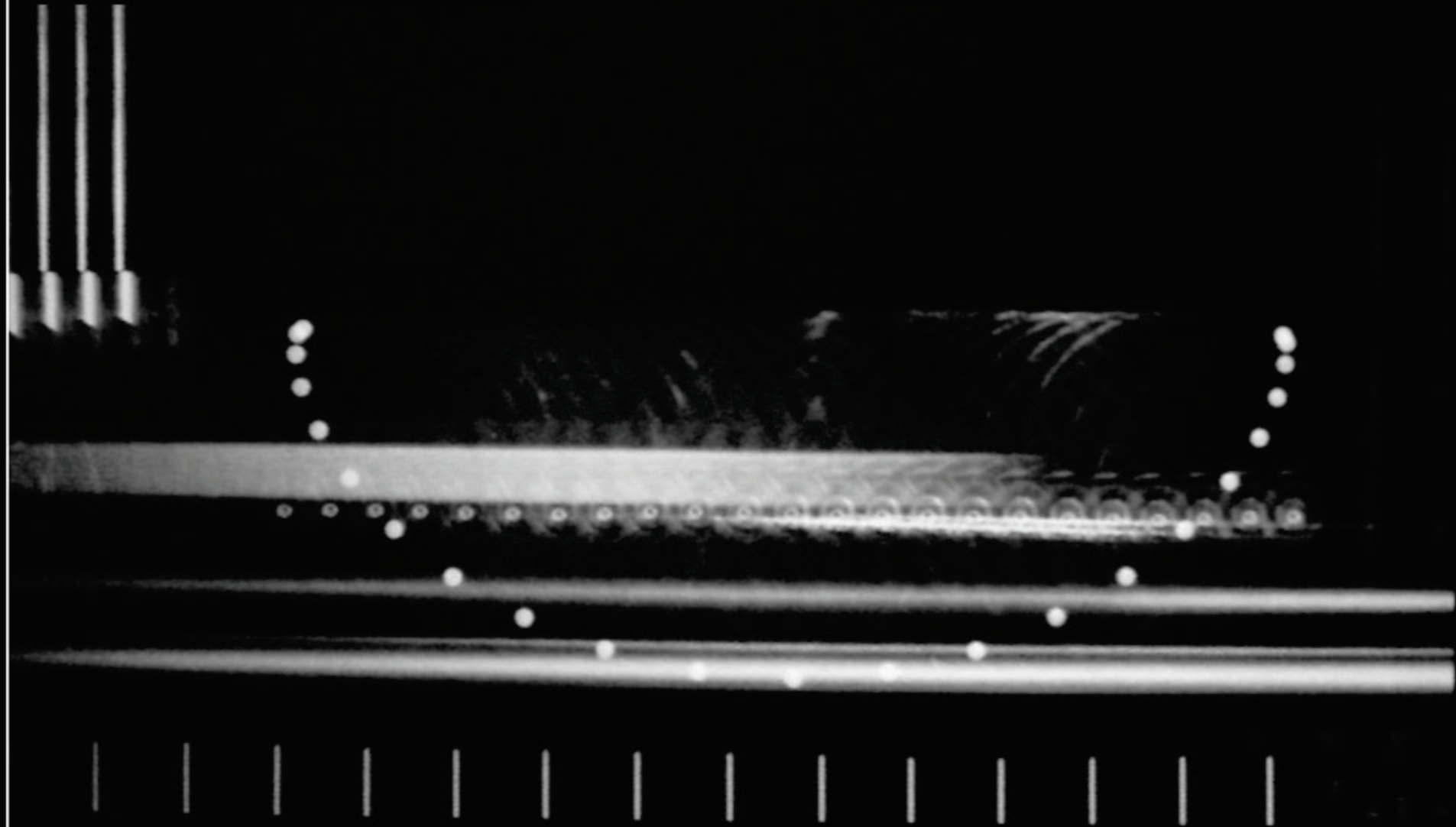
A v sebességű kiskocsi kereke peremén levő fehér petty pályáját ilyenek látja a kocsival együtt, jobbra elmozduló megfigyelő

A pálya viszonylagossága



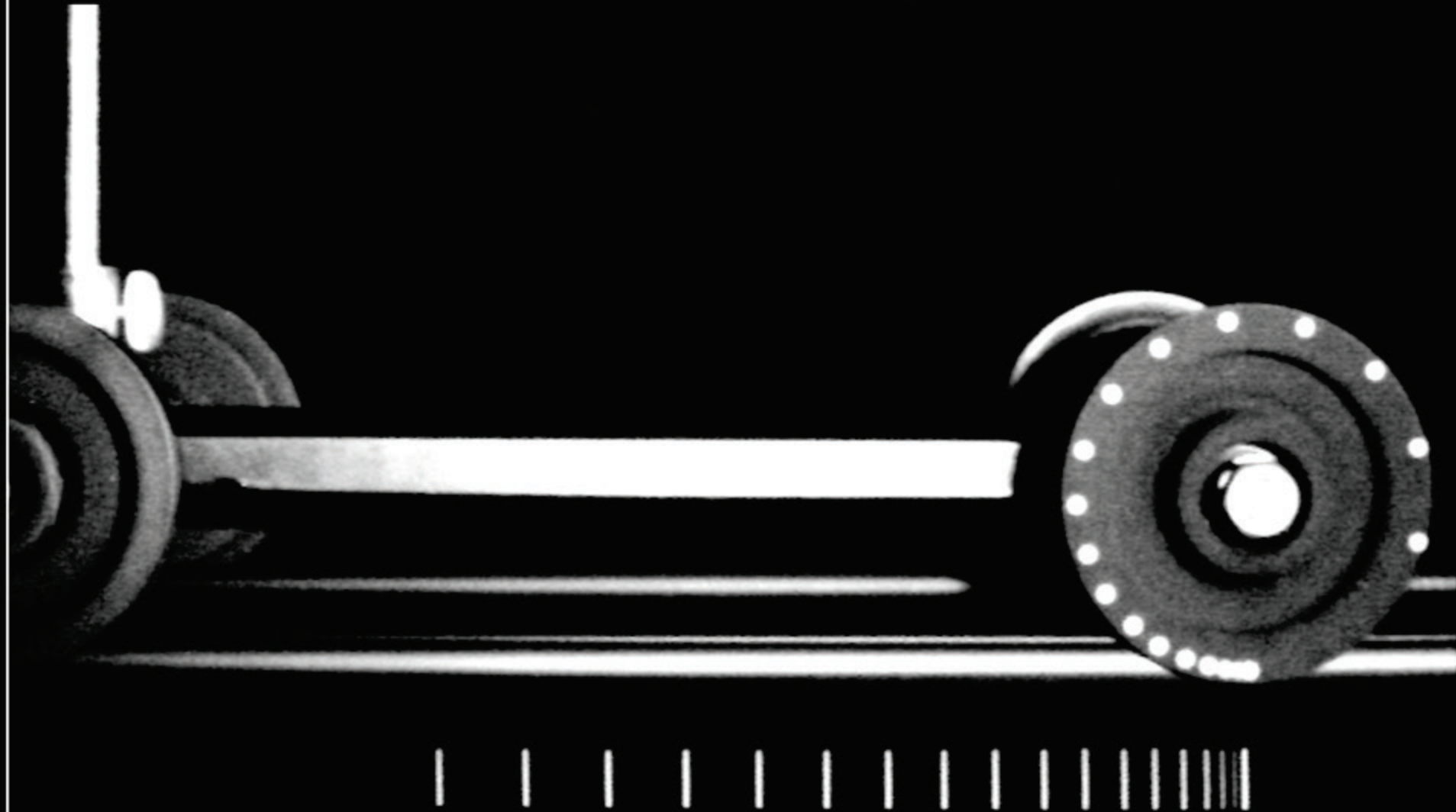
A v sebességű kiskocsi kereke peremén levő fehér petty pályáját ilyenek (ciklois) látja az álló megfigyelő

A pálya viszonylagossága



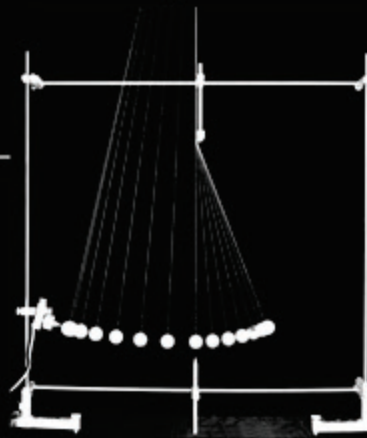
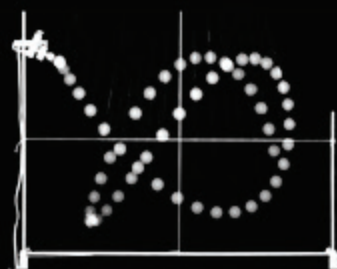
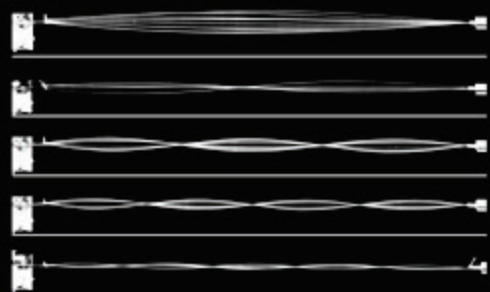
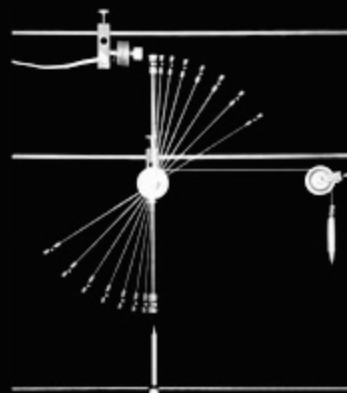
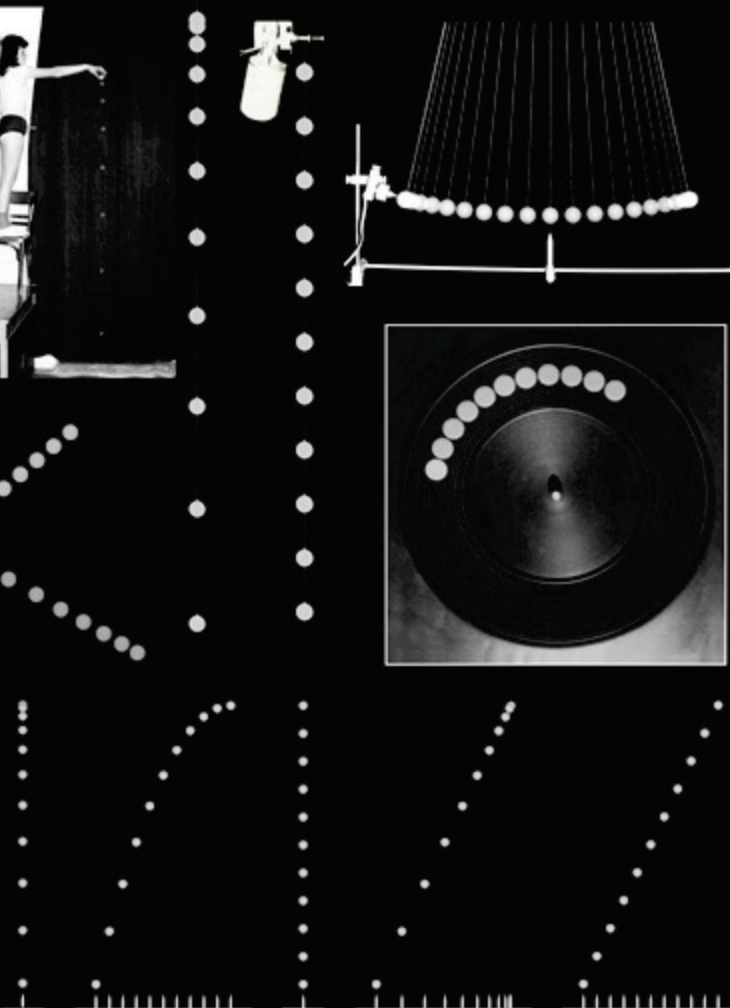
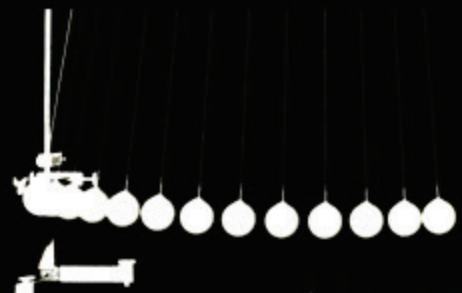
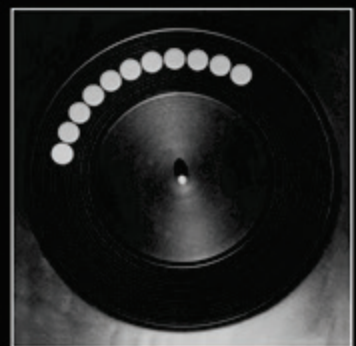
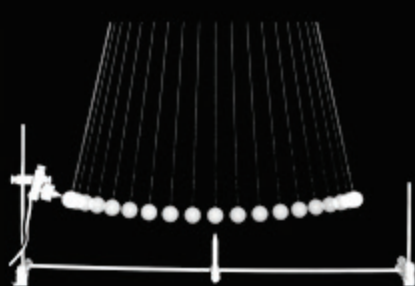
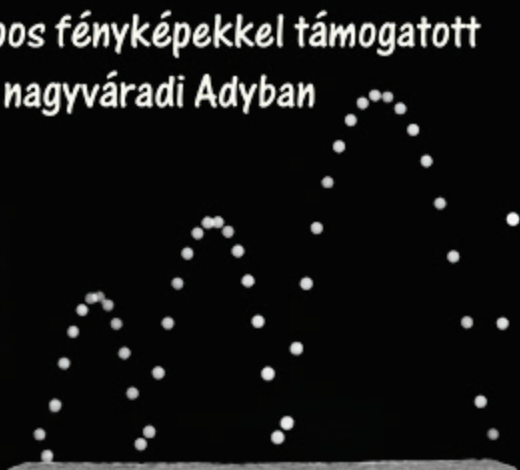
A v sebességgel mozgó kiskocsi kereke peremén levő fehér petty pályáját ilyenek látja a jobbra, 2v-vel elmozduló megfigyelő

A pálya viszonylagossága



A gyorsuló kiskocsi kereke peremén levő fehér petty pályáját ilyenek látja a kocsival együtt, jobbra elmozduló megfigyelő

Stroboszkópos fényképekkel támogatott
fizikaórák a nagyváradí Adyban



Egyenletes körmozgás



A lemezjátszó korongjára egy aszpirt helyeztem. A stroboszkópos fényképezést egy fénySOROMPÓ indítja ($n = 33 \text{ RPM}$; 11 villantás; $\Delta t = 100 \text{ ms}$)

Egyenletes körmozgás



A lemezjátszó korongjára egy aszpirint helyeztem. A stroboszkópos fényképezést egy fényesorompó indítja ($n = 45 \text{ RPM}$; 11 villantás; $\Delta t = 100 \text{ ms}$)

Gyorsuló körmozgás



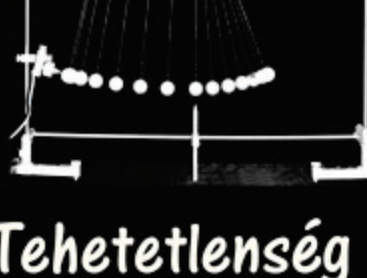
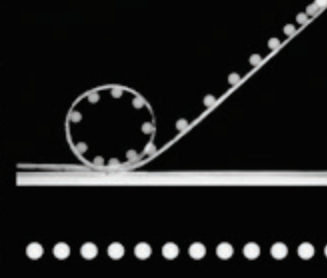
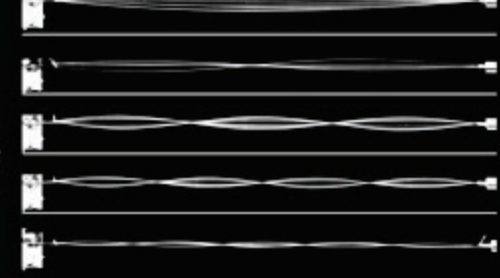
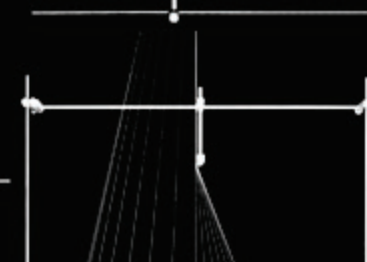
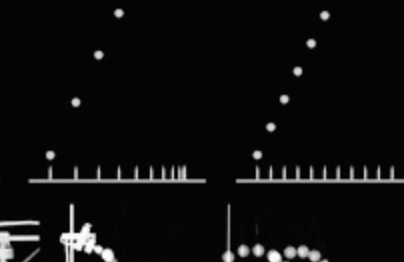
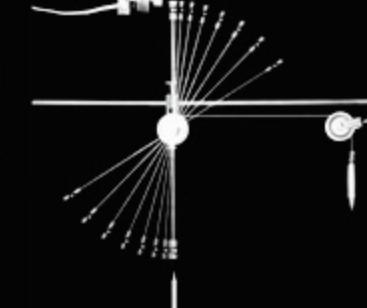
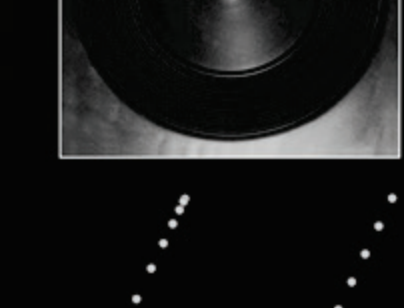
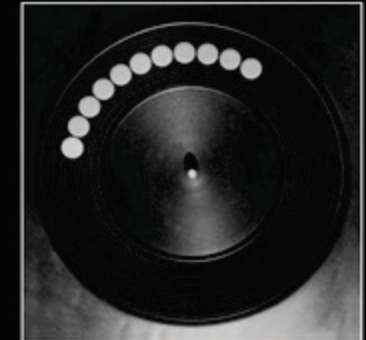
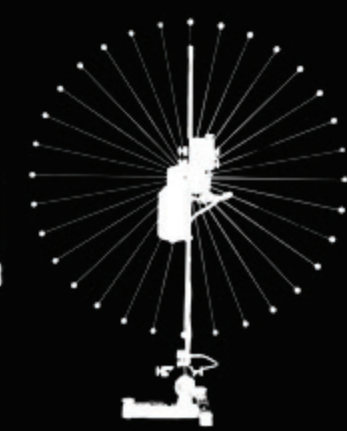
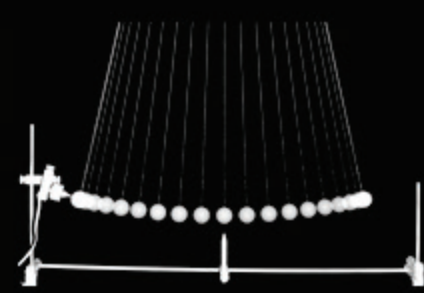
A lemezjátszó korongjára egy aspirint helyeztem, majd bekapcsoltam a lemezjátszót. A stroboszkópos fényképezést a fényesorompó indítja ($n_{Max} = 45 \text{ RPM}$; 10 villantás; $\Delta t = 200 \text{ ms}$)

Kerületi sebesség - szögsebesség



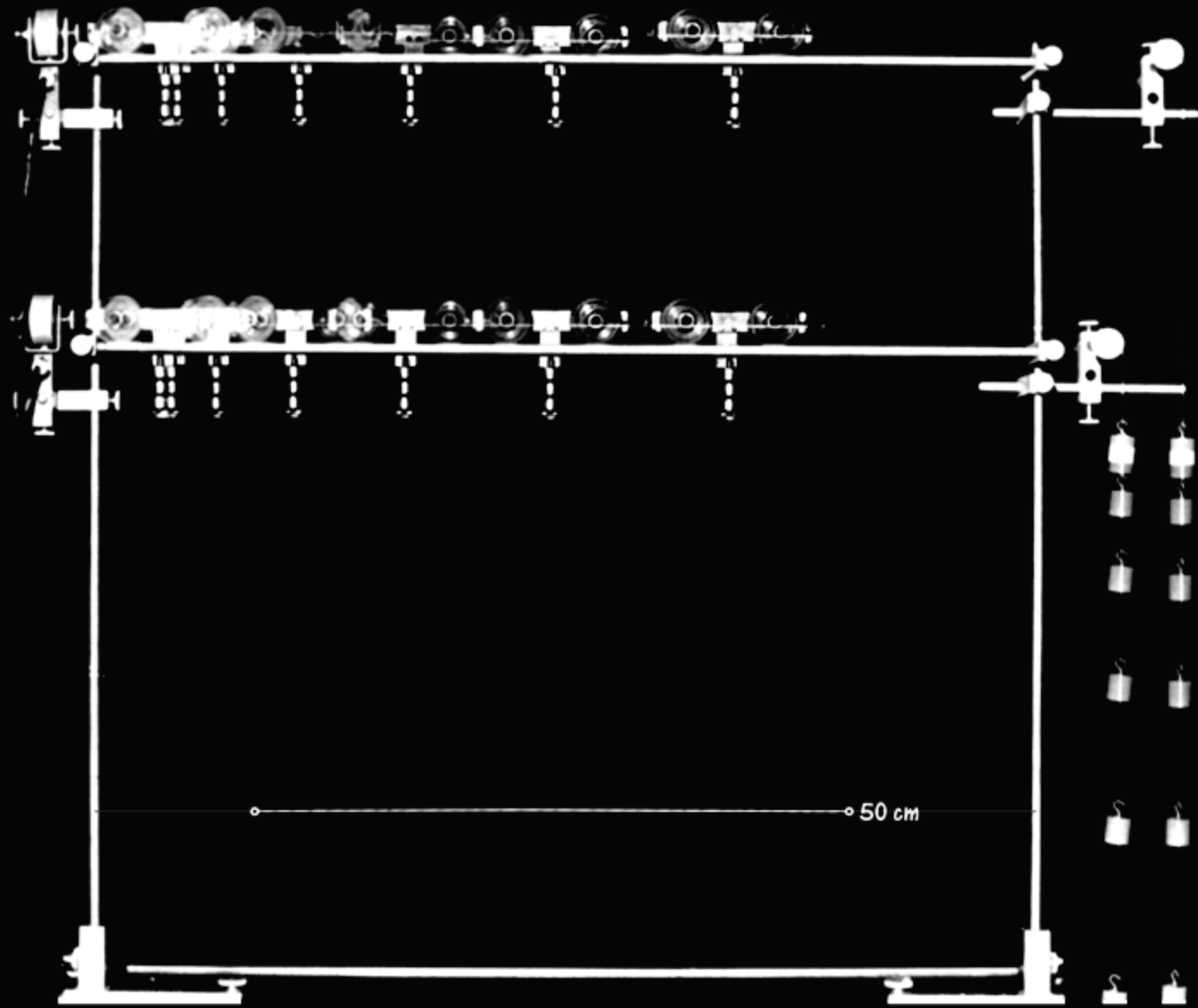
A lemezjátszó korongjára két aszpirint helyeztem. A stroboszkópos fényképezést egy fényzorompó indítja ($n = 45 \text{ RPM}$; 11 villantás; $\Delta t = 100 \text{ ms}$)

Stroboszkópos fényképekkel támogatott
fizikaórák a nagyváradí Adyban



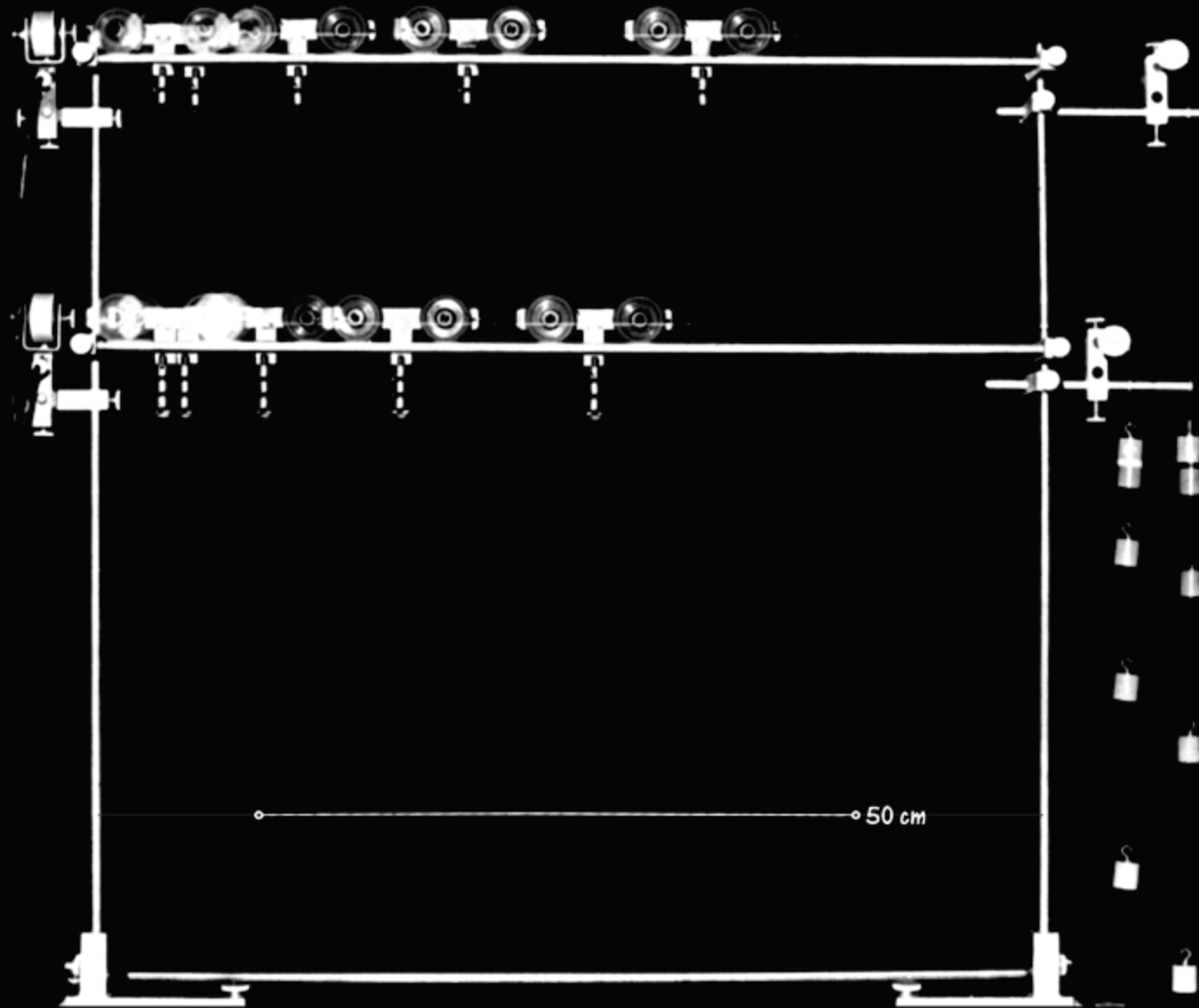
..... Tehetetlenség

A test tehetetlensége



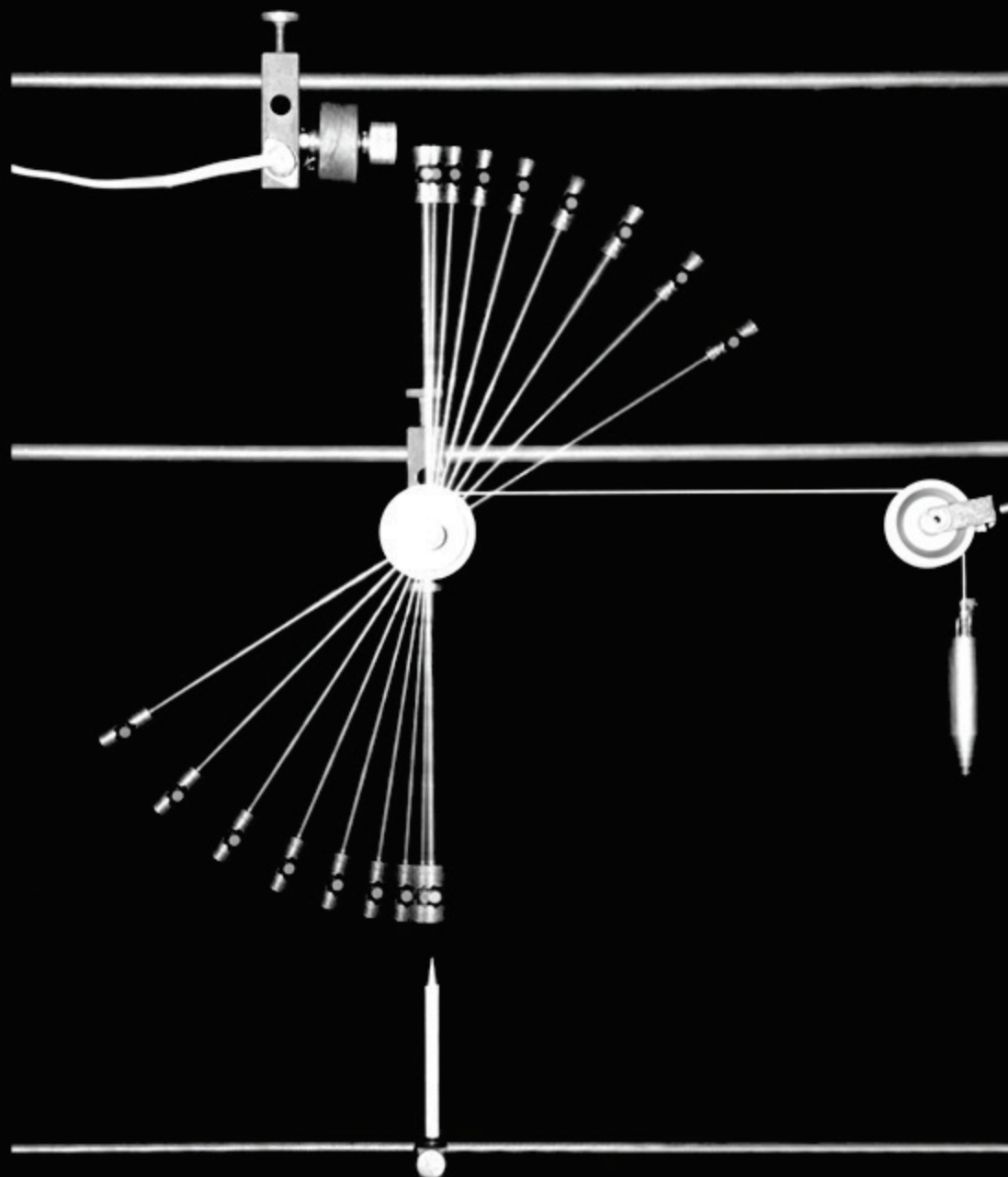
Ugyanakkora nagyságú erők hatására az azonos tömegű testek azonos gyorsulással mozognak

A test tehetetlensége



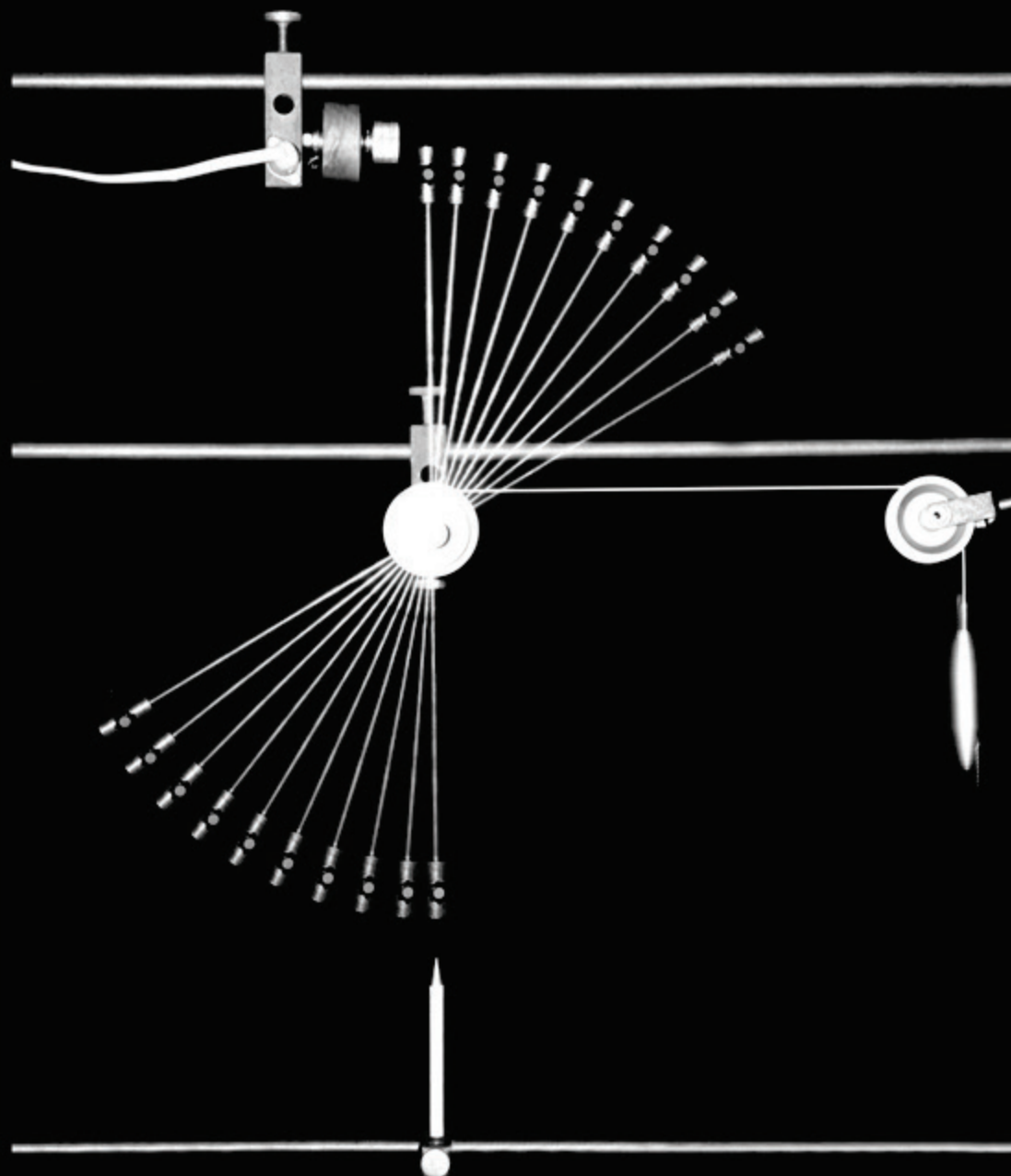
Ugyanakkora erők hatására a különböző tömegű testek más-más gyorsulással mozognak

A merevtest tehetetlensége



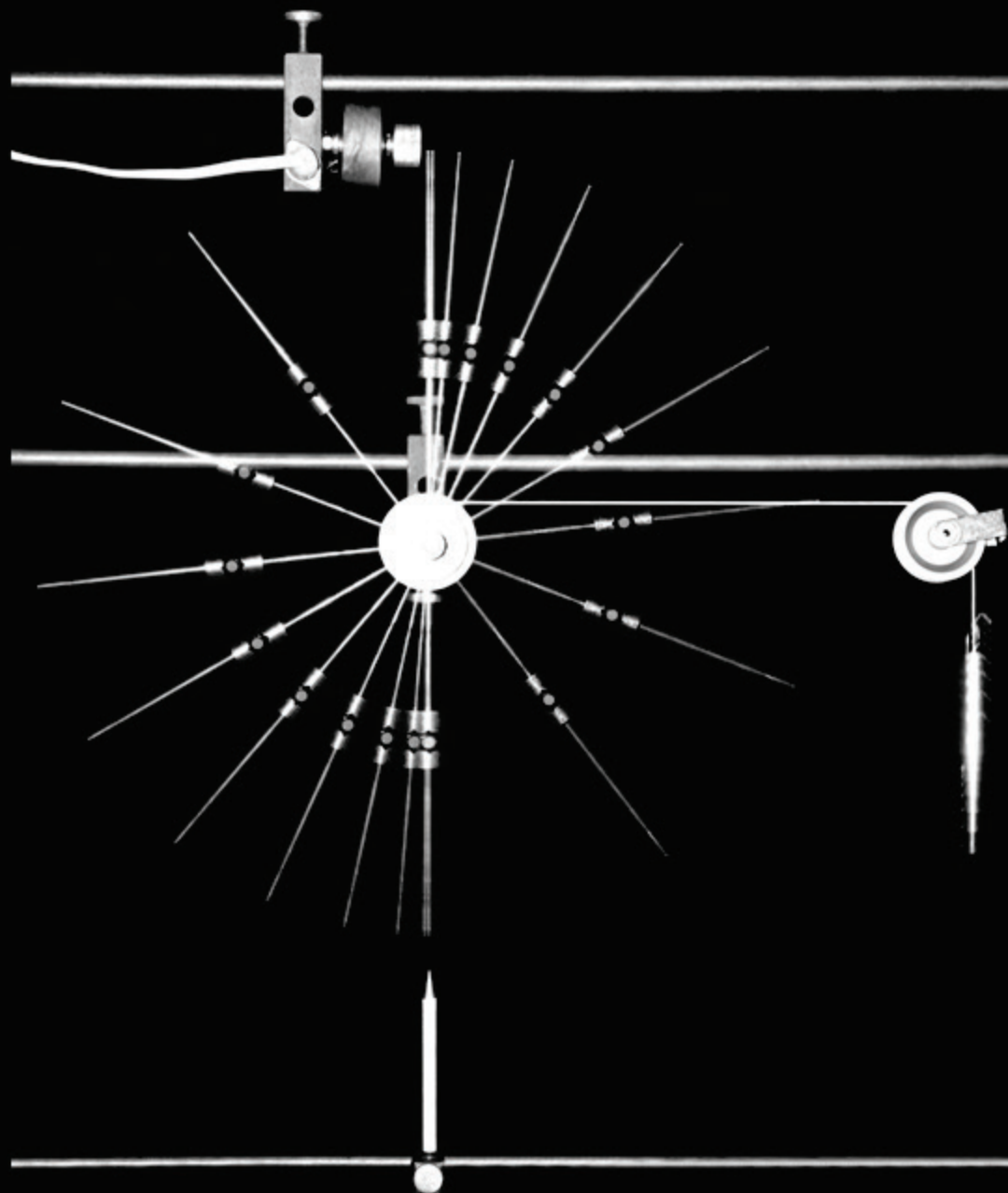
A merevtest tehetetlensége nagy, a gyorsulás kicsi (állandó időközű felvétel)

A merevtest tehetetlensége



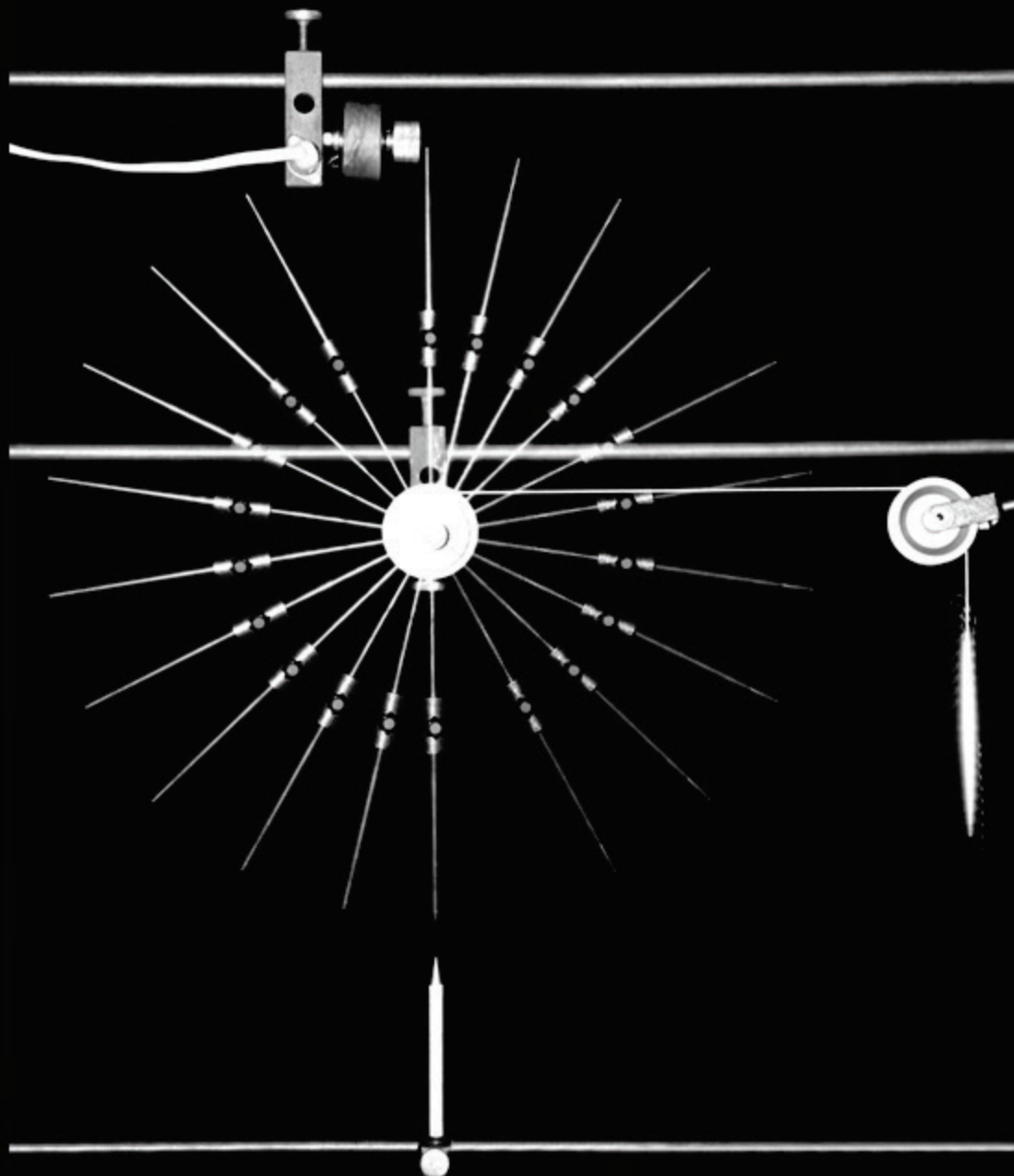
A merevtest tehetetlensége nagy, a gyorsulás kicsi (állandó térközű felvétel)

A merevtest tehetetlensége



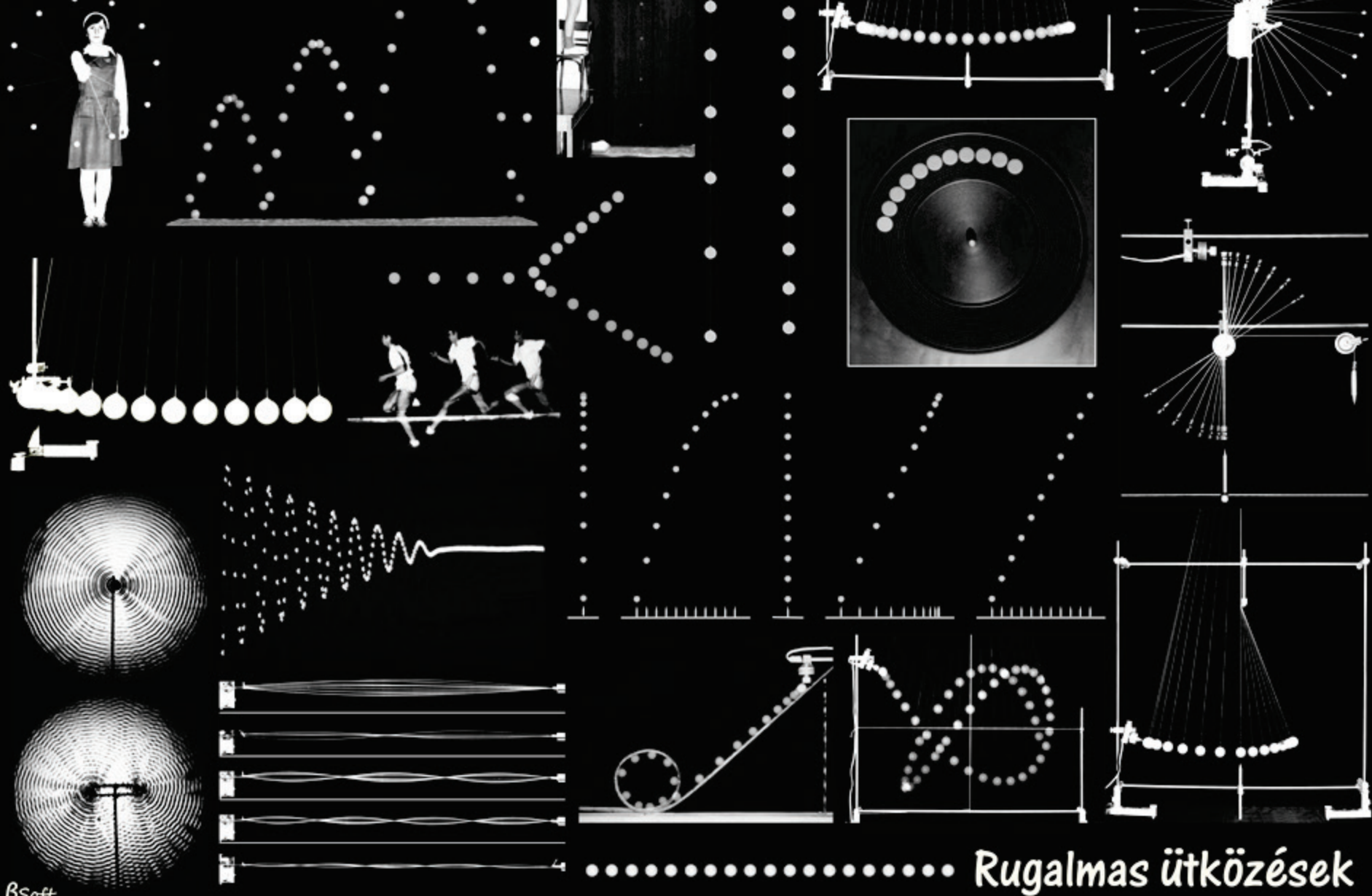
A merevtest tehetetlensége kicsi, a gyorsulás nagy (állandó időközű felvétel)

A merevtest tehetetlensége



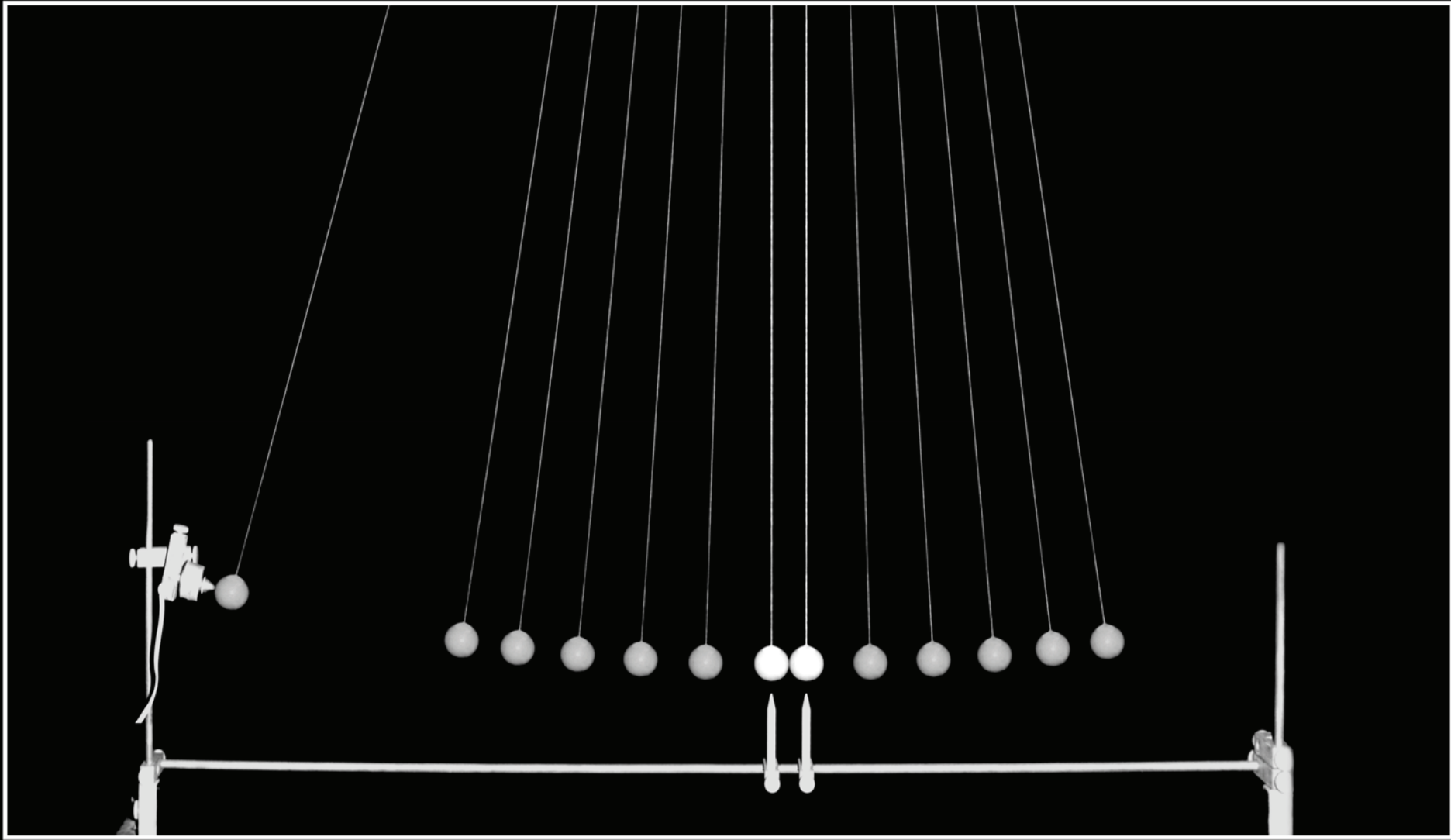
A merevtest tehetetlensége kicsi, a gyorsulás nagy (állandó térközű felvétel)

Stroboszkópos fényképekkel támogatott fizikaórák a nagyváradi Adyban



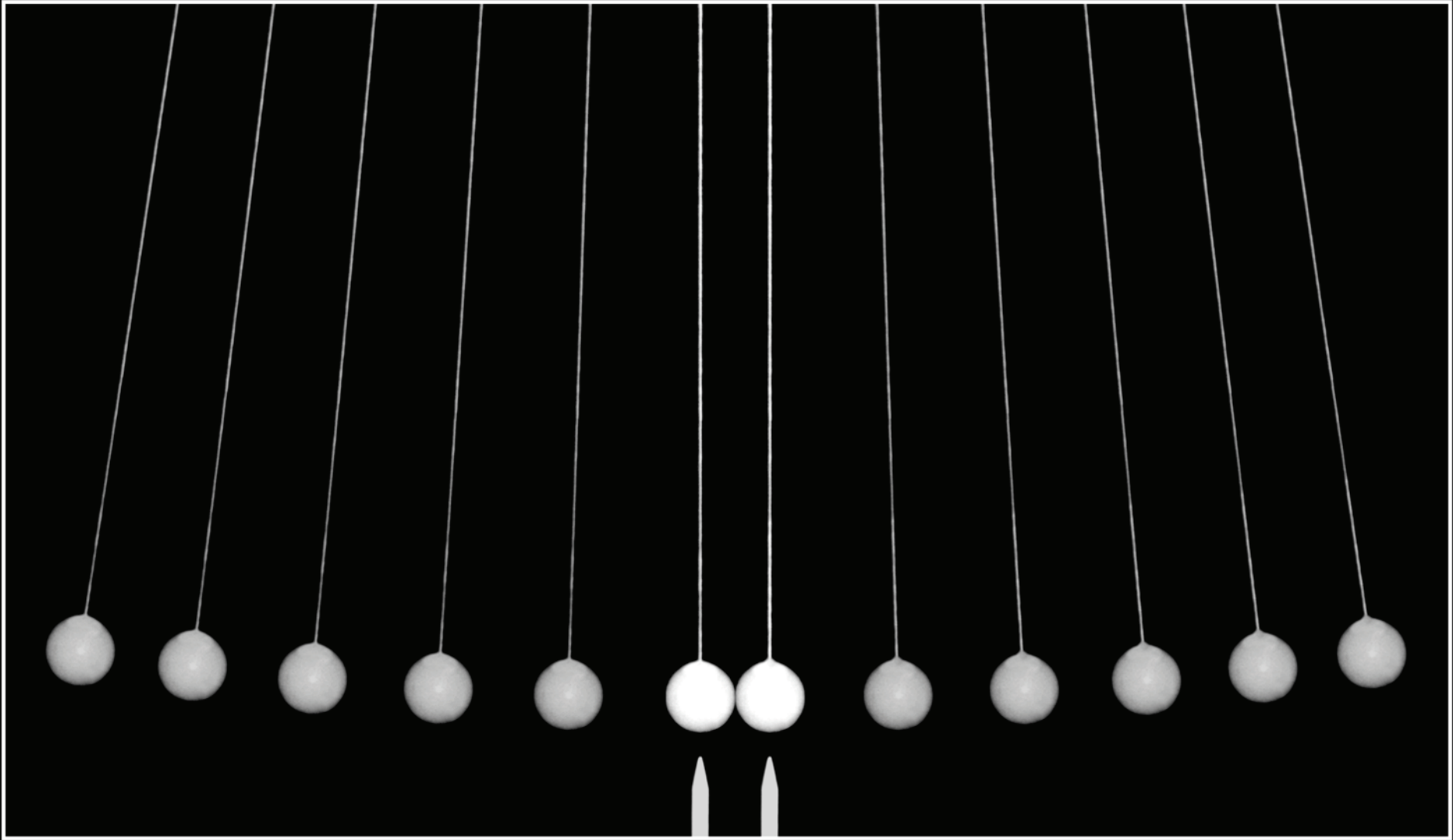
..... Rugalmas ütközések

Rugalmas ütközés



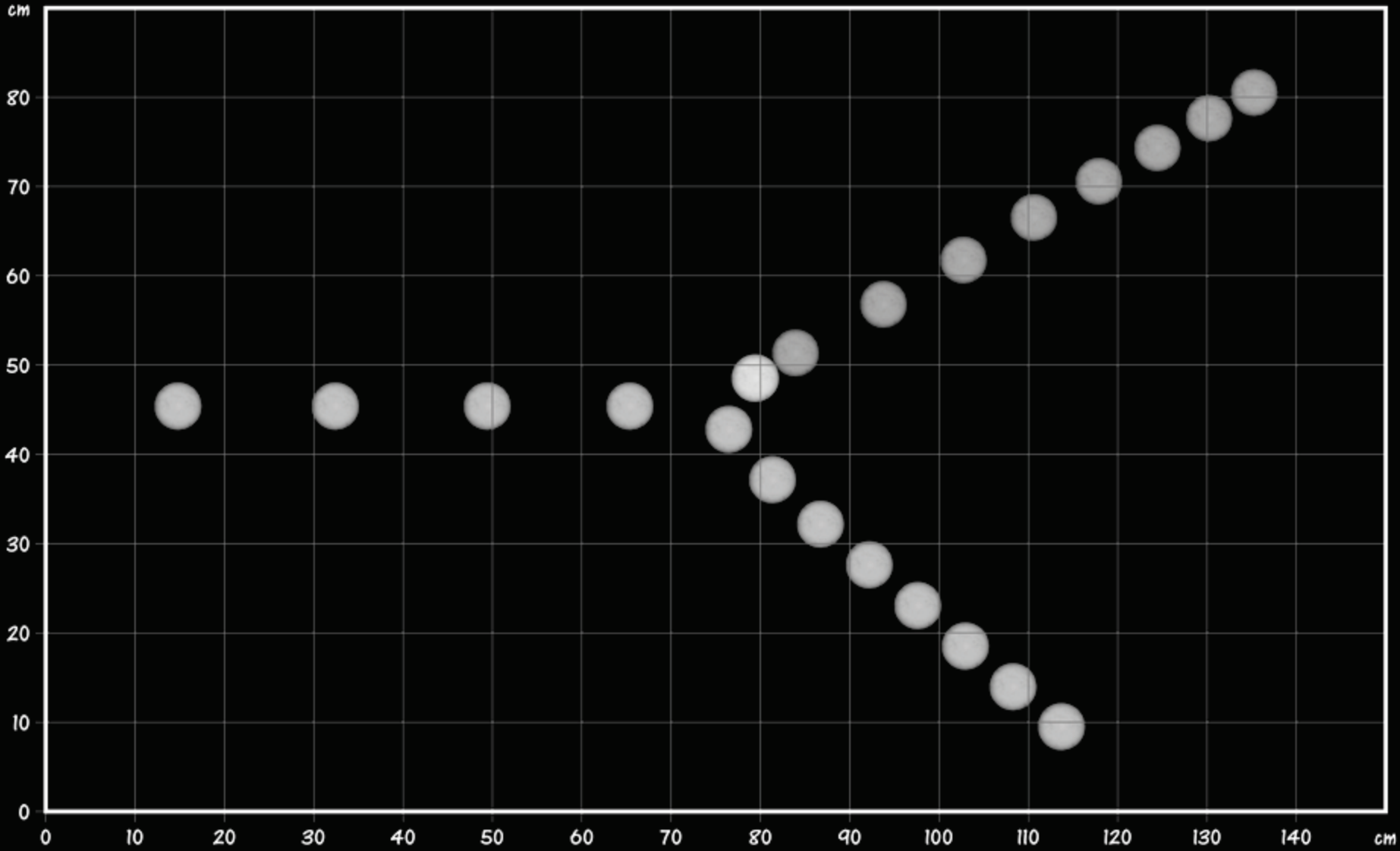
A baloldali inga golyója centrálisan ütközik a nyugalomban levő ingával, majd megáll. A másik kis impulzusvesztéssel megy tovább (12 villantás; $\Delta t = 481 \text{ ms} + 10 \times 60 \text{ ms}$).

Rugalmas ütközés (részlet)



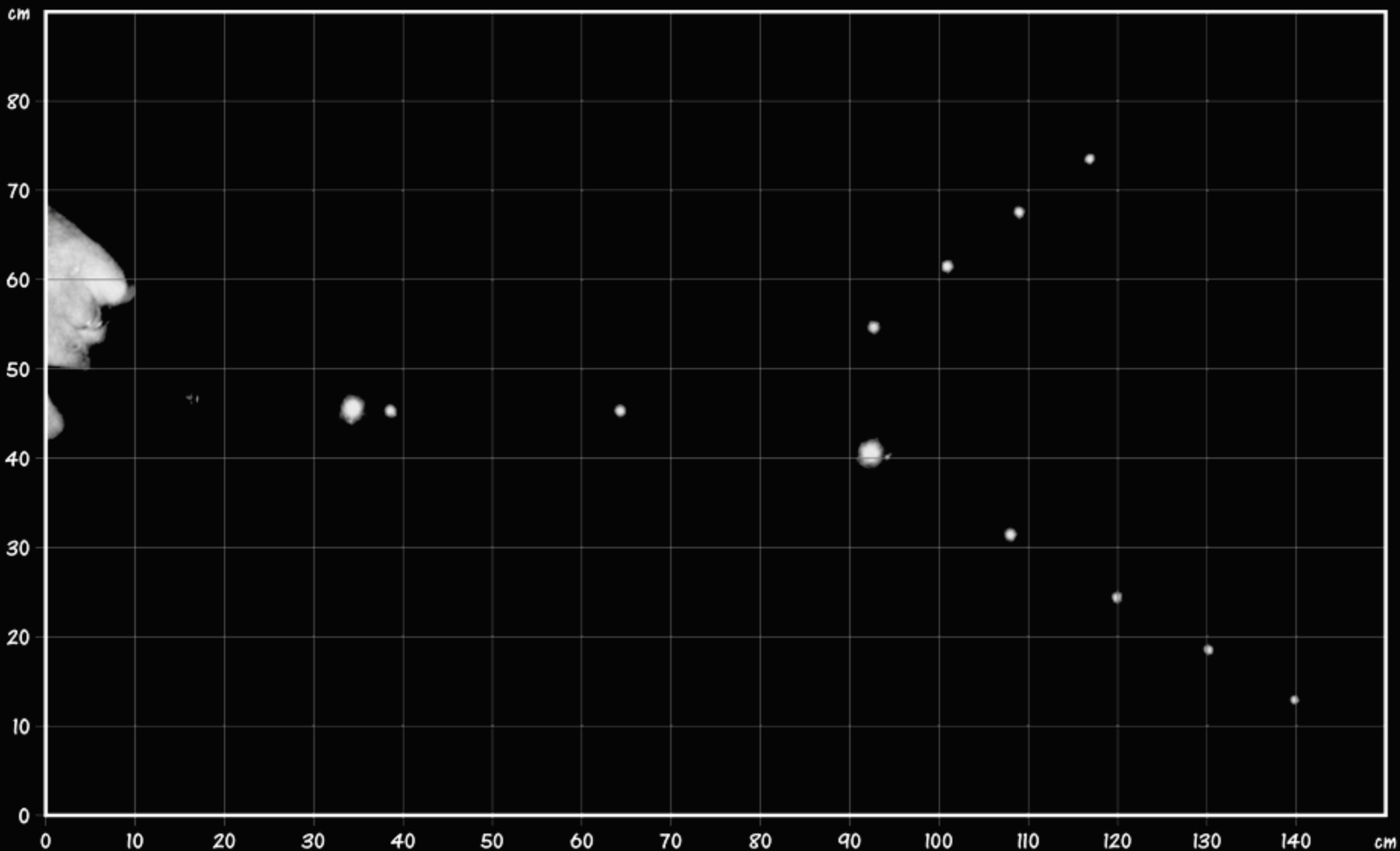
A baloldali inga golyója centrálisan ütközik a nyugalomban levő ingával, majd megáll. A másik kis impulzusvesztéssel megy tovább (11 villantás; $\Delta t = 60$ ms).

Rugalmas ütközés



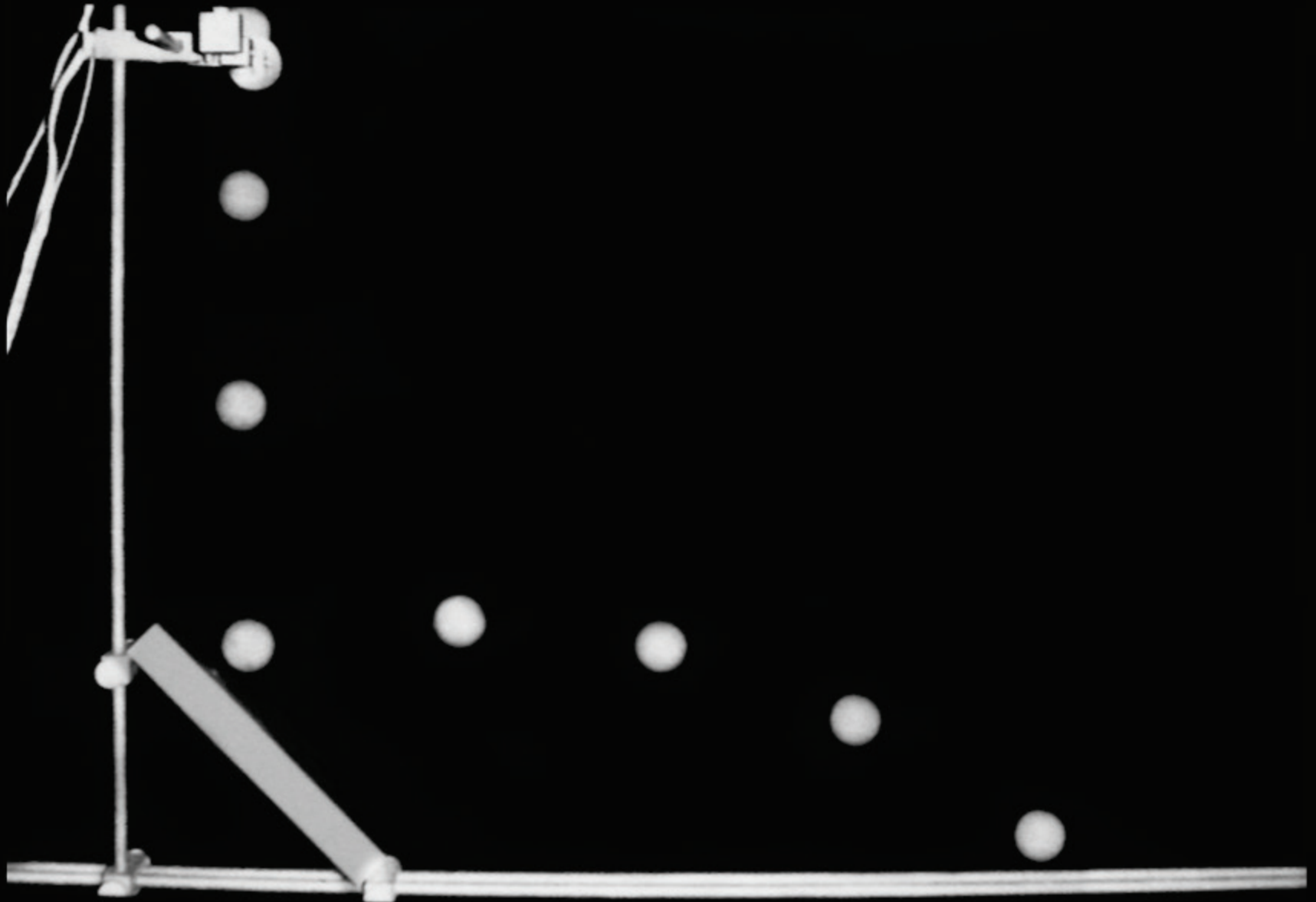
A balról érkező elefántcsontgolyó nem centrálisan ütközik a nyugalomban levő másik golyóval. Nem sikerült elkapnom az ütközés pillanatát (12 villantás, $\Delta t = 75$ ms)

Rugalmas ütközés



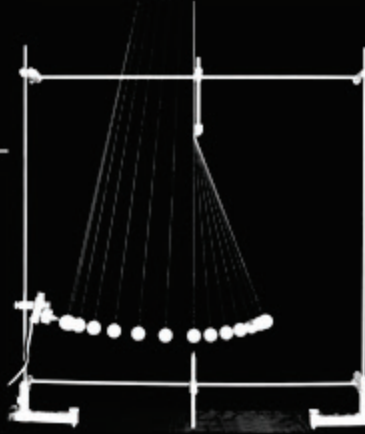
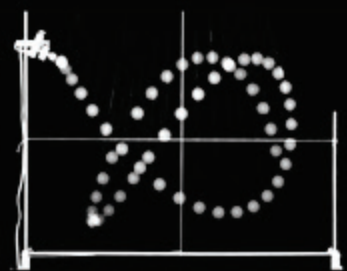
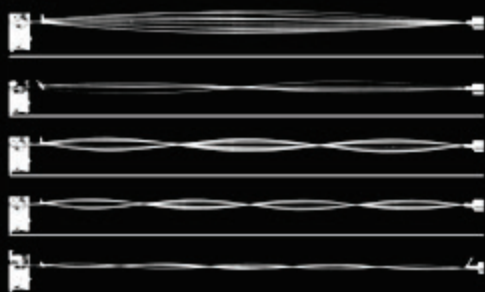
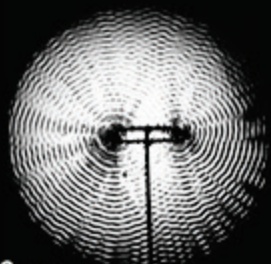
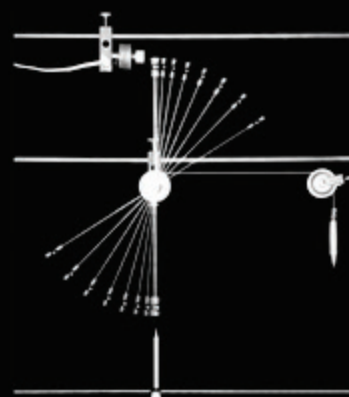
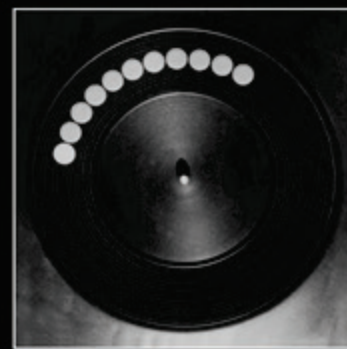
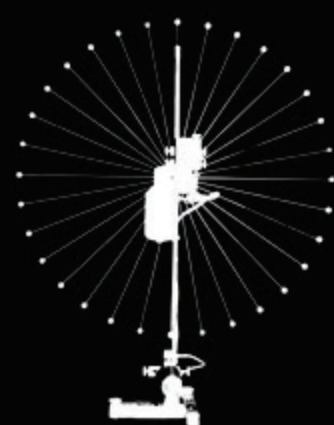
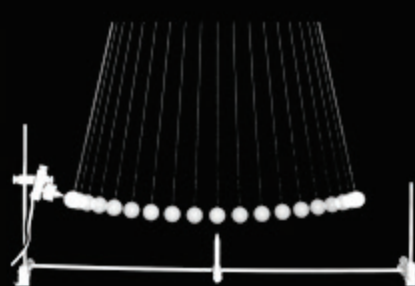
A balról érkező acélgolyó nem centrálisan ütközik a nyugalomban levő másik acélgolyóval. Csak a golyók teteje veri vissza a fényt ($\Delta t = 100$ ms)

Rugalmas ütközés



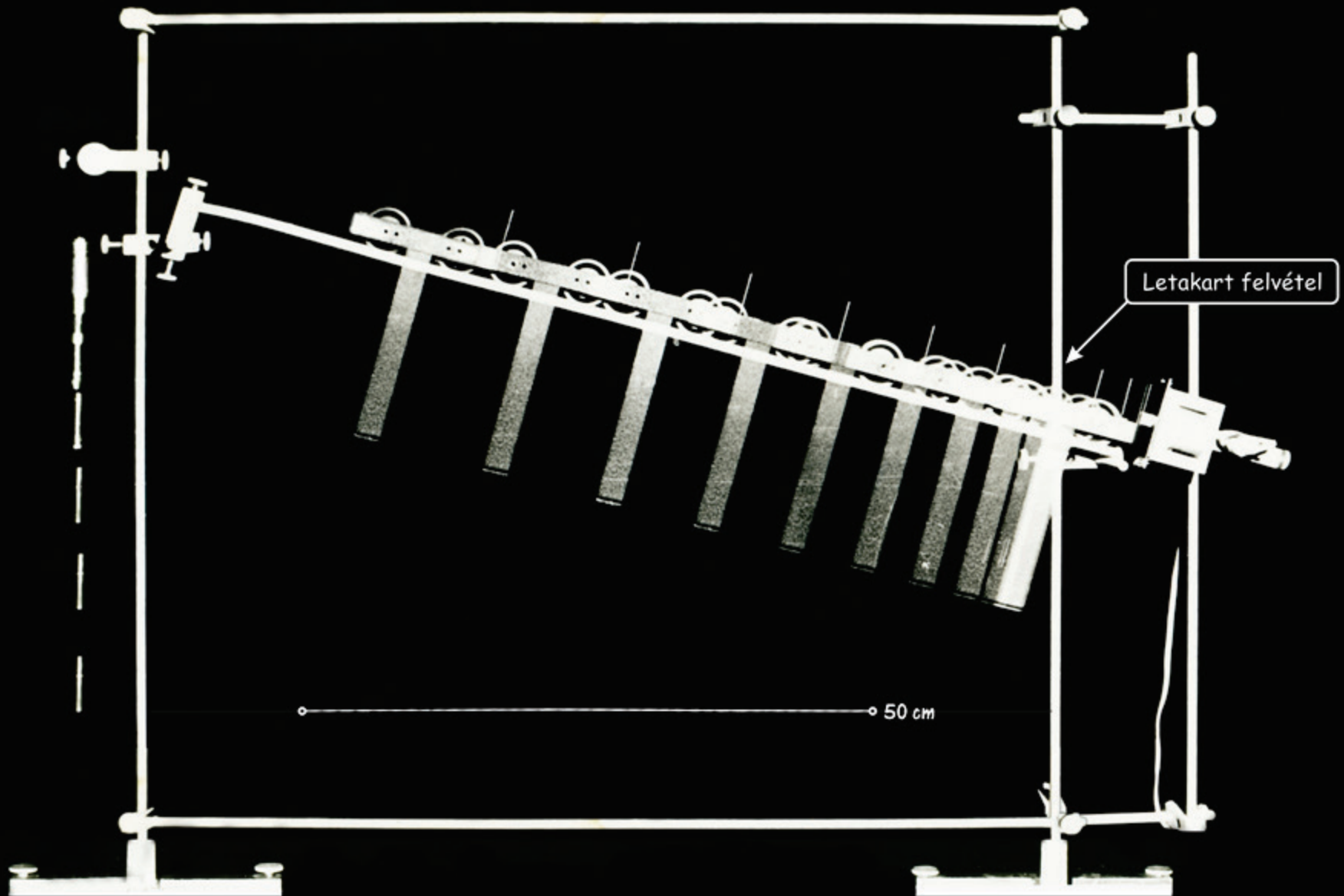
A pingponglabda érkezését jelzi a fotókapu, majd visszapattan a ferdén álló acéllapról (8 villantás; $\Delta t = 50 \text{ ms}$)

Stroboszkópos fényképekkel támogatott
fizikaórák a nagyváradai Adyban



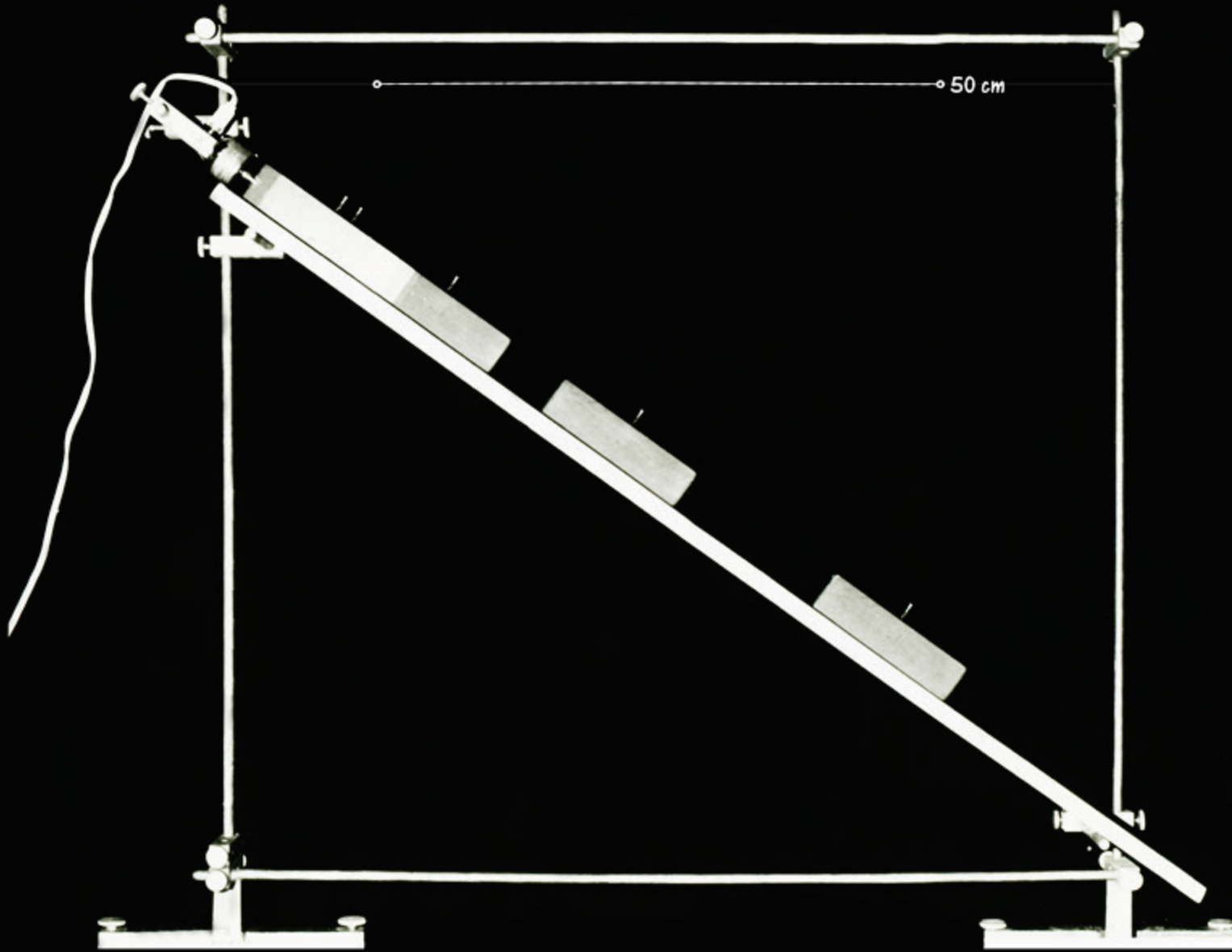
..... Mozgás a lejtőn

Mozgás a lejtőn



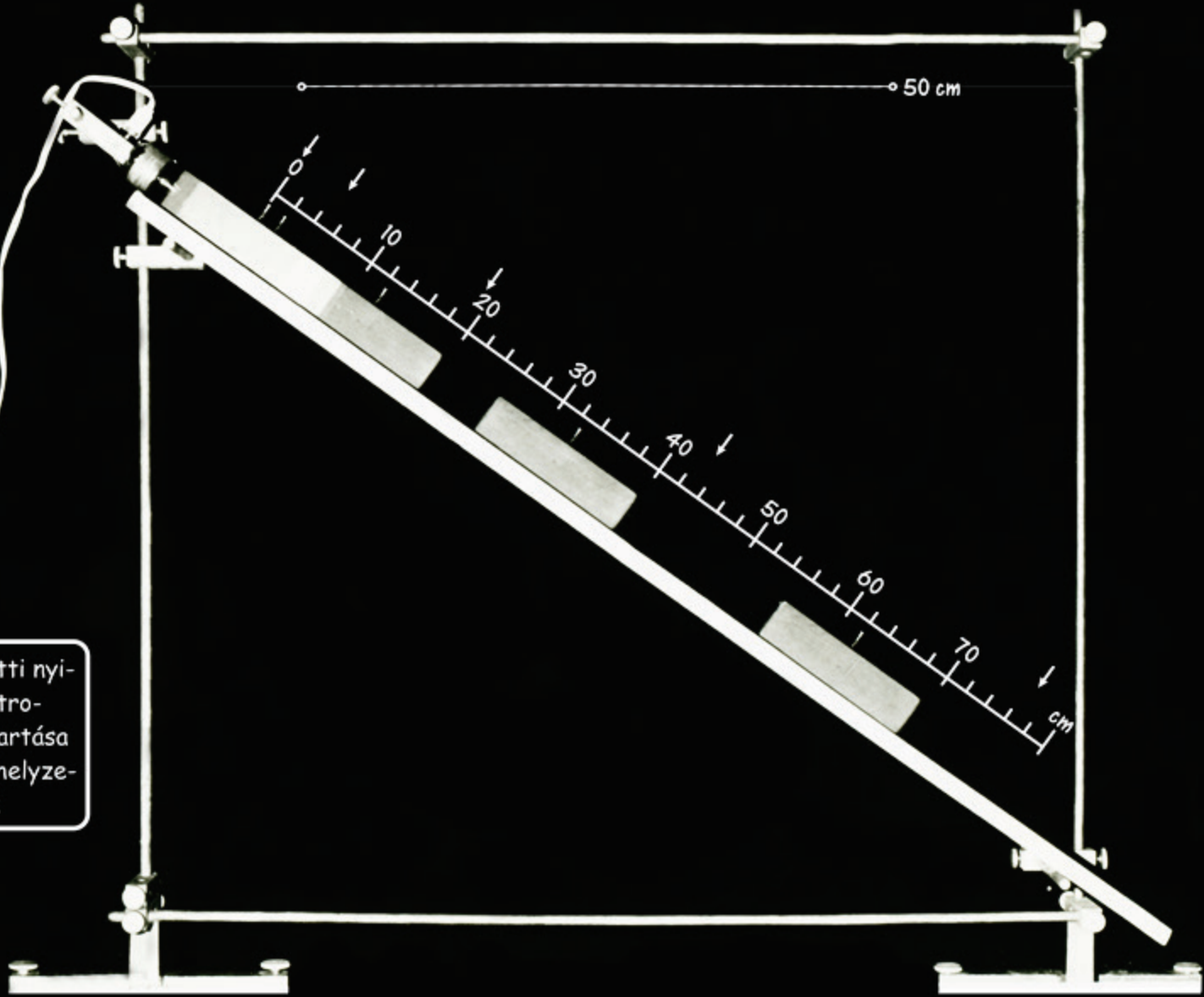
Amikor az elektromágnes (EM) áramát kikapcsoljuk és elsőt villantunk, a kiskocsi elindulhat, de az EM remanenciája miatt késik (11 villantás, $\Delta t = 100$ ms)

Mozgás a lejtőn



Amikor az elektromágnes (EM) áramát kikapcsoljuk és elsőt villantunk, a fahasáb elindulhat a lejtőn, de az EM remanenciája miatt késik (5 villantás, $\Delta t = 250 \text{ ms}$)

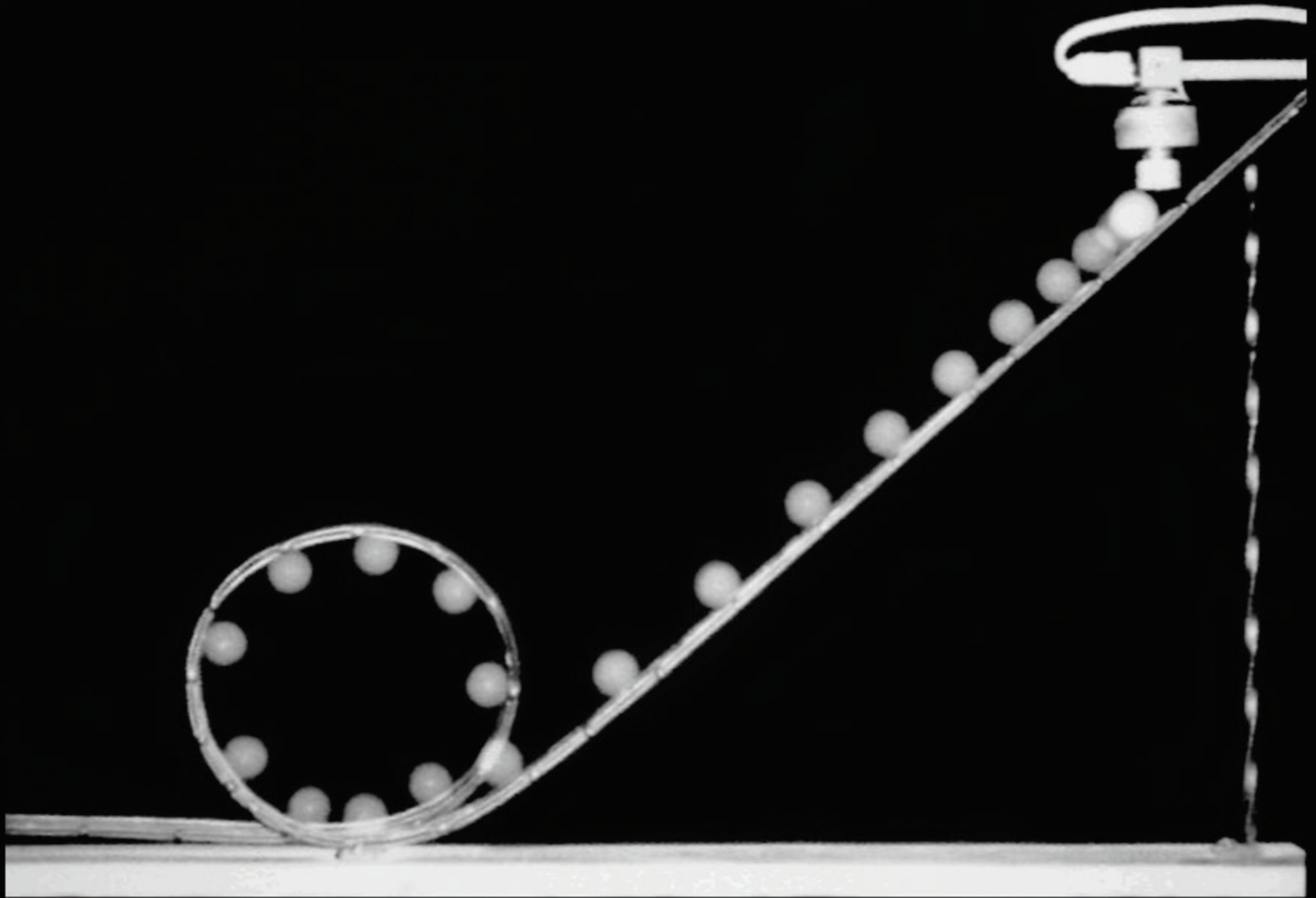
Mozgás a lejtőn



A mérőléc feletti nyíl-
lacskák az elektro-
mágnes visszatartása
nélkül várható helyze-
teket mutatják

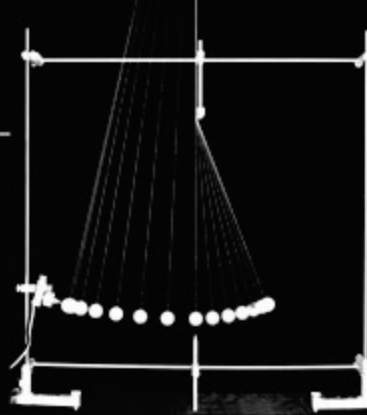
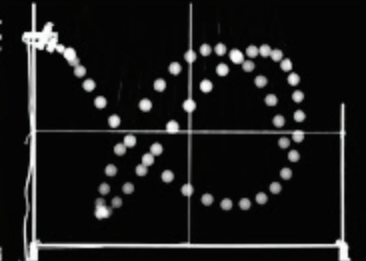
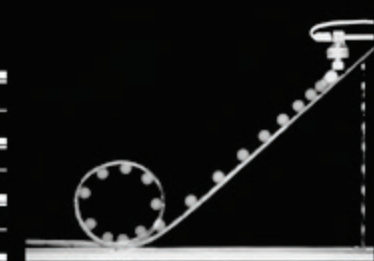
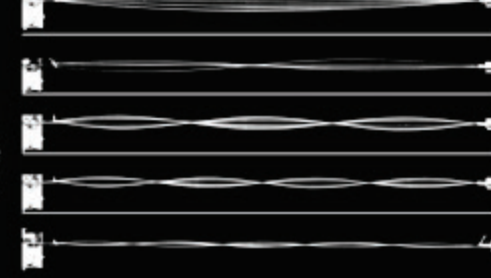
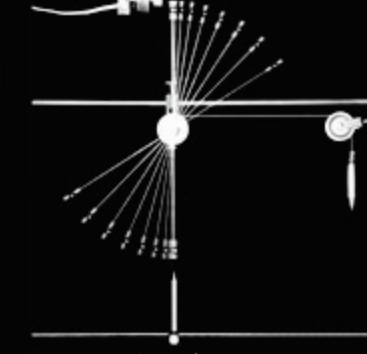
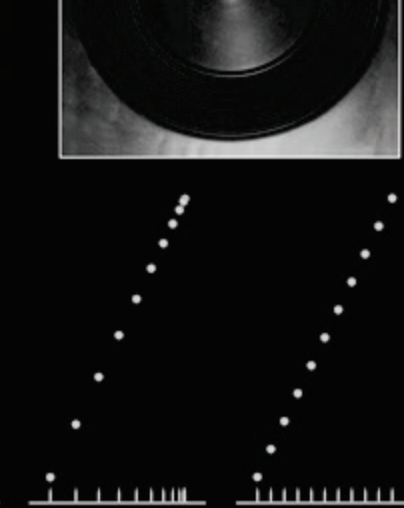
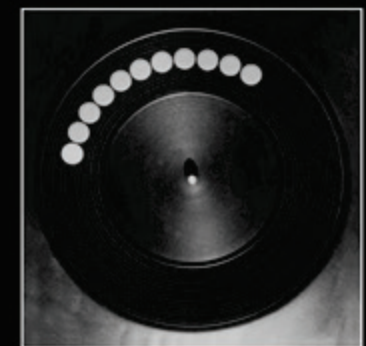
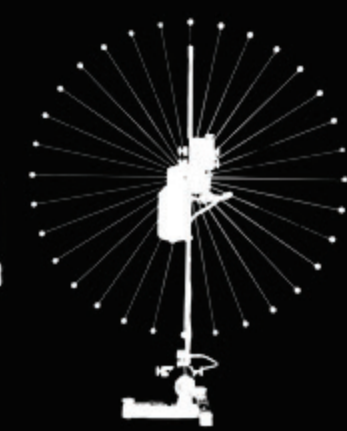
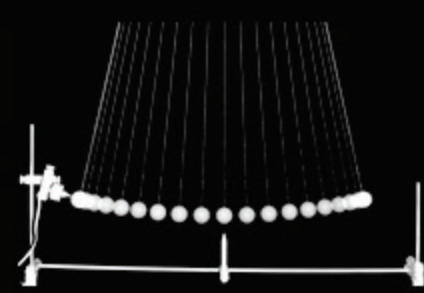
Amikor az elektromágnes (EM) áramát kikapcsoljuk és elsőt villantunk, a fahasáb elindulhat a lejtőn, de az EM remanenciája miatt késik (5 villantás, $\Delta t = 250$ ms)

Mozgás a lejtőn



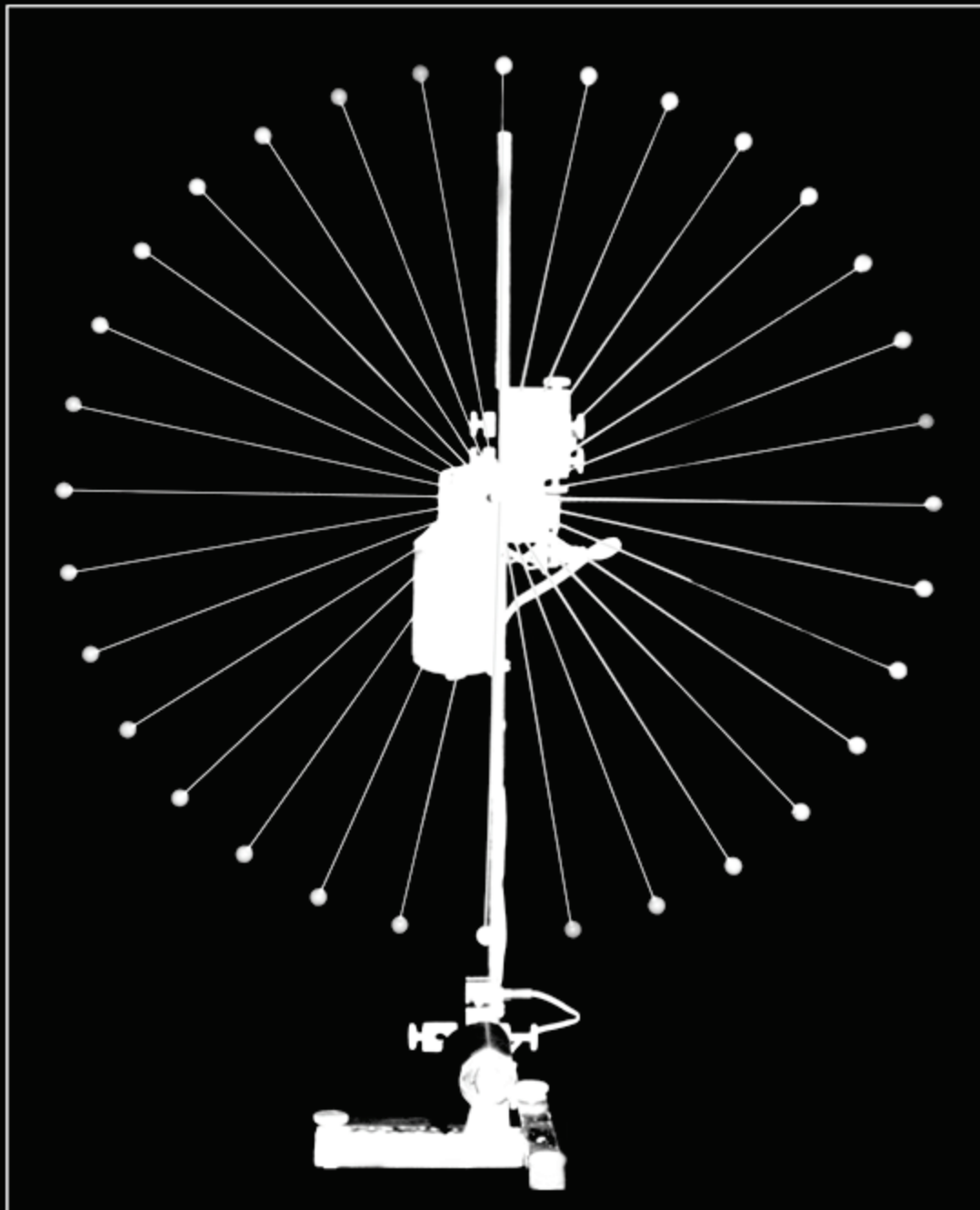
A pingponglabda „Looping” akrobatikája (21 villantás; $\Delta t = 50$ ms)

Stroboszkópos fényképekkel támogatott
fizikaórák a nagyváradí Adyban



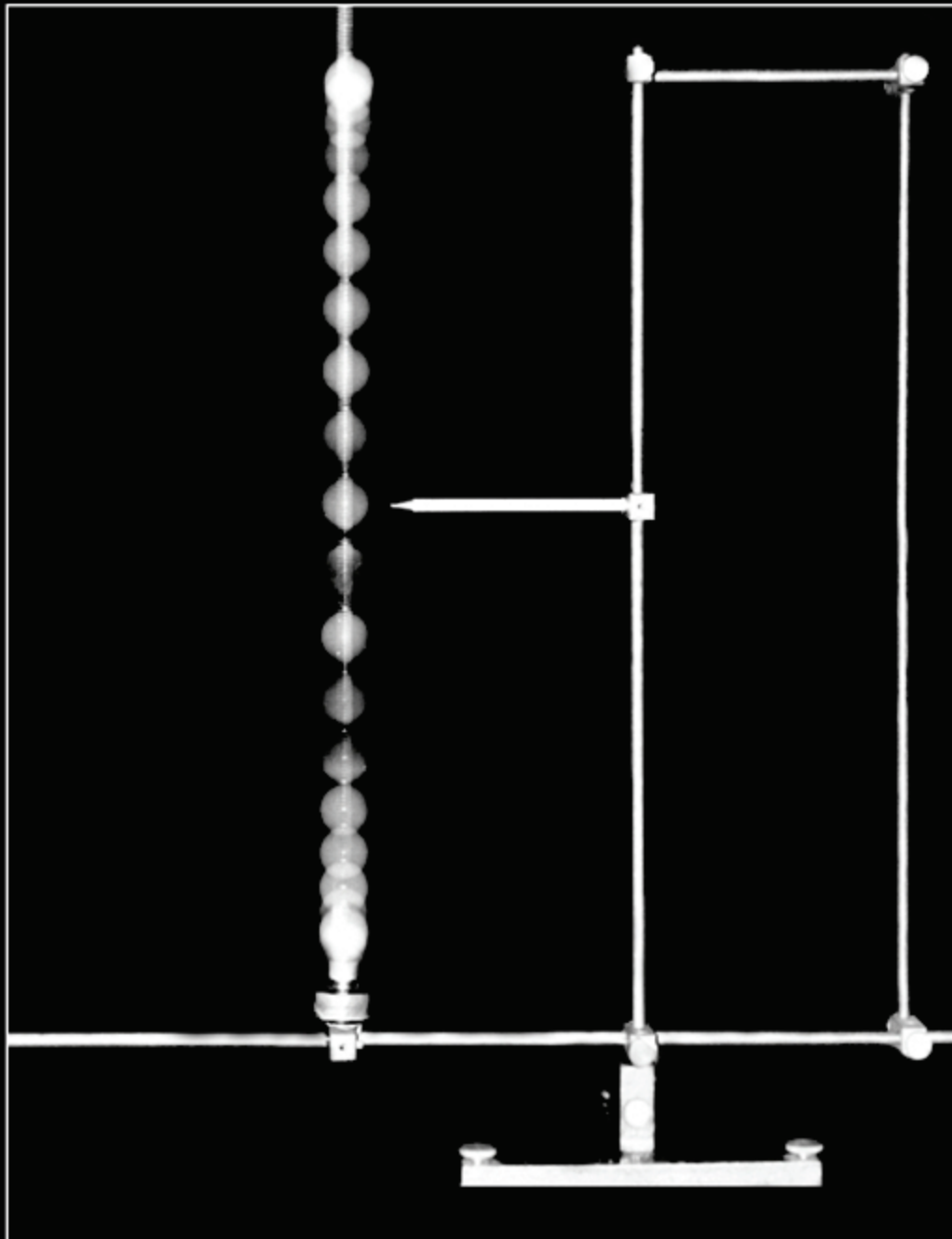
..... Körmozgás - Rezgőmozgás

A körmozgás és a rezgőmozgás kapcsolata



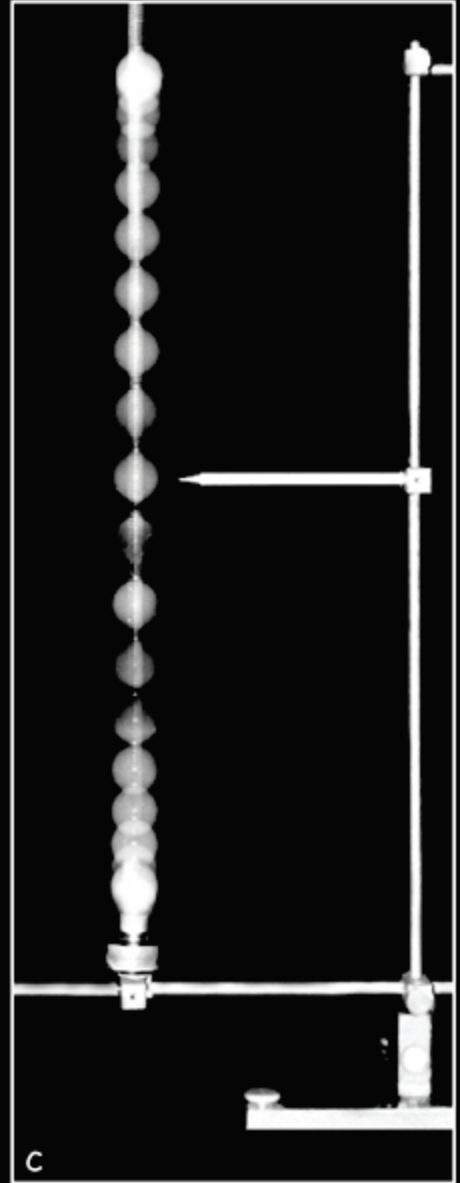
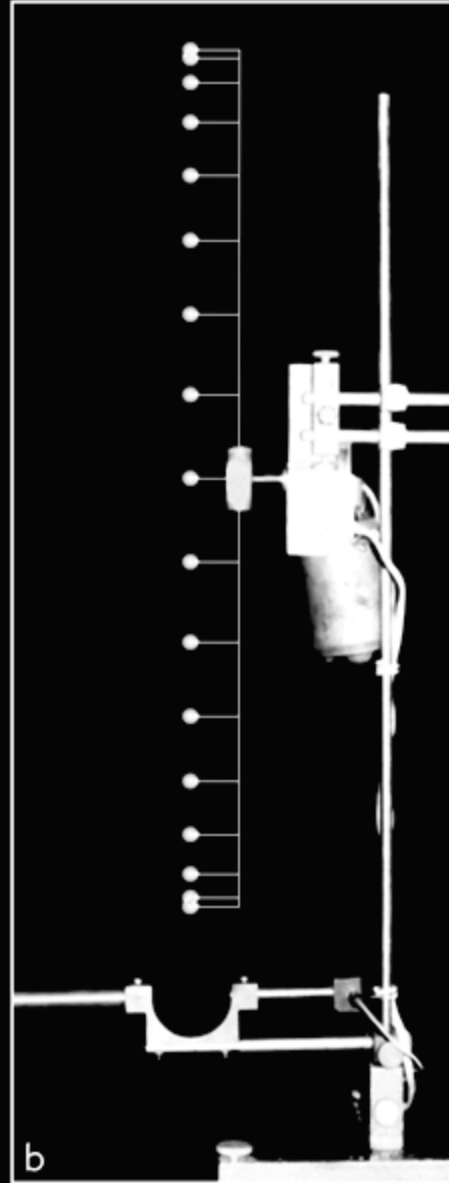
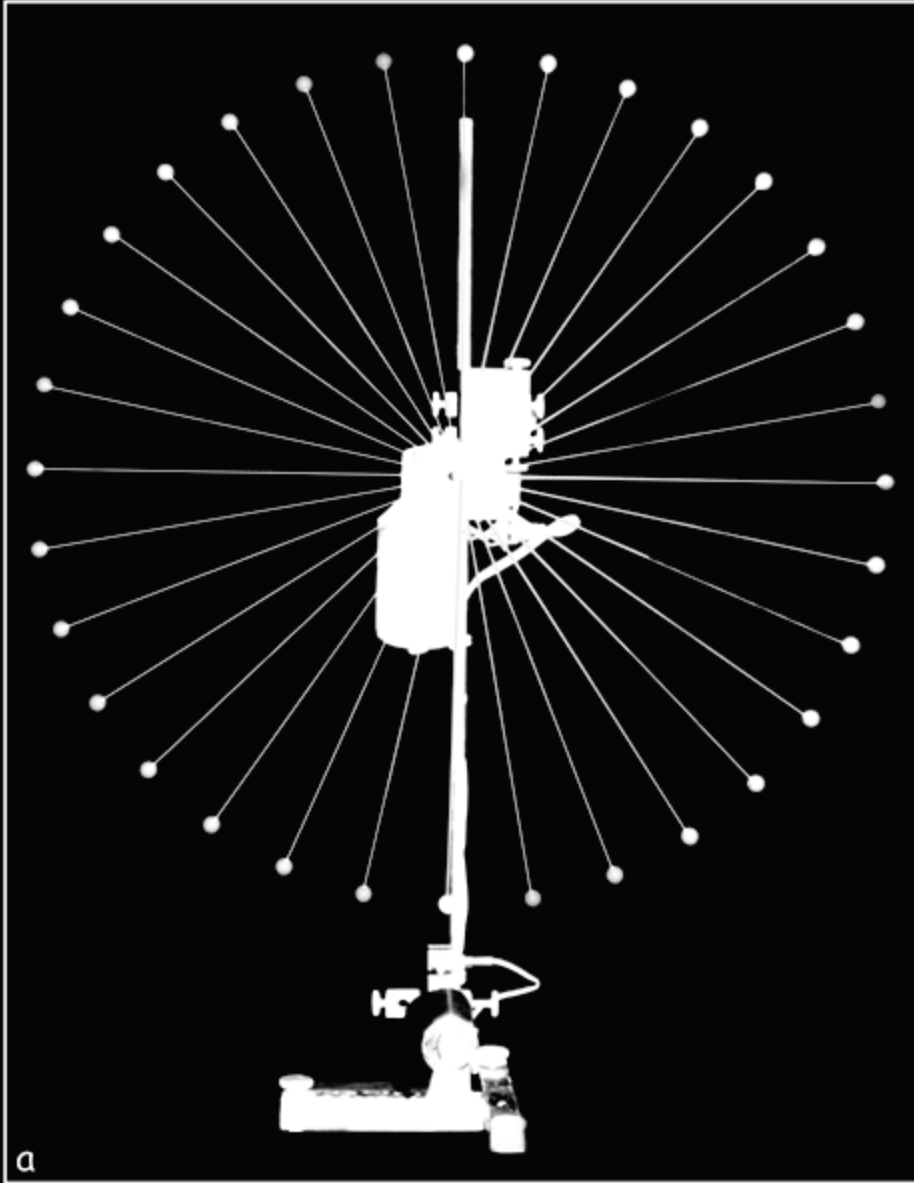
Egy golyó körmozgása a körmozgás tengelye irányából nézve

A körmozgás és a rezgőmozgás kapcsolata



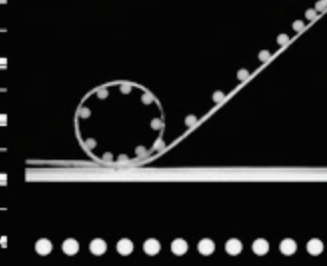
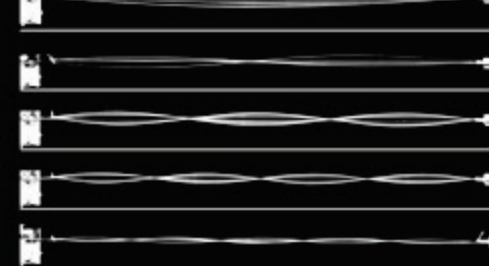
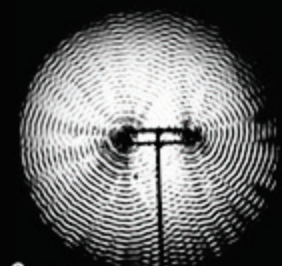
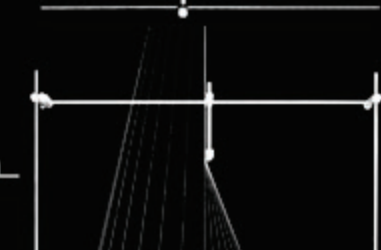
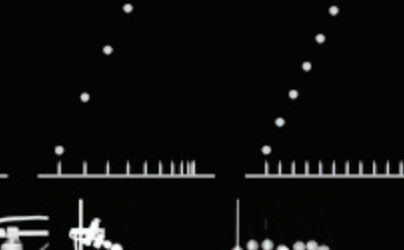
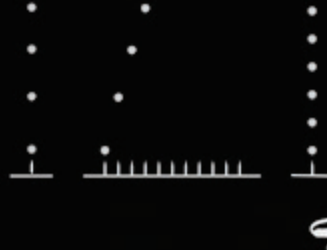
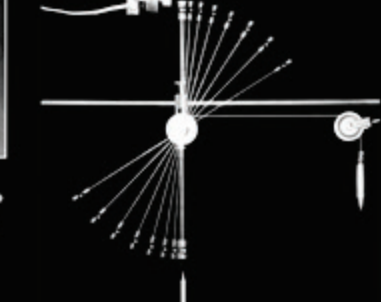
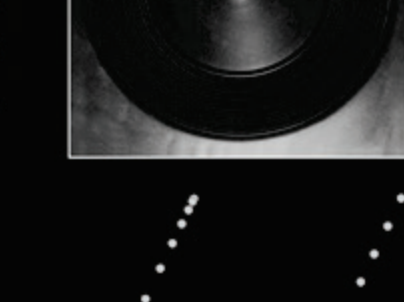
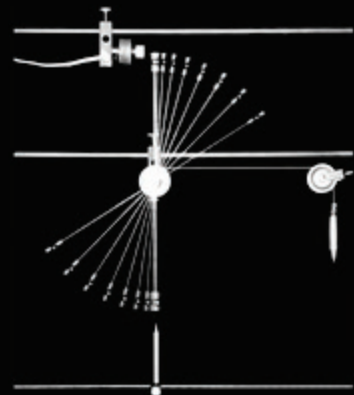
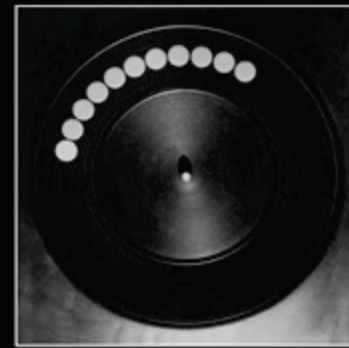
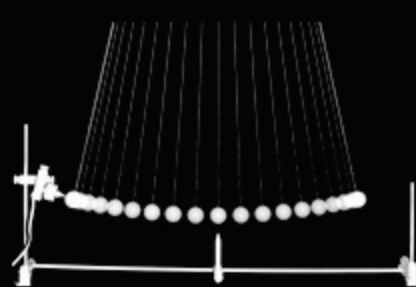
A rugalmas inga mozgása hasonlít a kivetített körmozgáshoz

A körmozgás és a rezgőmozgás kapcsolata



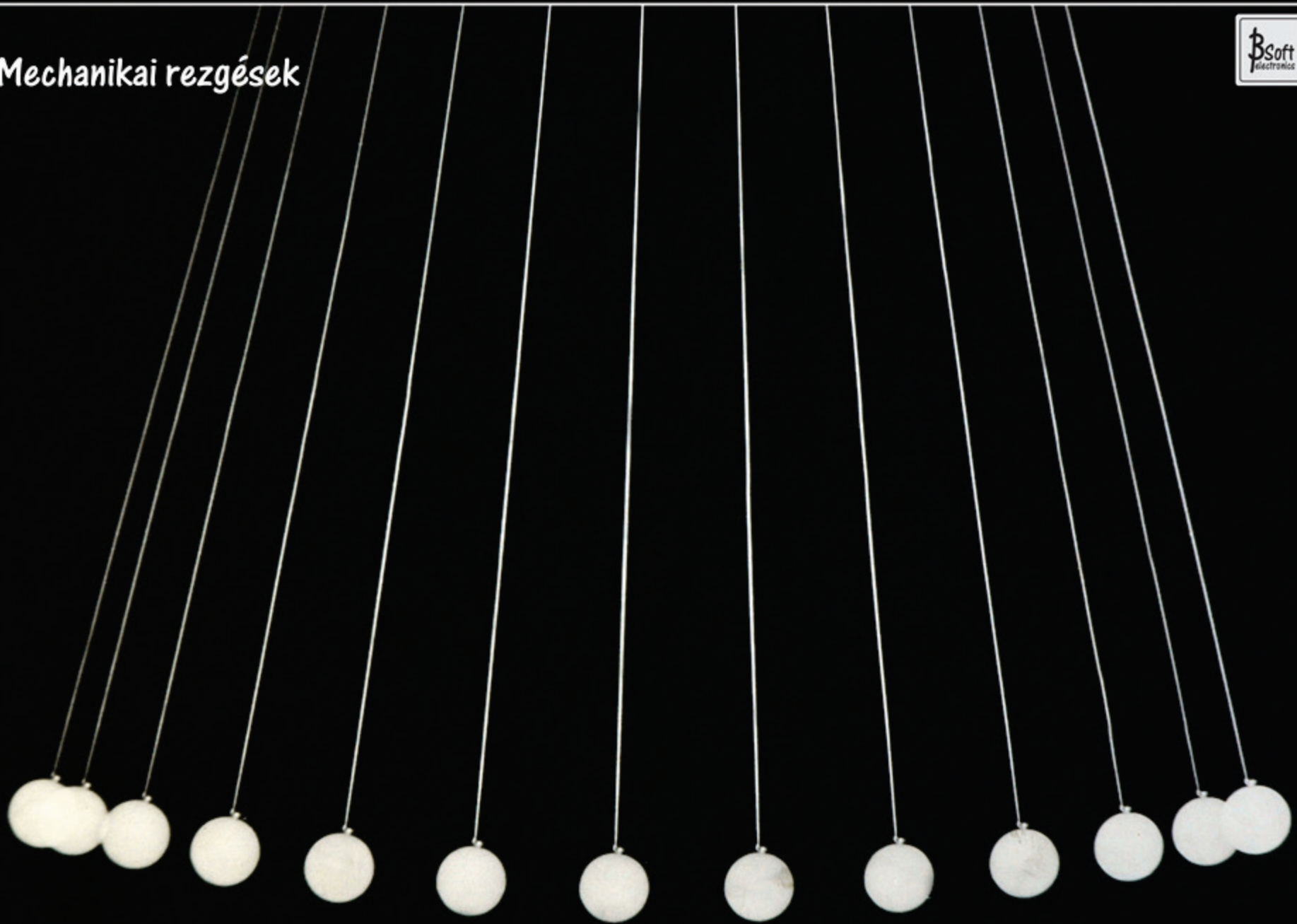
A körmozgást (a) a mozgás síkjából nézve (b) a rezgőmozgáshoz (c) hasonló mozgást látunk

Stroboszkópos fényképekkel támogatott fizikaórák a nagyváradi Adyban

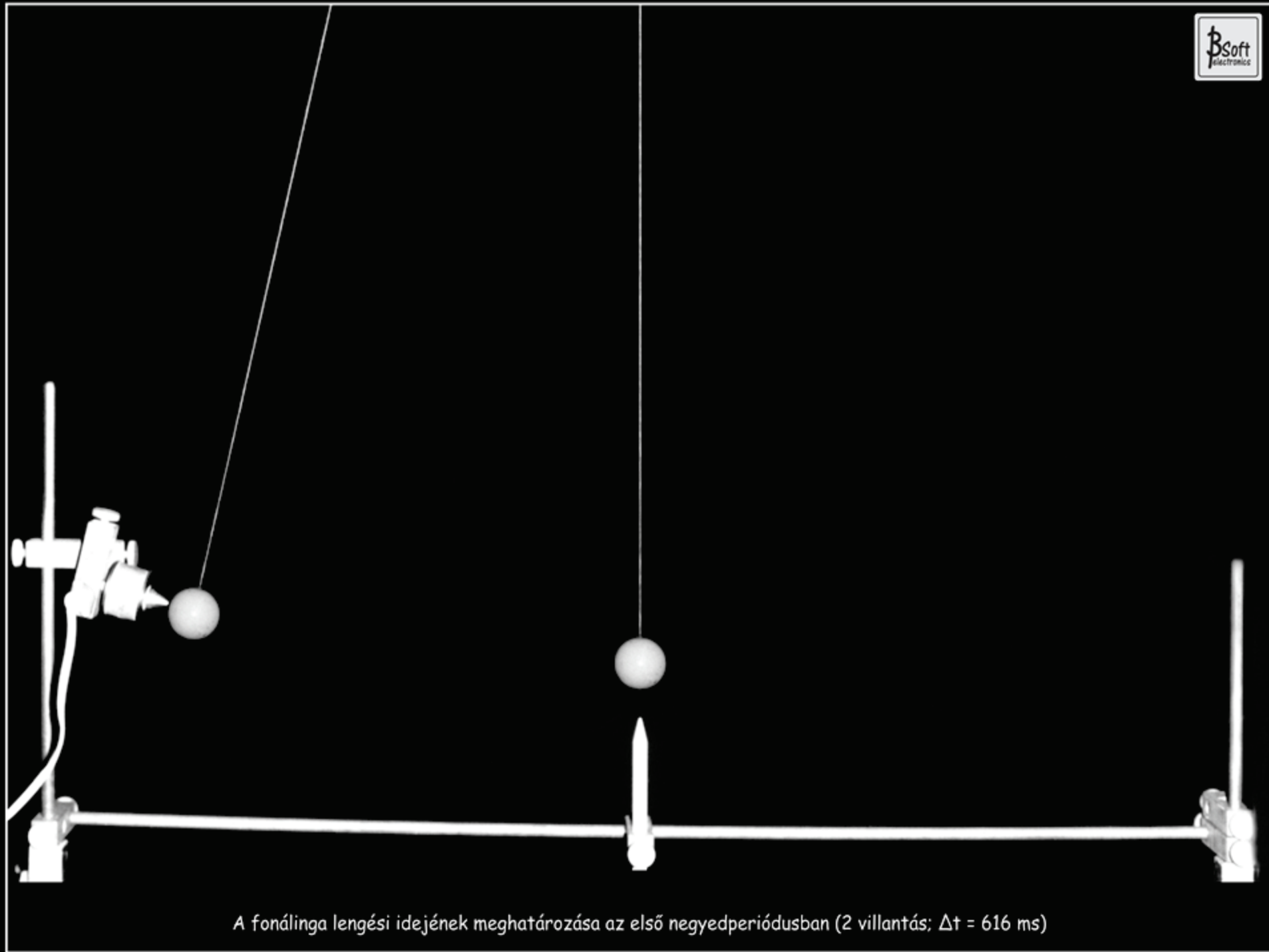


..... Mechanikai rezgések

Mechanikai rezgések

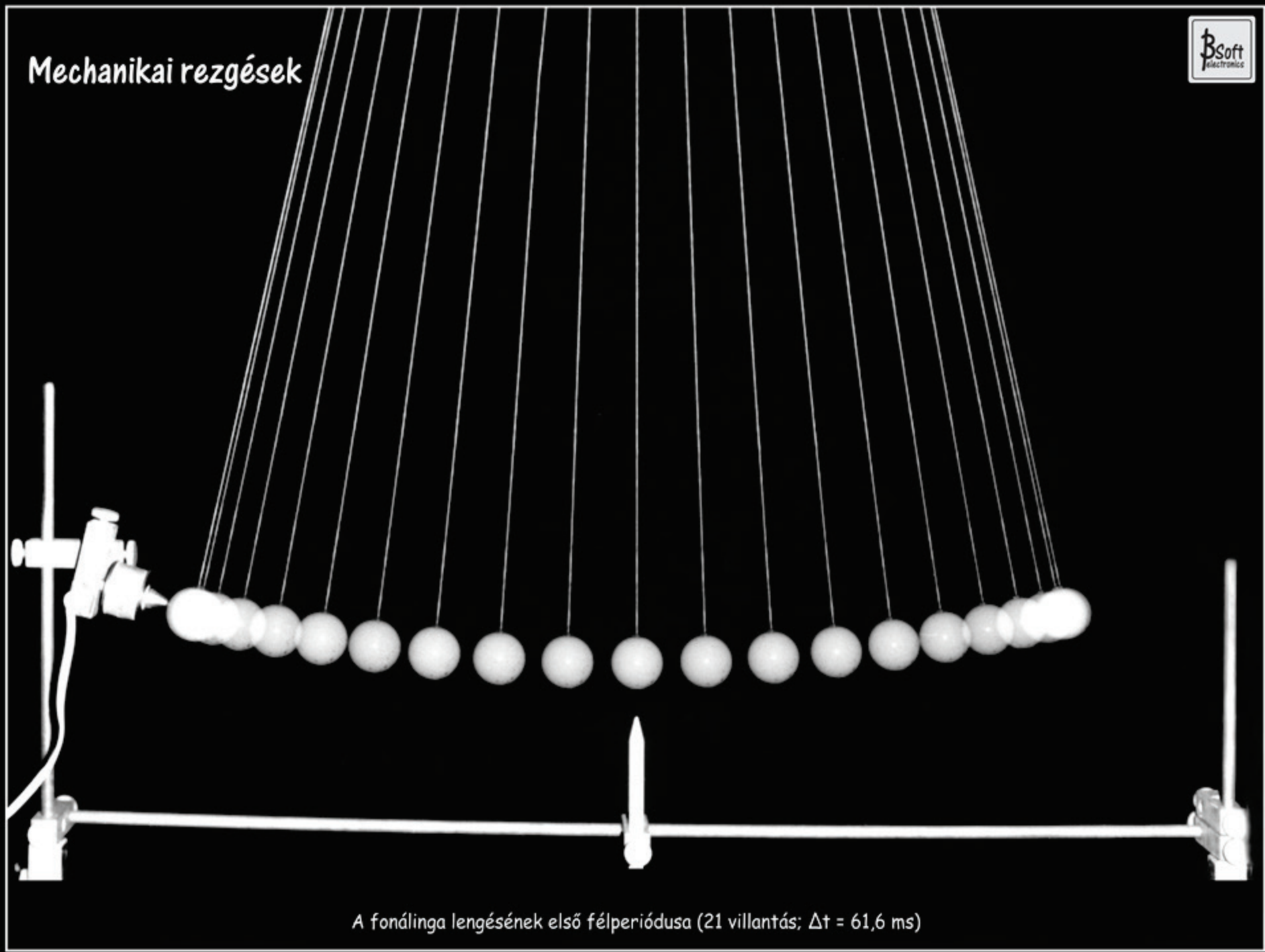


Klasszikus stroboszkópos felvétel. CNC stroboszkóp nélkül lehetetlen eltalálni a teljes félperiódust!

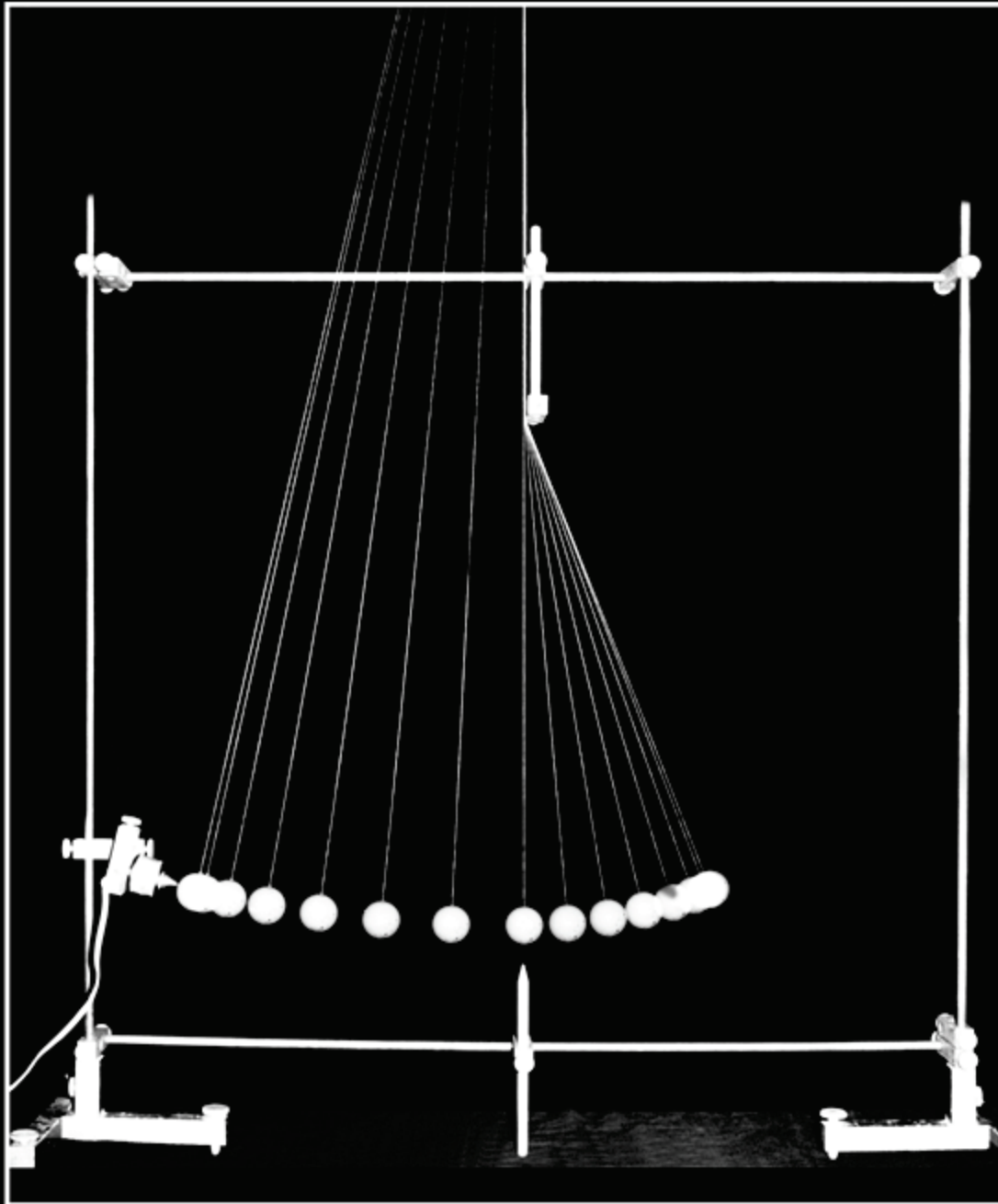


A fonálinga lengési idejének meghatározása az első negyedperiódusban (2 villantás; $\Delta t = 616 \text{ ms}$)

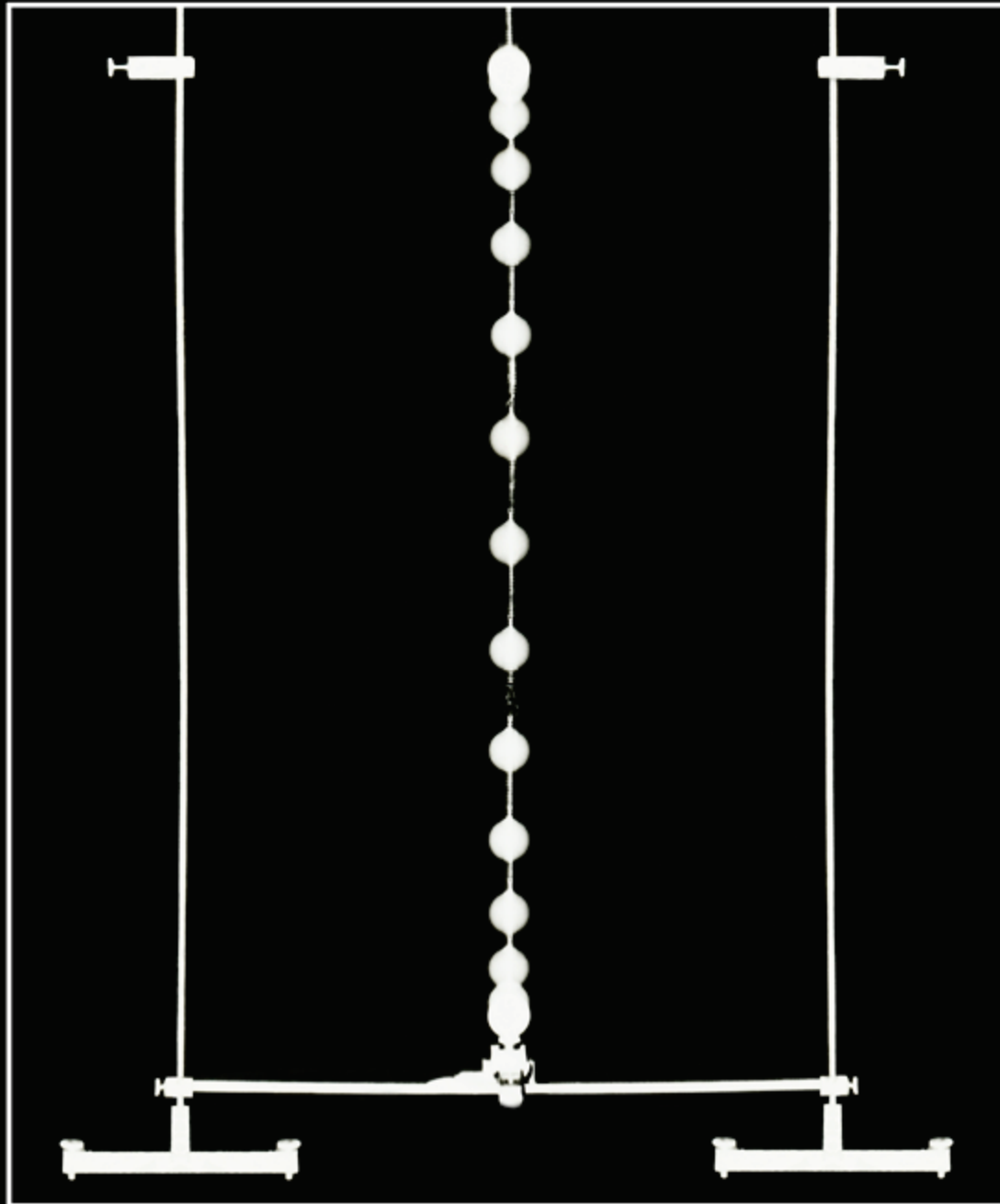
Mechanikai rezgések



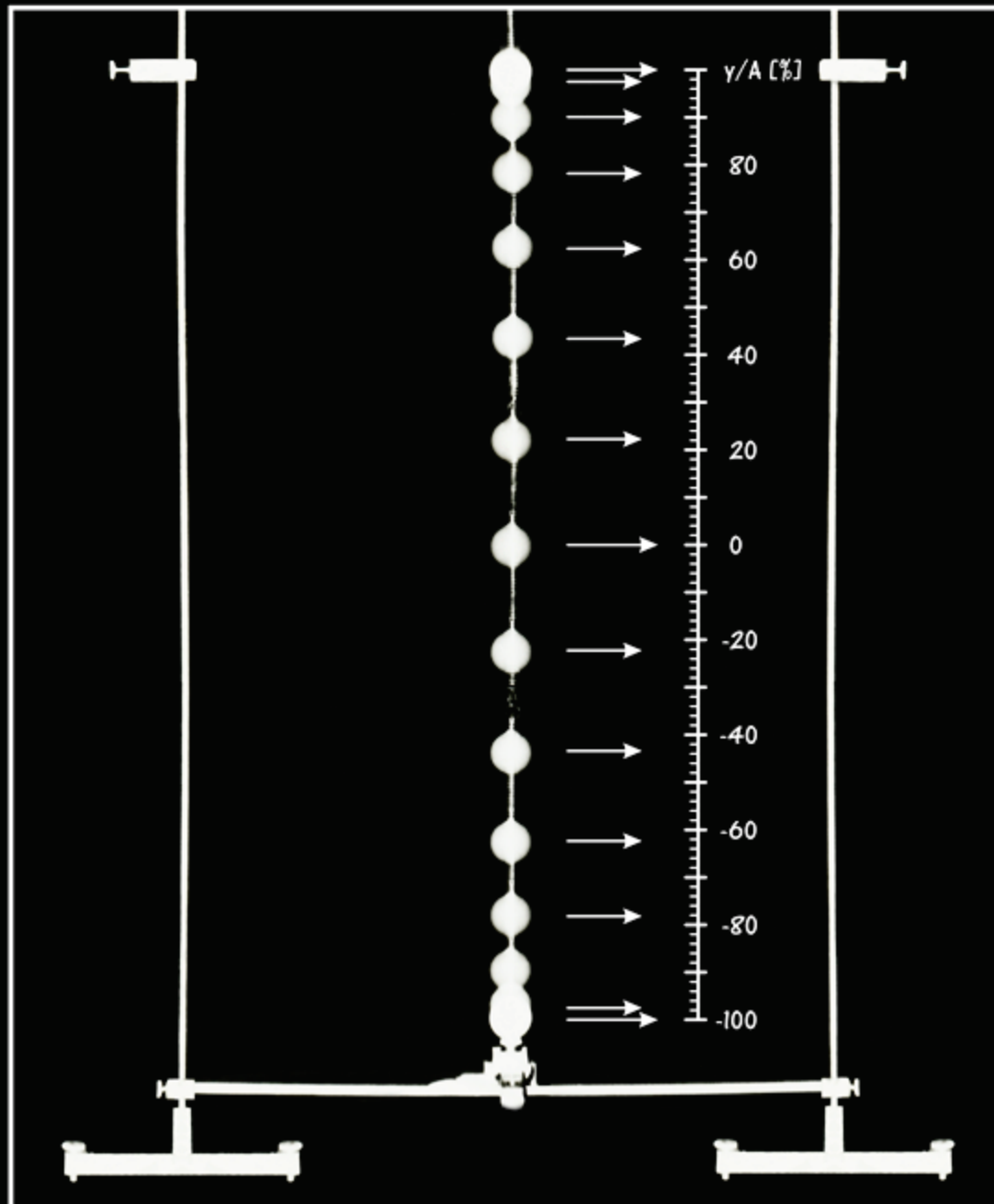
A fonálinga lengésének első félperiódusa (21 villantás; $\Delta t = 61,6 \text{ ms}$)



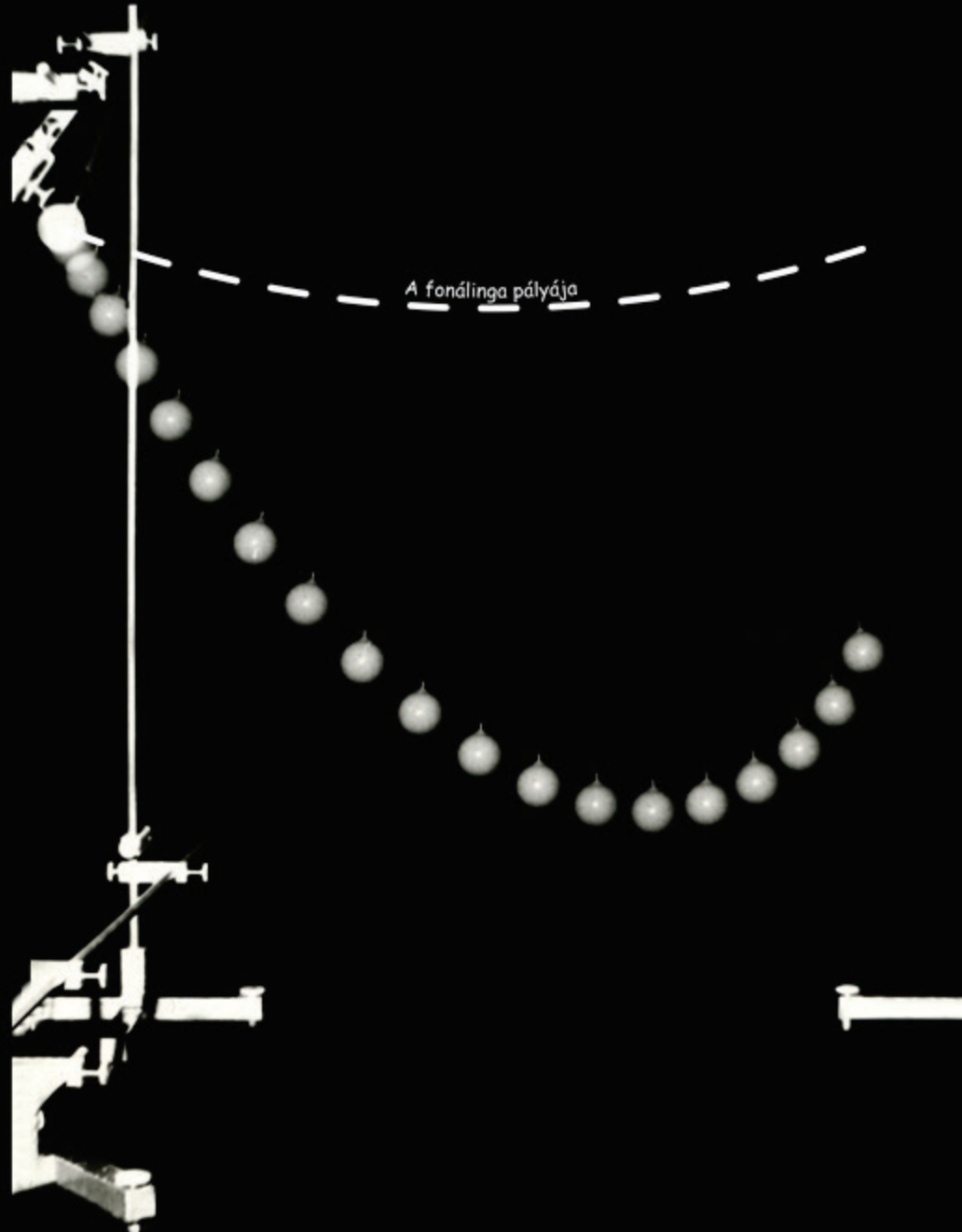
A megakasztás után a periódus kisebb lesz, ezért kisebb időintervallumokkal fényképezünk (15 villantás)



A rugalmas inga első félperiódusa. Klasszikus stroboszkópos felvétel (15 villantás; $\Delta t = 100$ ms)

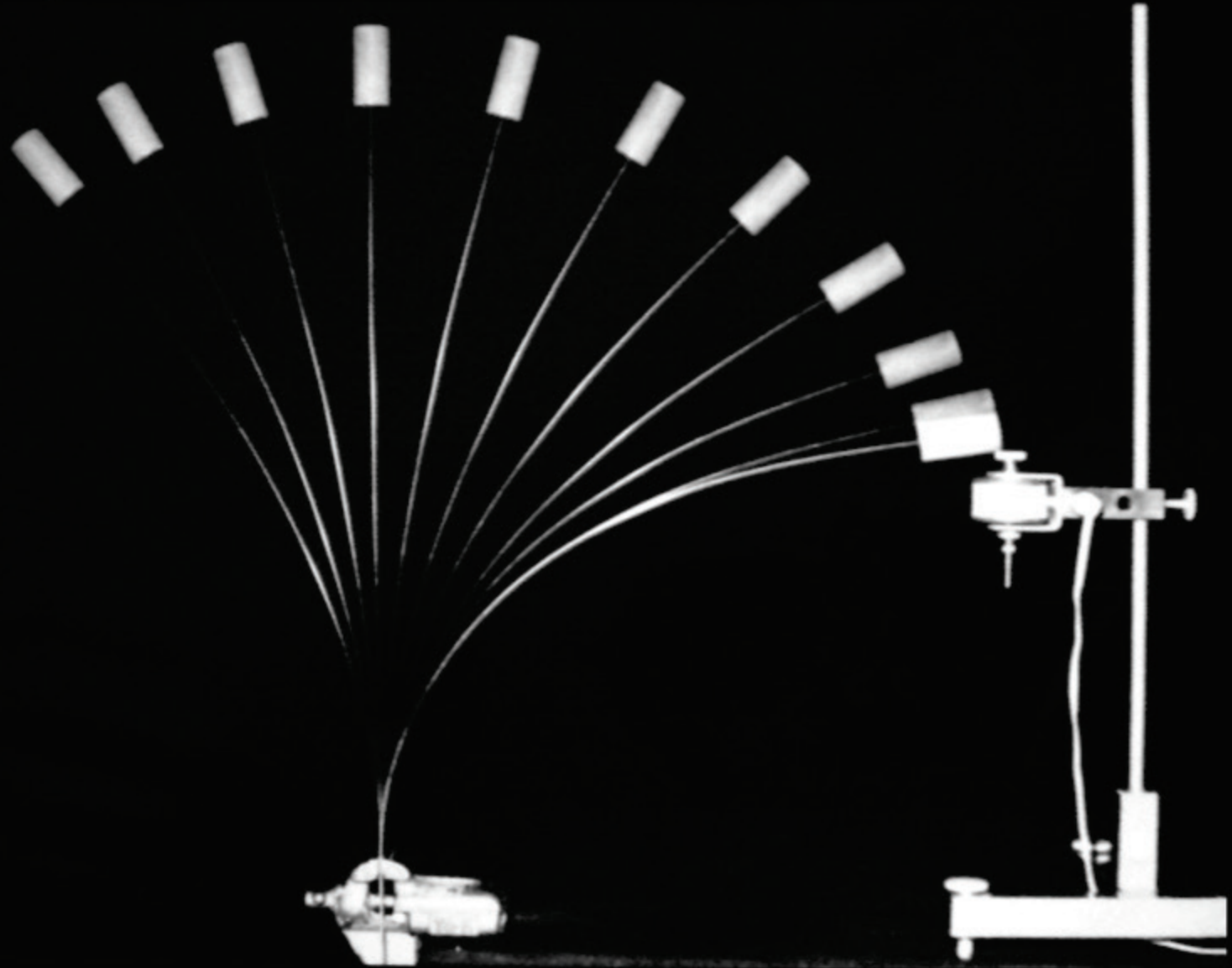


A rugalmas inga első félperiódusa. Klasszikus stroboszkópos felvétel (15 villantás; $\Delta t = 100$ ms)



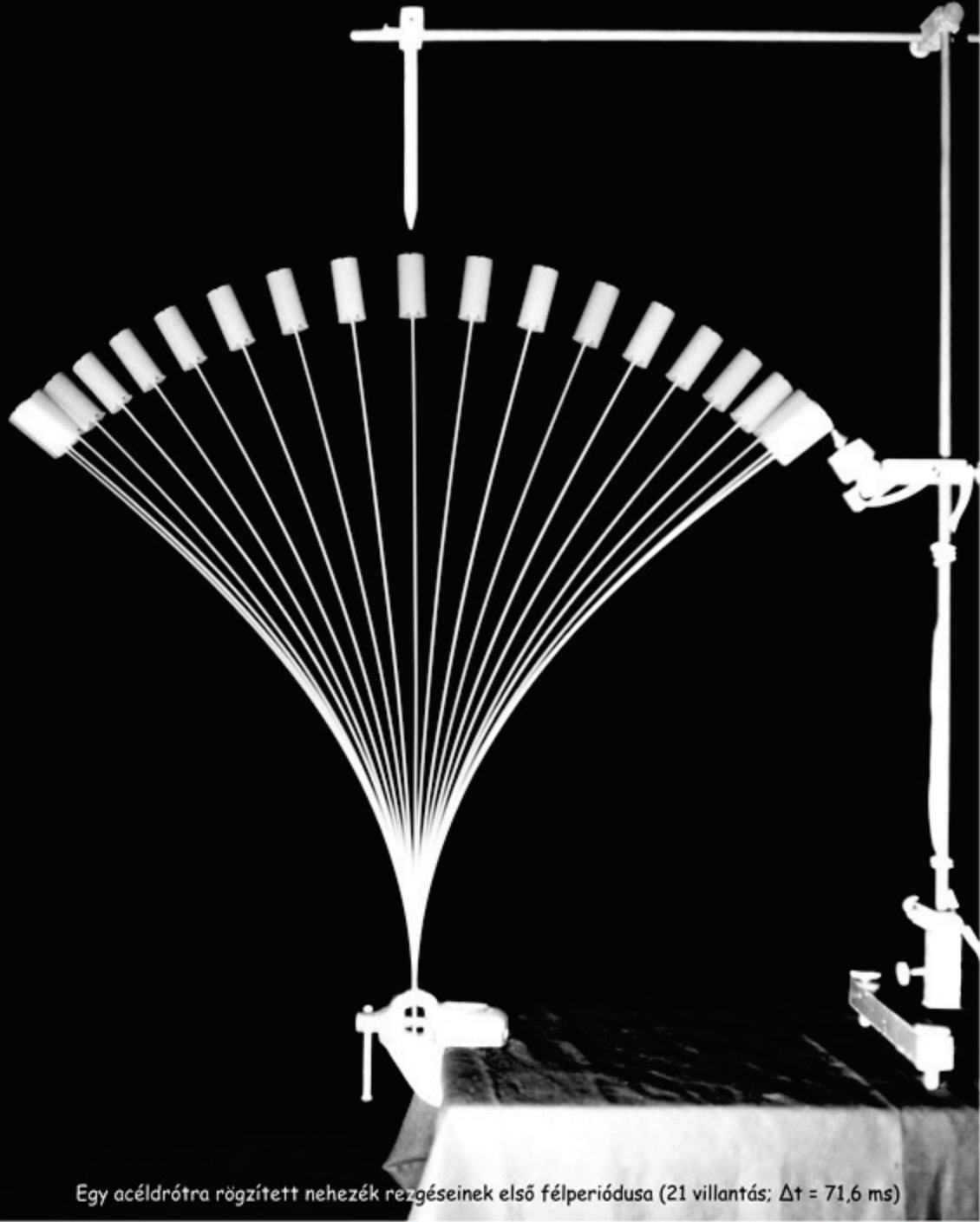
A fonálinga és rugós inga összetett rezgése (21 villantás; $\Delta t = 50 \text{ ms}$)

Mechanikai rezgések



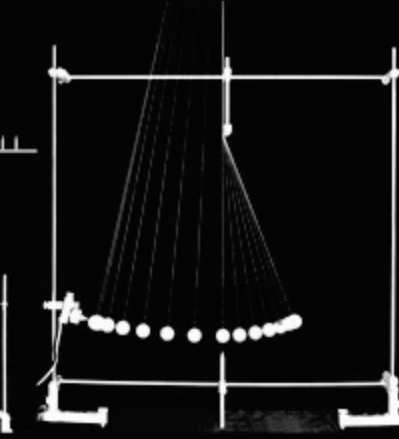
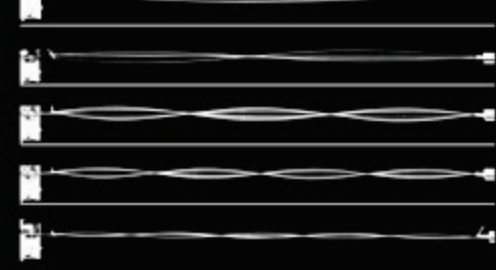
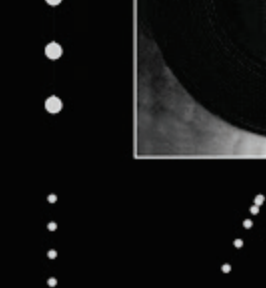
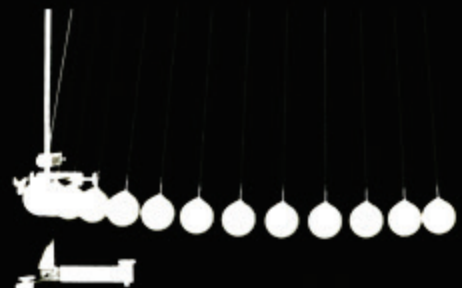
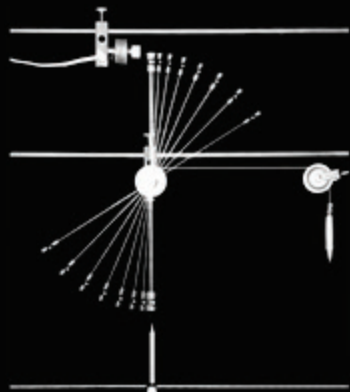
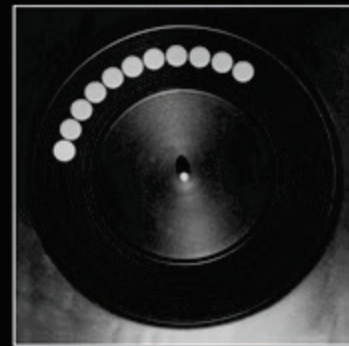
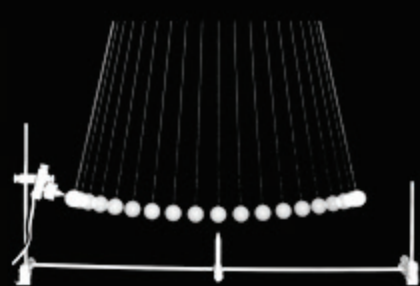
Klasszikus stoboszkópos felvétel. Egy acéldróra rögzített nehezék rezgései első félperiódusának egy része (11 villantás; $\Delta t = 100$ ms)

Mechanikai rezgések



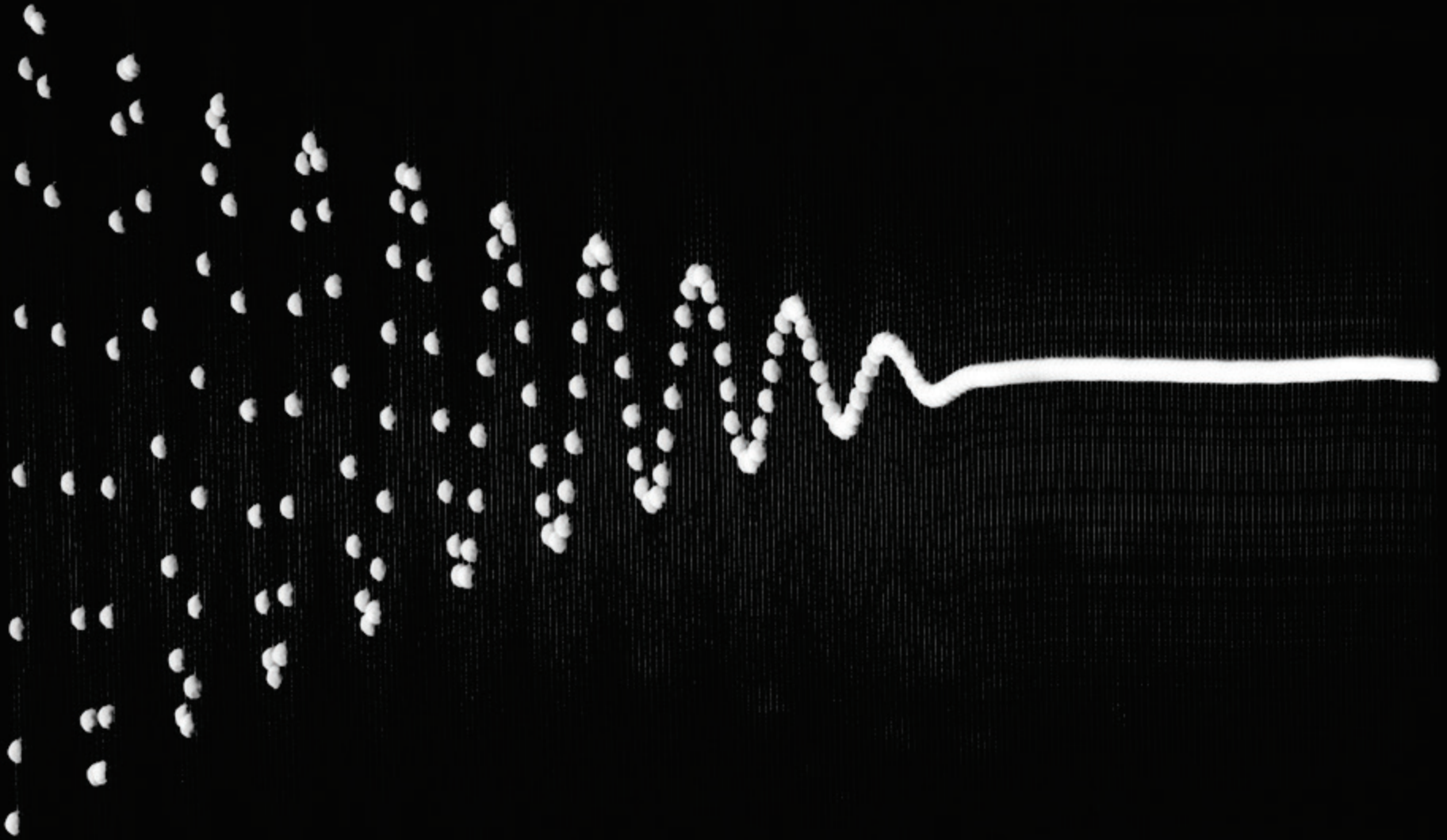
Egy acéldrótra rögzített nehezék rezgéseinek első félperiódusa (21 villantás; $\Delta t = 71,6 \text{ ms}$)

Stroboszkópos fényképekkel támogatott fizikaórák a nagyváradai Adyban



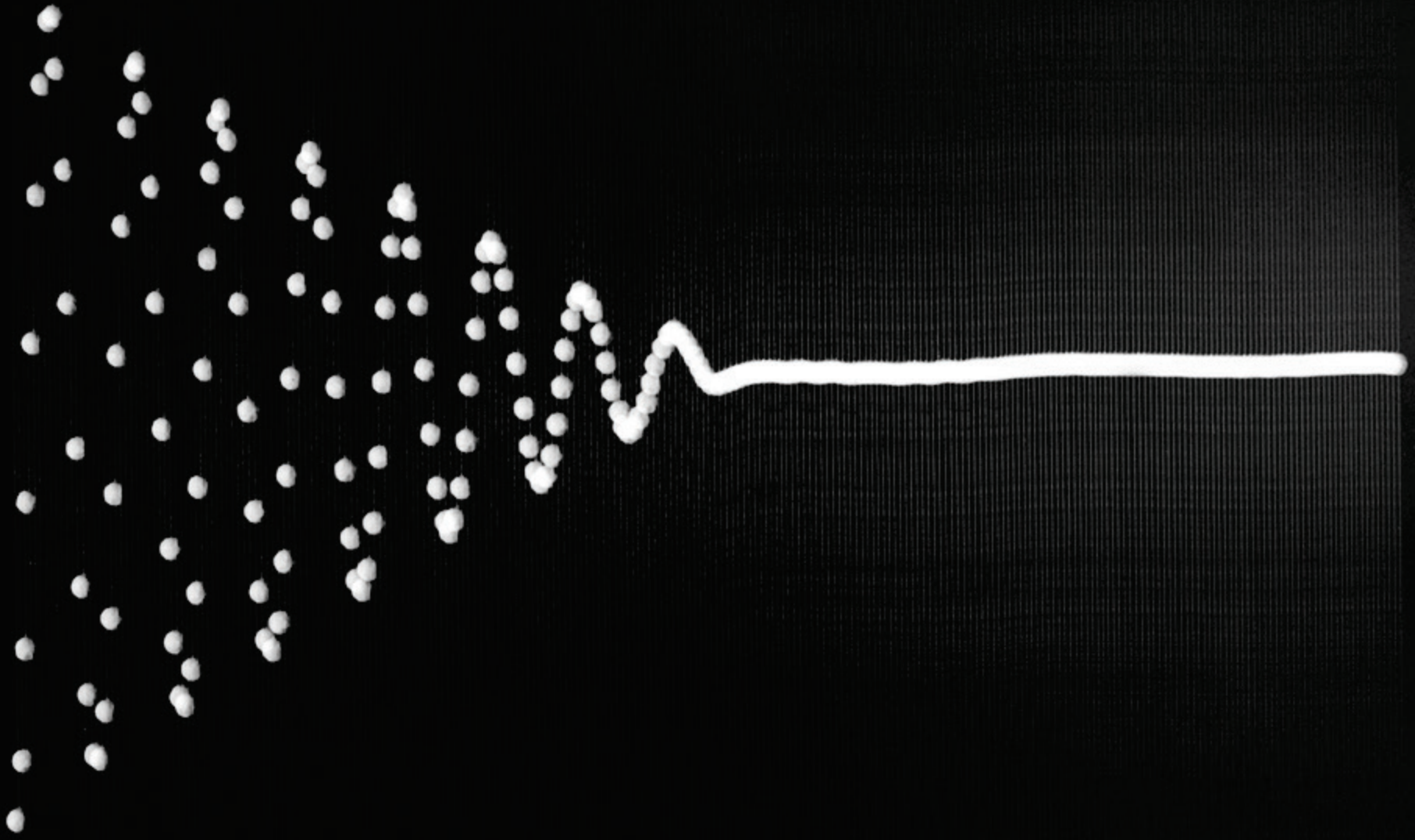
.....A rugalmas inga lecsengő rezgései

A rugalmas inga lecsengő rezgései



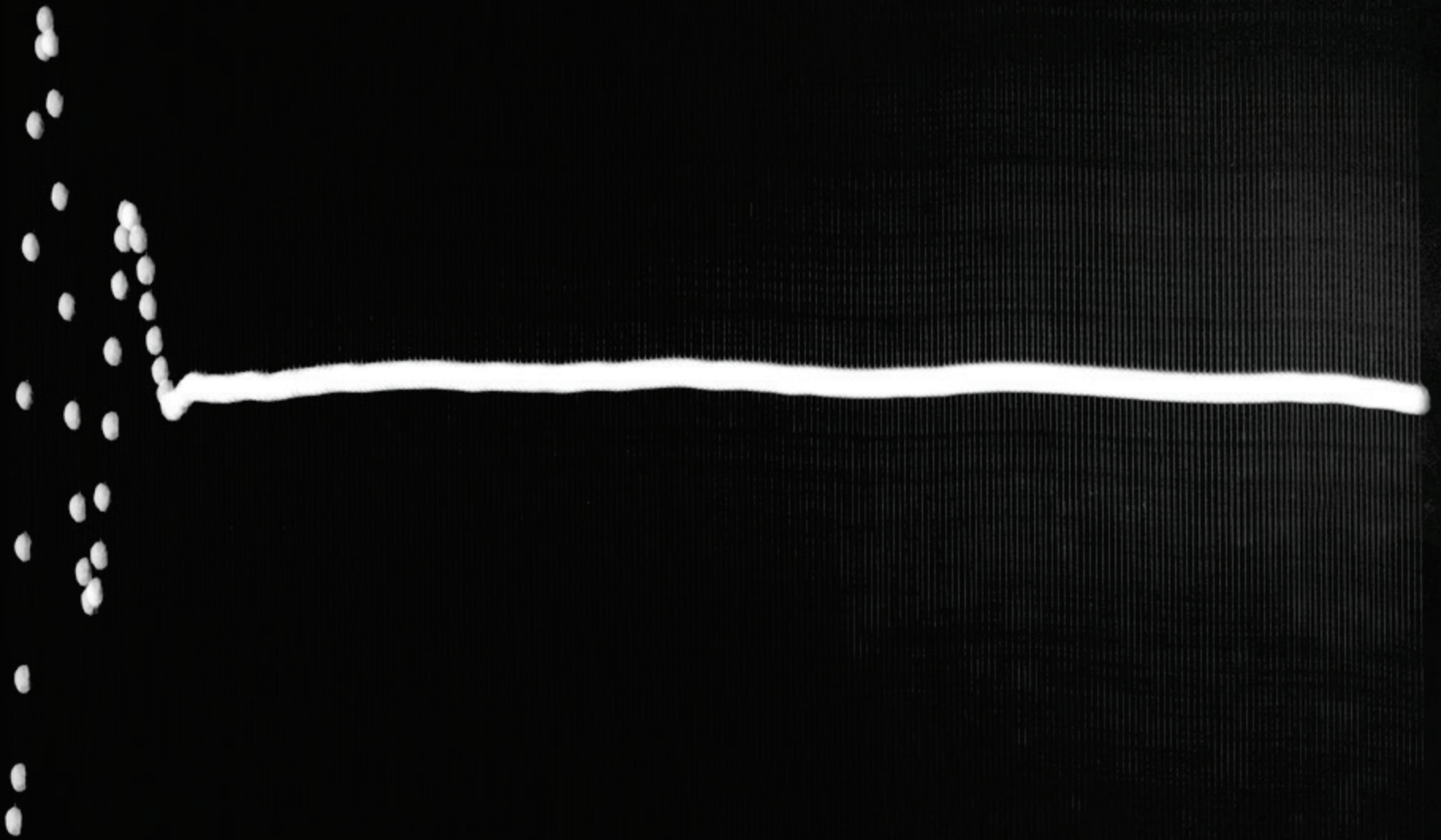
Gyenge súrlódás. A kis krétadarab a rezgést végző nehezék zsinórjához van kötve (250 villantás, $\Delta t = 60$ ms)

A rugalmas inga lecsengő rezgései



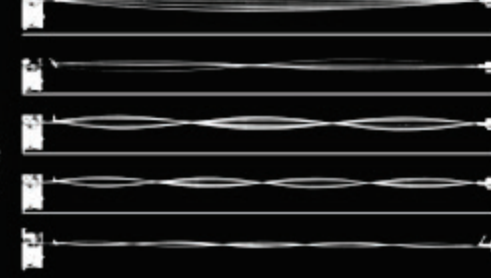
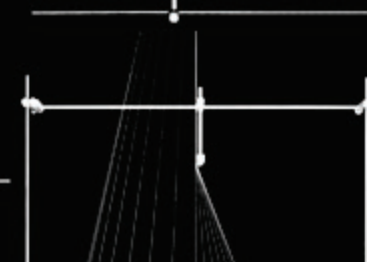
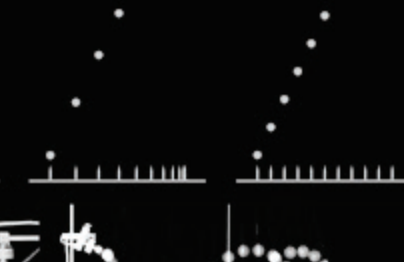
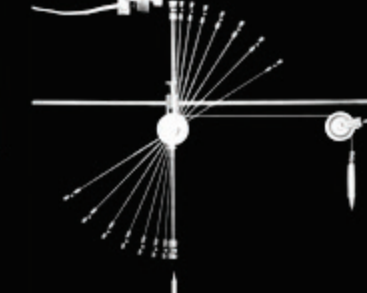
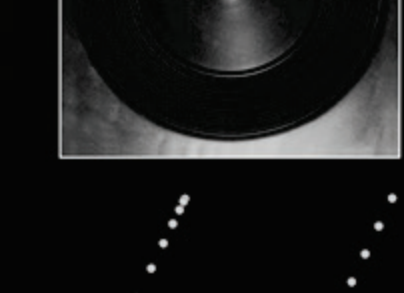
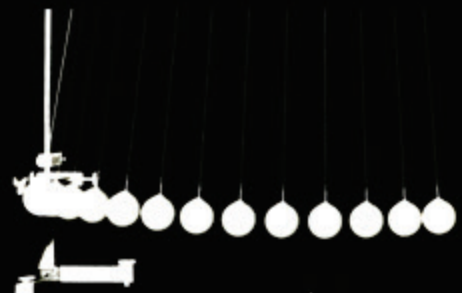
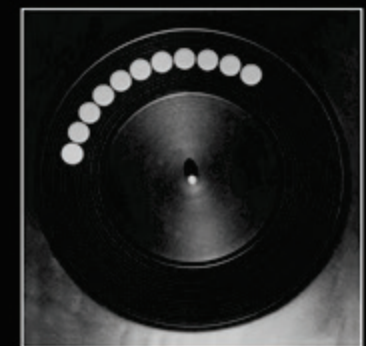
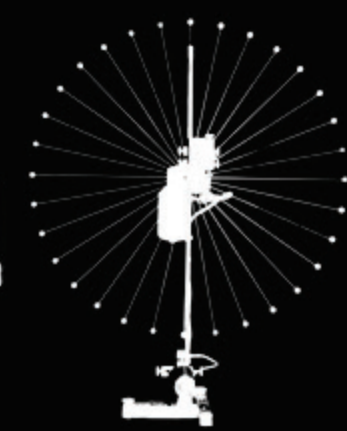
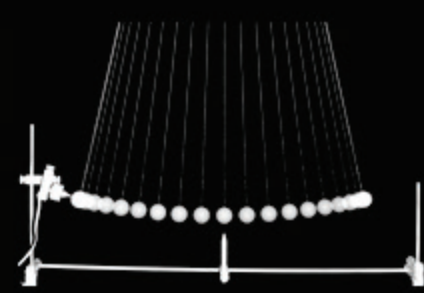
Erősebb súrlódás. A kis krétadarab a rezgést végző nehezék zsinórjához van kötve (250 villantás, $\Delta t = 60$ ms)

A rugalmas inga lecsengő rezgése



Erős súrlódás. A kis krétadarab a rezgést végző nehezék zsinórjához van kötve (250 villantás, $\Delta t = 60 \text{ ms}$)

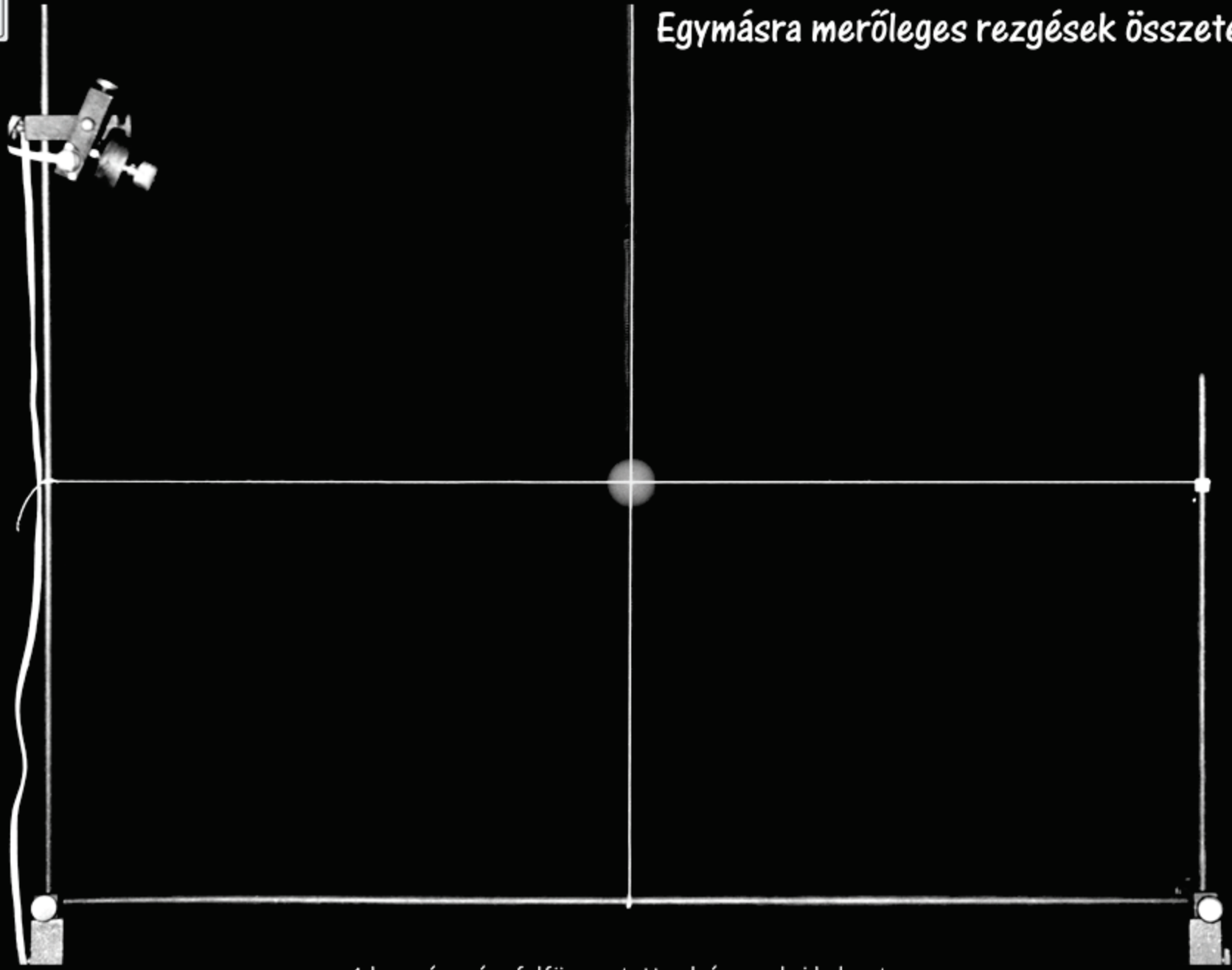
Stroboszkópos fényképekkel támogatott
fizikaórák a nagyváradí Adyban



..... Egymásra merőleges rezgések összetétele



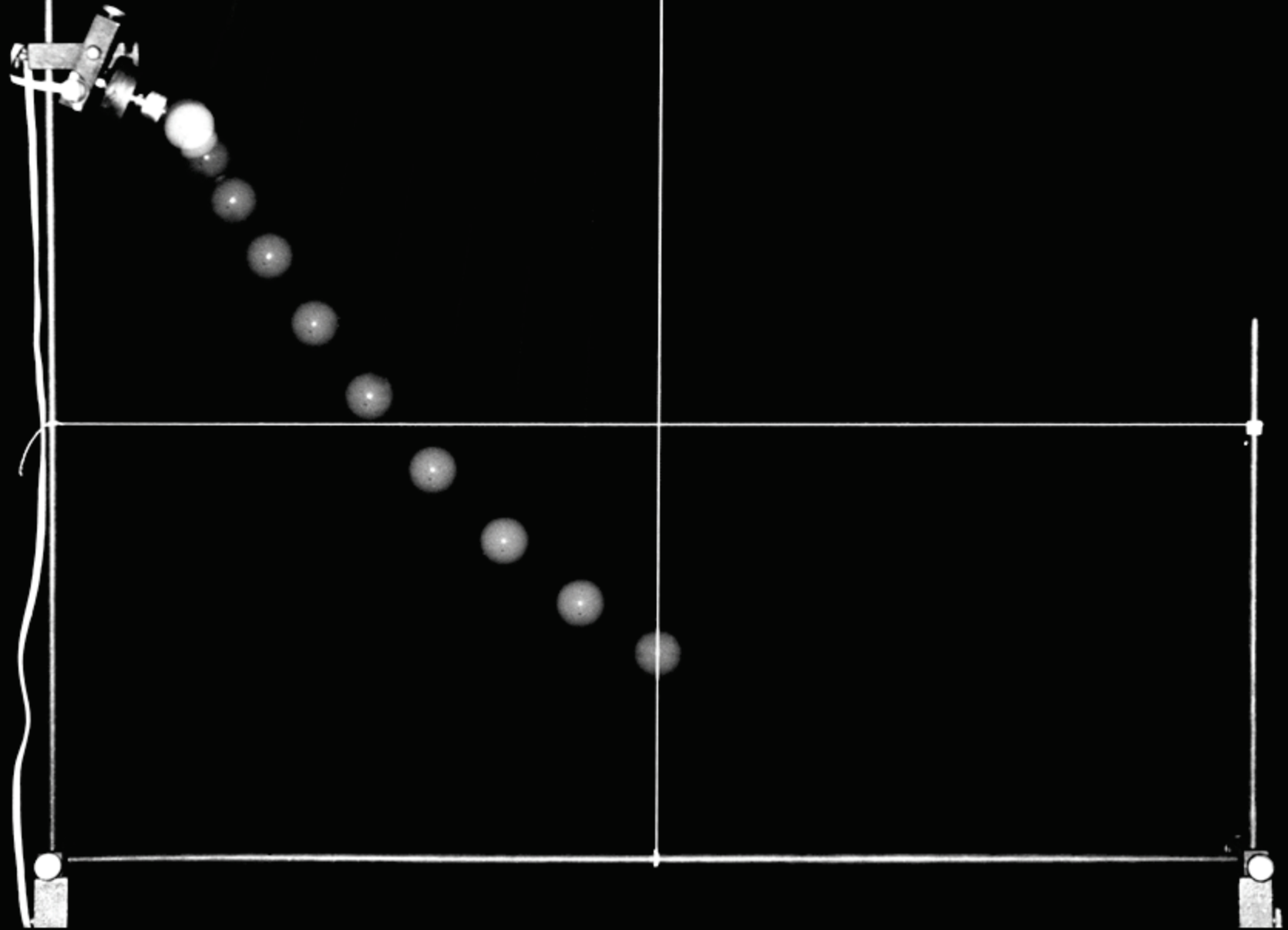
Egymásra merőleges rezgések összetétele



A hosszú rugóra felfüggesztett golyó nyugalmi helyzete

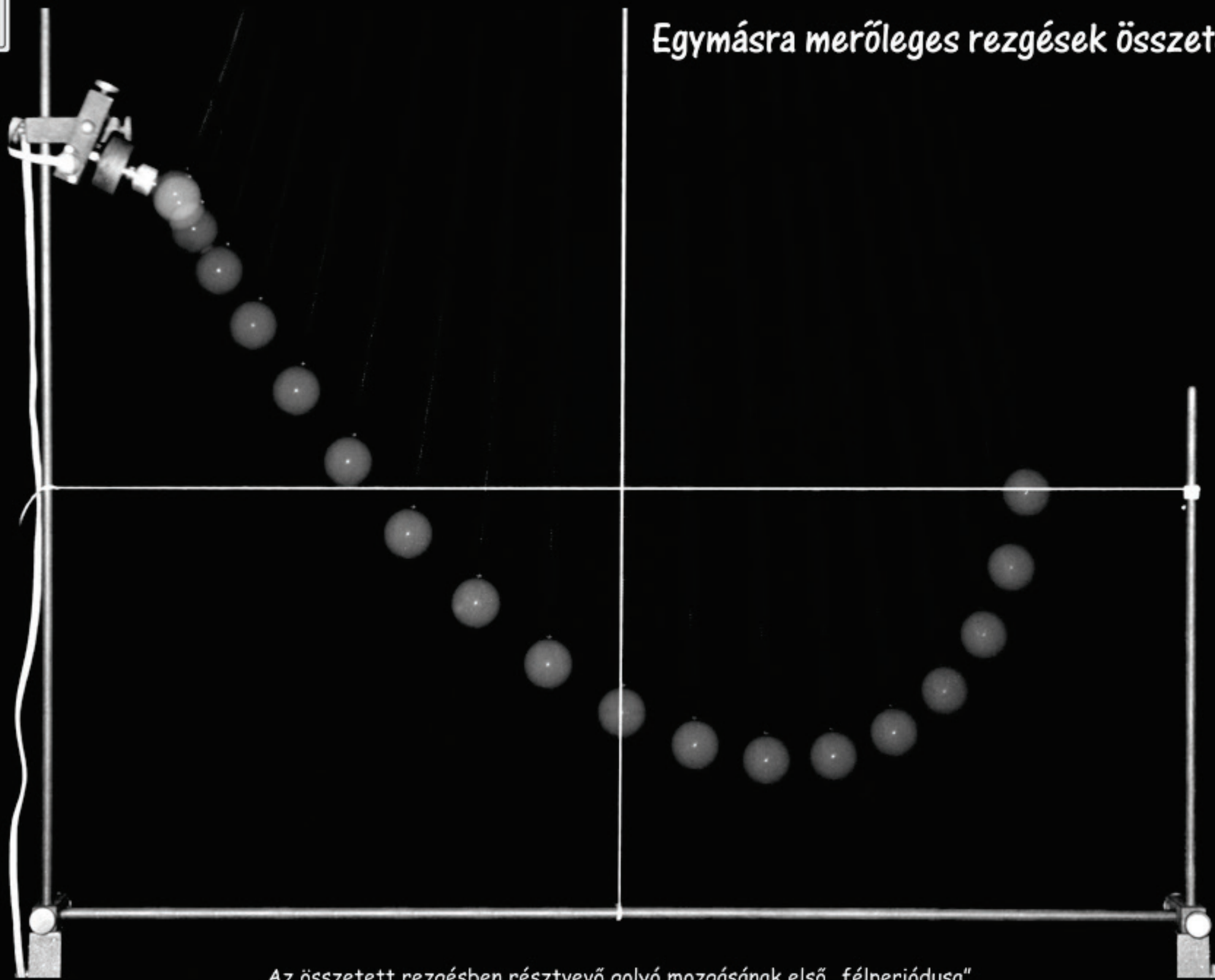


Egymásra merőleges rezgések összetétele



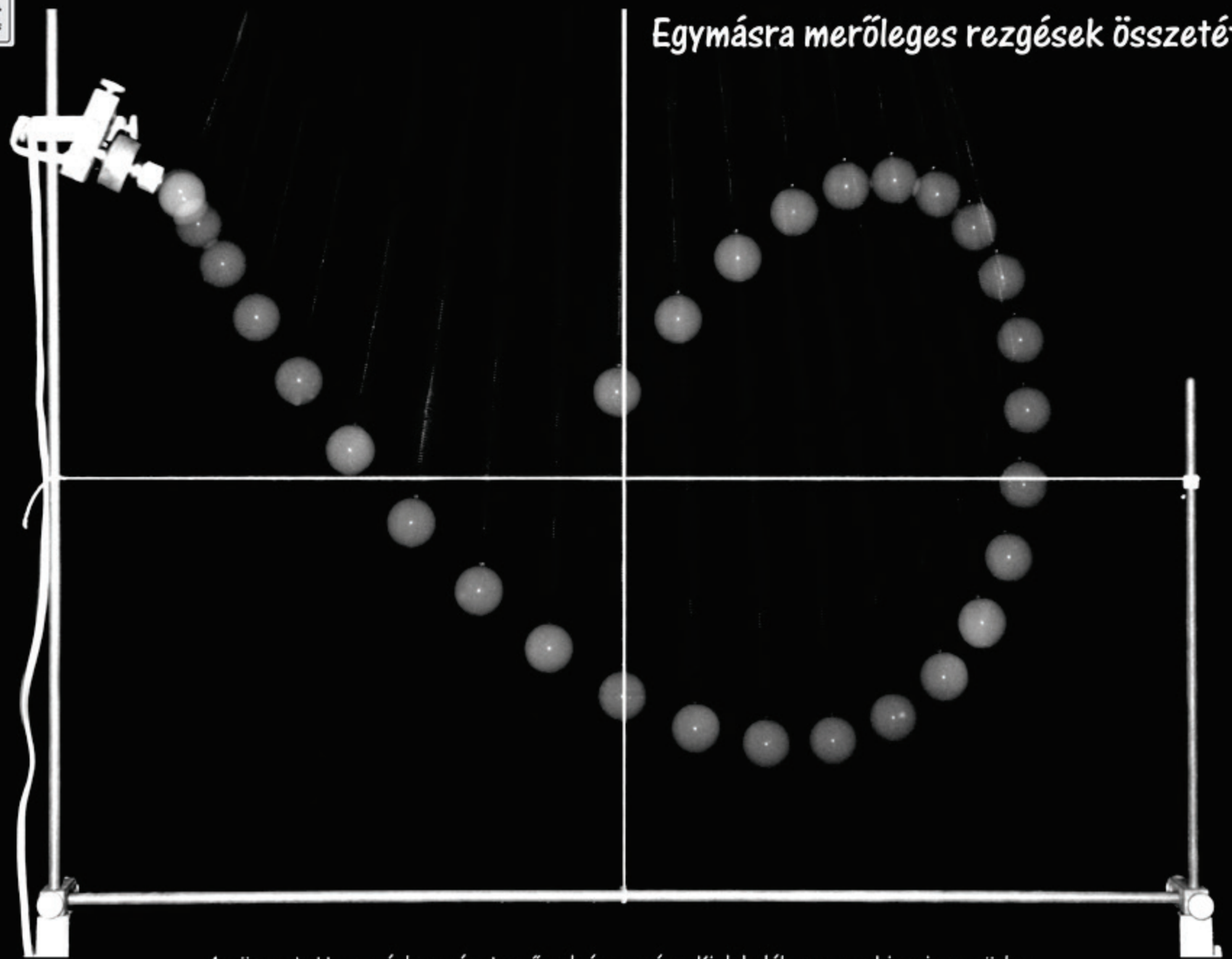
Az összetett rezgésben résztvevő golyó mozgásának első „negyedperiódusa”

Egymásra merőleges rezgések összetétele



Az összetett rezgésben résztvevő golyó mozgásának első „félperiódusa”

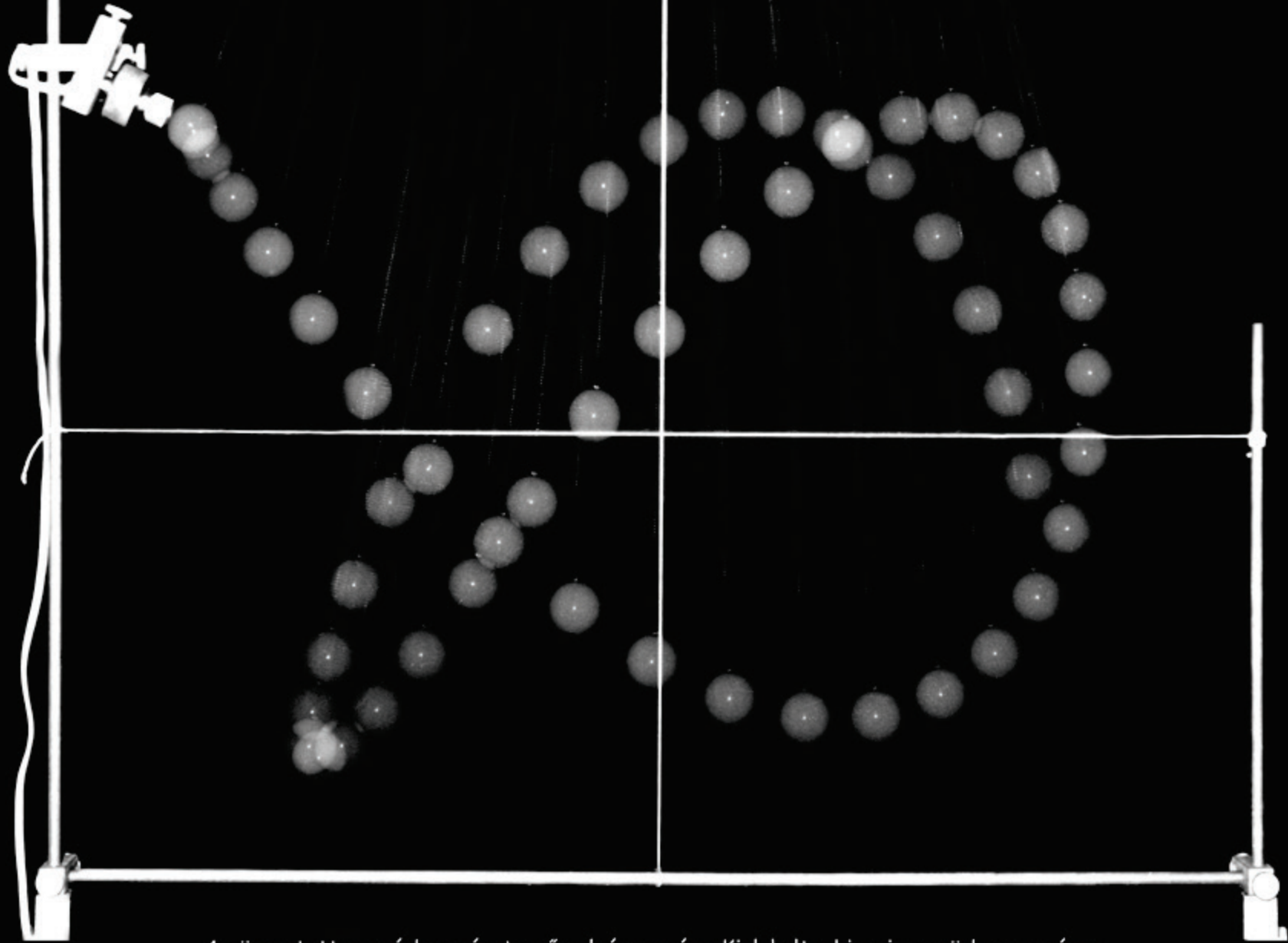
Egymásra merőleges rezgések összetétele



Az összetett rezgésben résztvevő golyó mozgása. Kialakulóban van a Lissajous-görbe

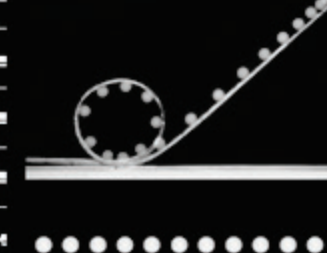
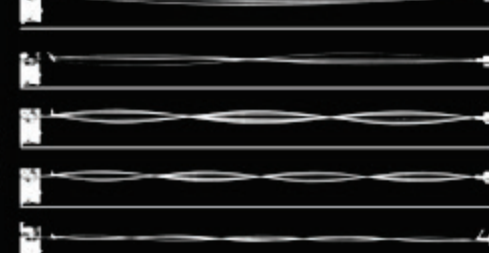
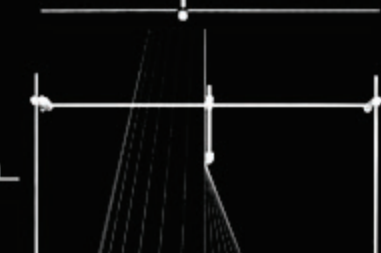
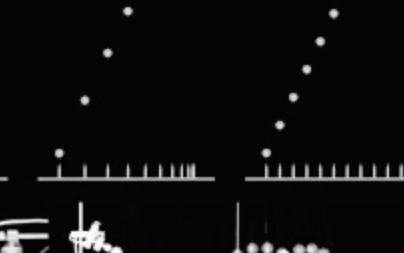
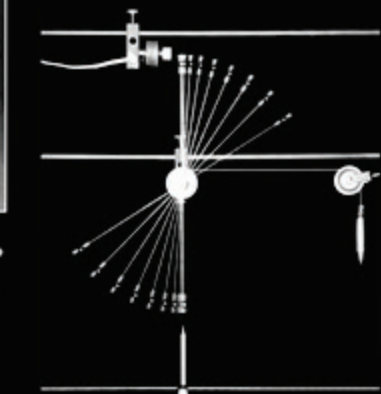
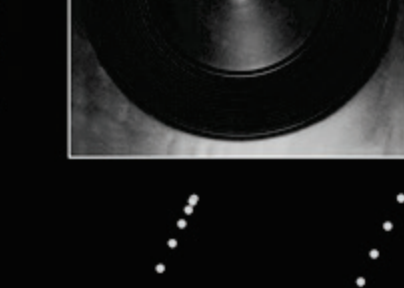
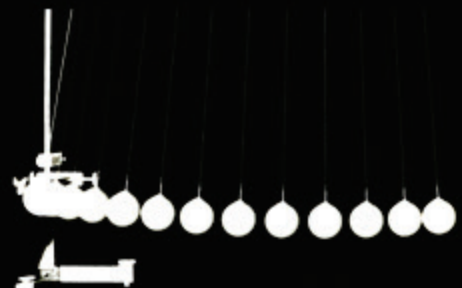
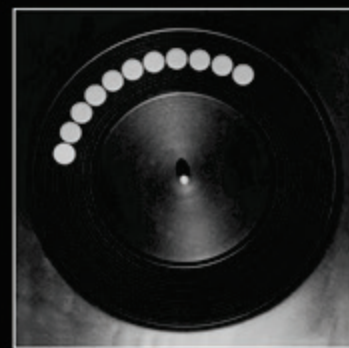
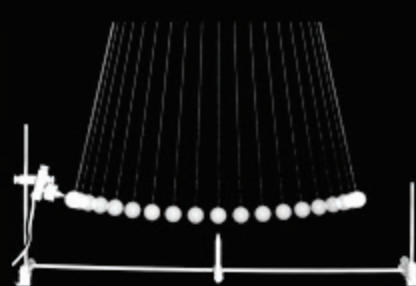


Egymásra merőleges rezgések összetétele

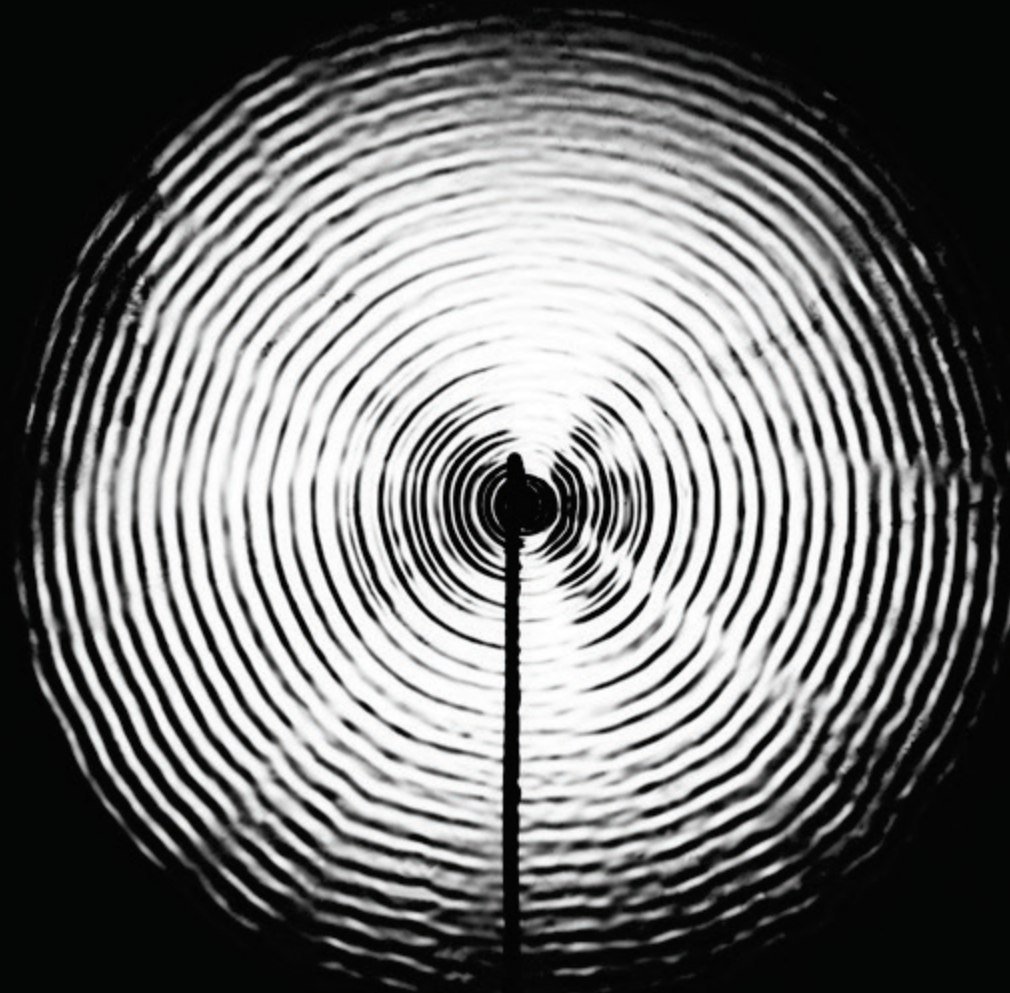


Az összetett rezgésben résztvevő golyó mozgása. Kialakult a Lissajous-görbe egy része

Stroboszkópos fényképekkel támogatott fizikaórák a nagyváradí Adyban



..... Felületi hullámok



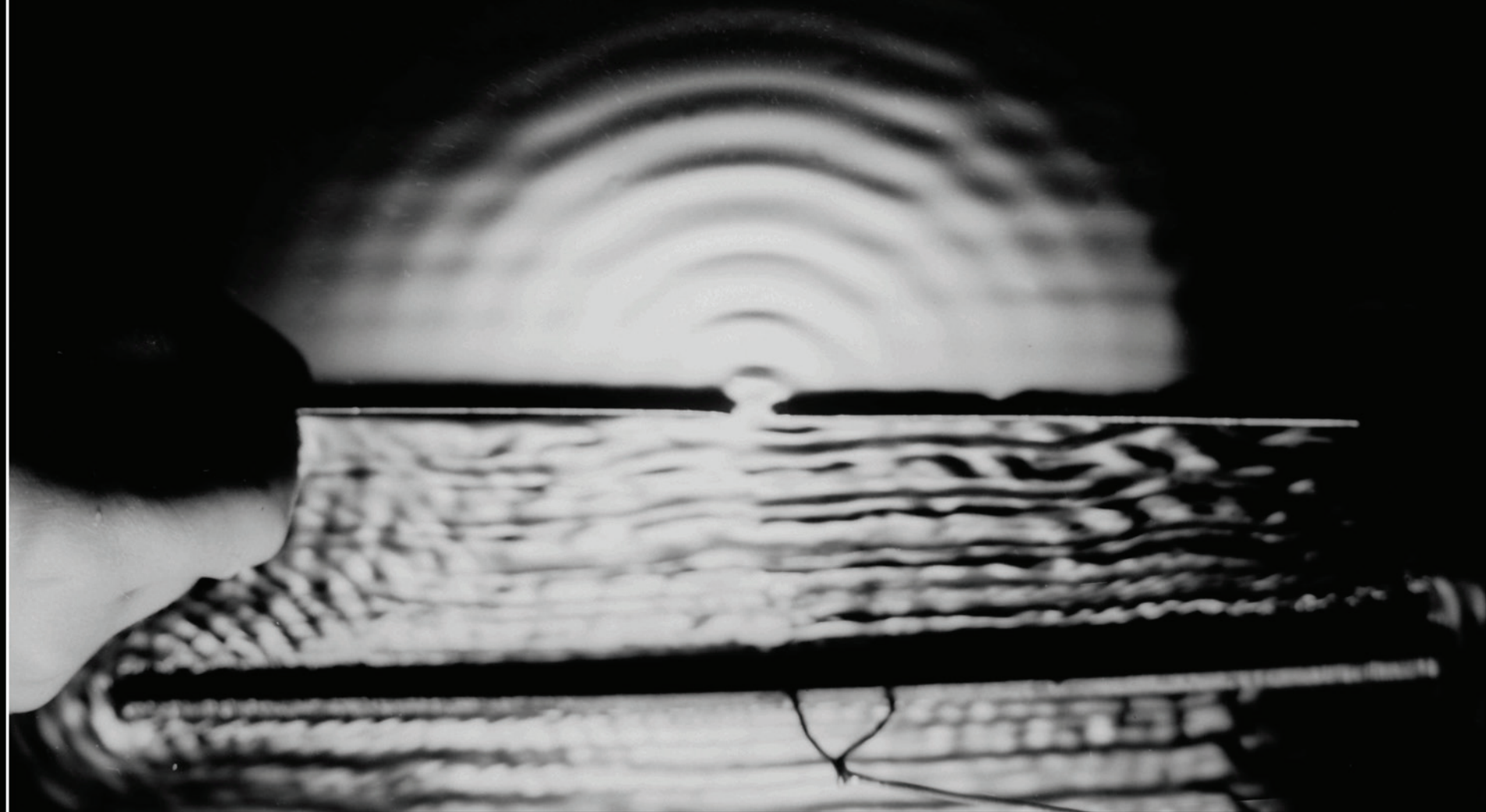
Körhullámok a higany felületén (24 villantás; $\Delta t = 44$ ms)

Felületi hullámok



Lineáris hullámok a higany felületén ($\Delta t = 44 \text{ ms}$)

Felületi hullámok

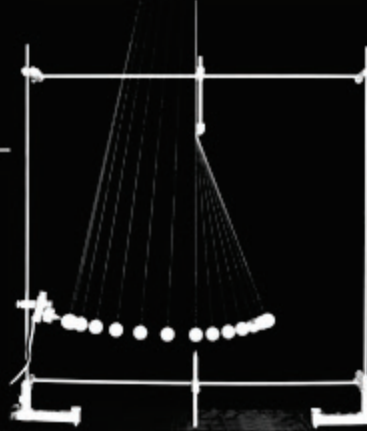
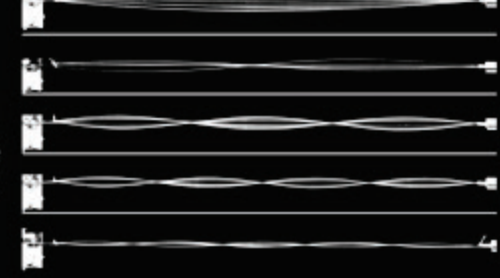
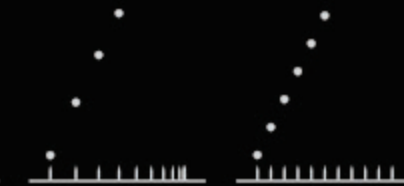
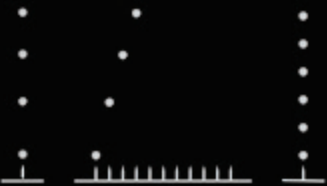
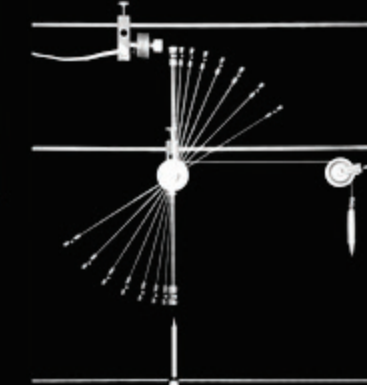
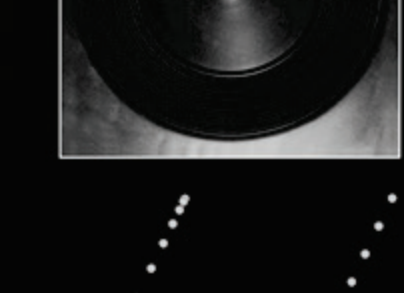
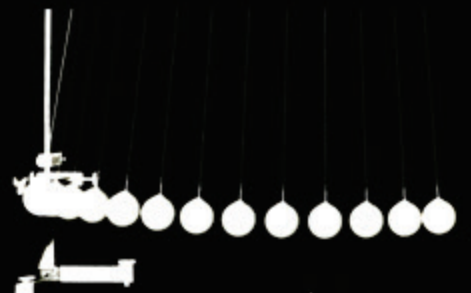
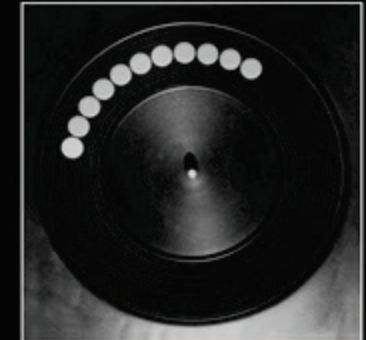
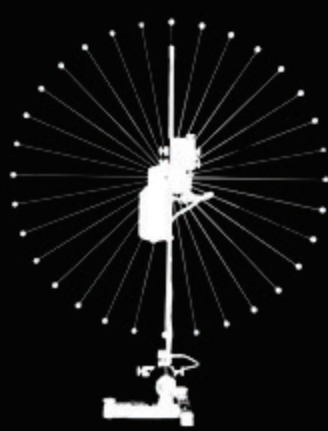
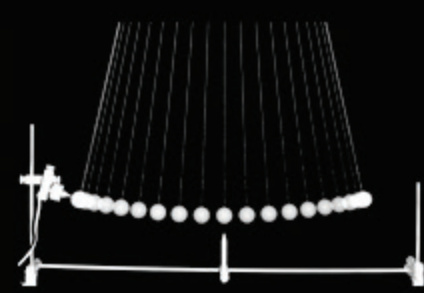


A Huygens-elv demonstrációja: lineáris hullámok elhajlása a keskeny résnél ($\Delta t = 44$ ms)



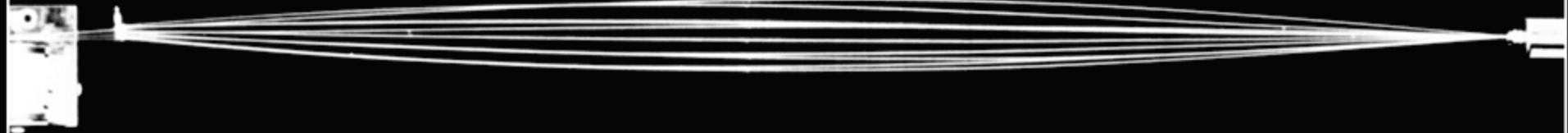
Young kísérlete (24 villantás; $\Delta t = 44$ ms)

Stroboszkópos fényképekkel támogatott fizikaórák a nagyváradai Adyban



..... Állóhullámok a húrokban

Állóhullámok a húrokban



A cérnában fellépő feszítőerő és a gerjesztési frekvencia megfelelő beállításával **egyorsós** állóhullám alakul ki

Állóhullámok a húrokban



A cérnában fellépő feszítőerő és a gerjesztési frekvencia megfelelő beállításával **kétorsós** állóhullám alakul ki

Állóhullámok a húrokban



A cérnában fellépő feszítőerő és a gerjesztési frekvencia megfelelő beállításával háromorsós állóhullám alakul ki

Állóhullámok a húrokban



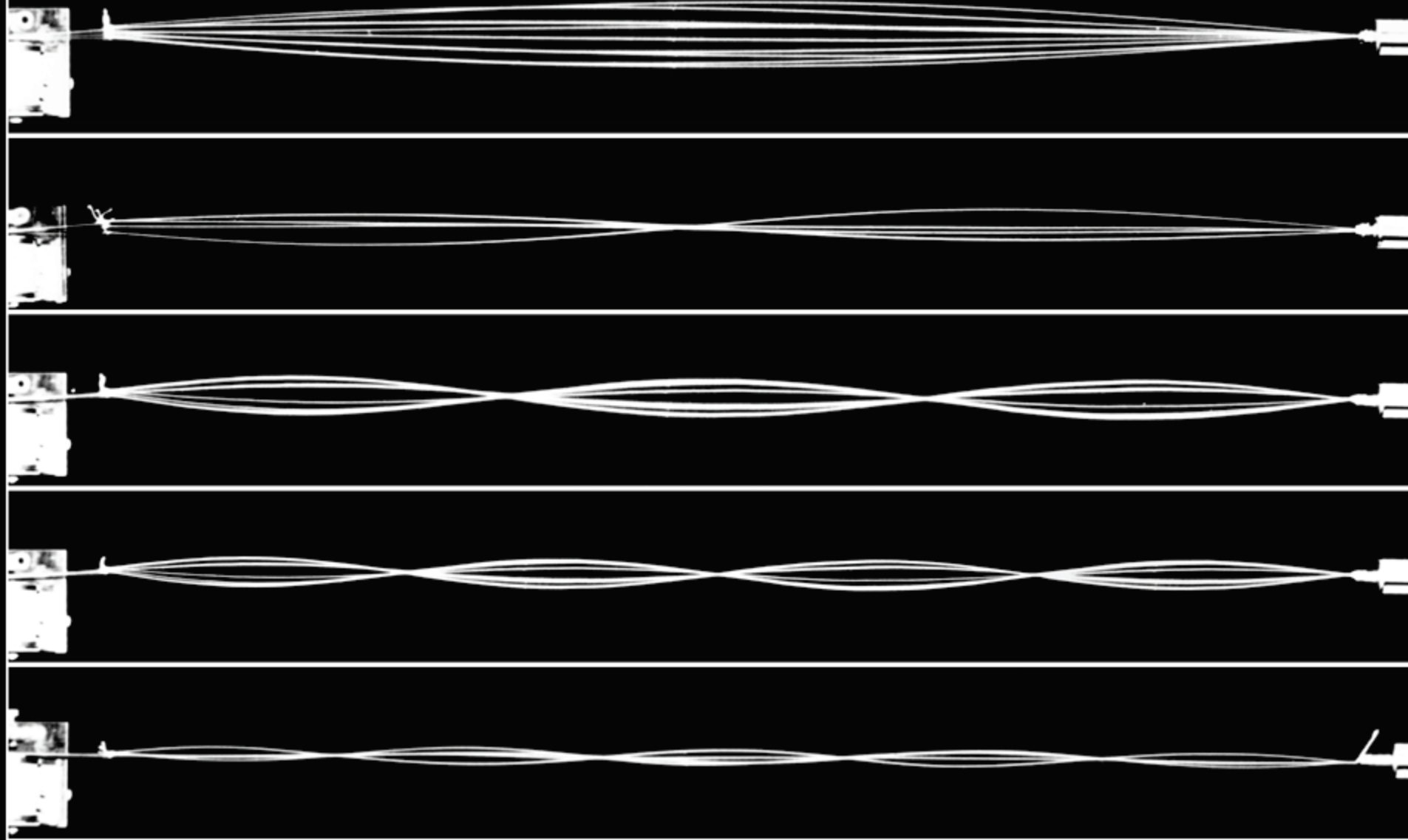
A cérnában fellépő feszítőerő és a gerjesztési frekvencia megfelelő beállításával **négyorsós** állóhullám alakul ki

Állóhullámok a hűrokban



A cérnában fellépő feszítőerő és a gerjesztési frekvencia megfelelő beállításával **ötorsós** állóhullám alakul ki

Állóhullámok a húrokban



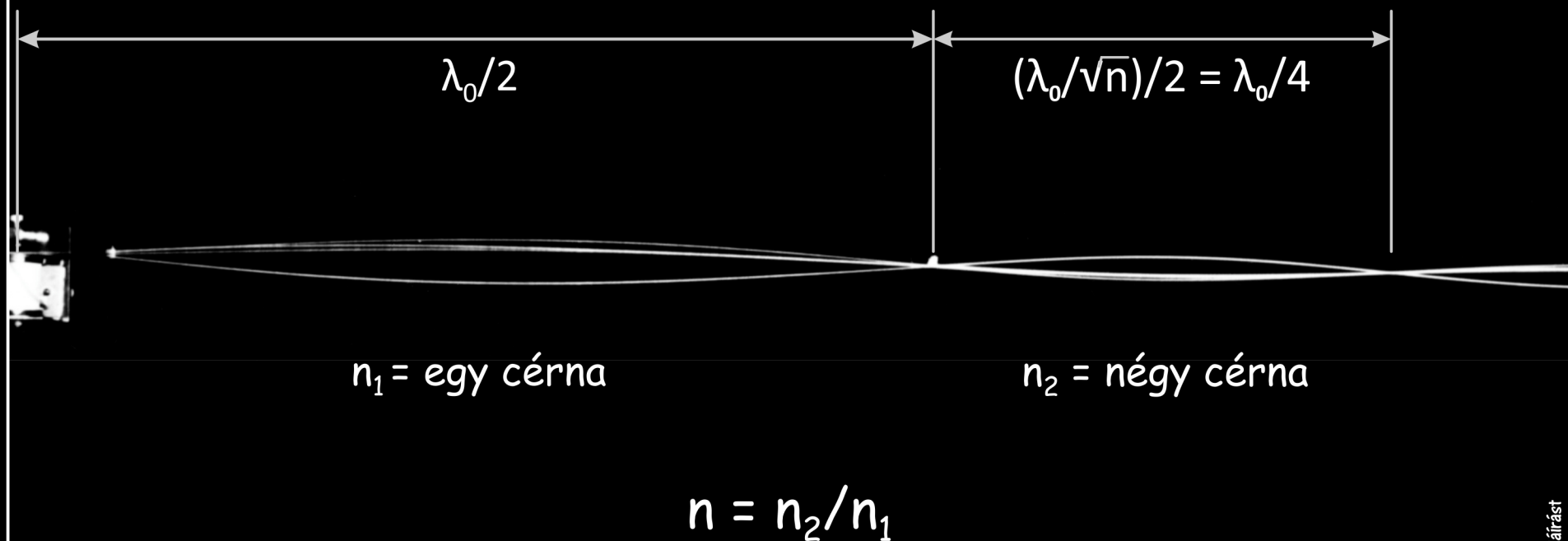
A cérnában fellépő feszítőerő és a gerjesztési frekvencia megfelelő beállításával az orsók száma változtatható

Állóhullámok a húrokban



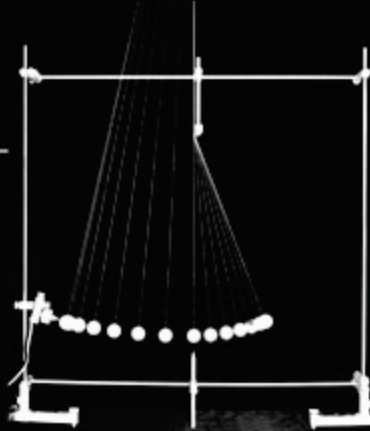
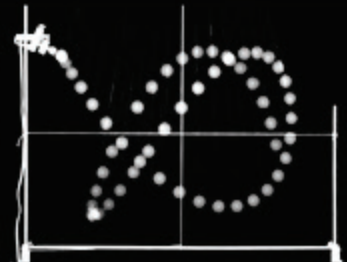
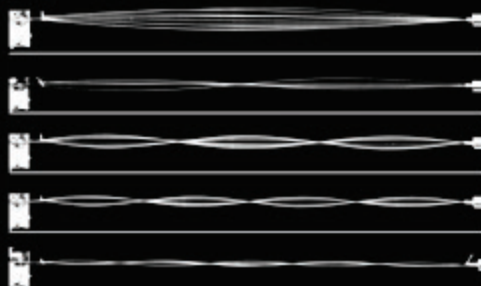
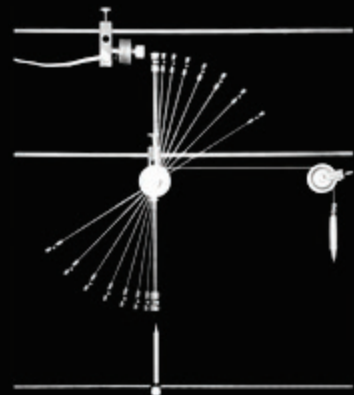
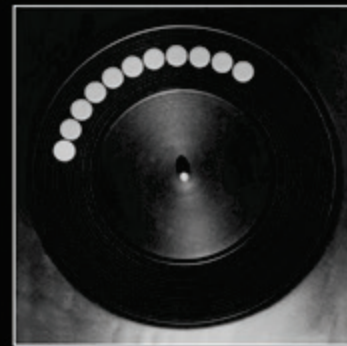
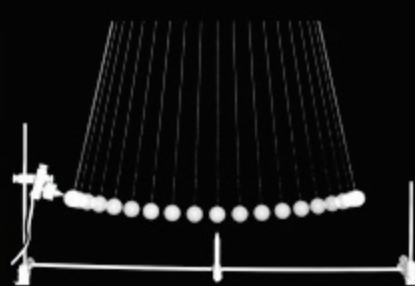
Az állóhullámok törése. A csomótól balra a húr csak $n_1 = 1$ cérnából áll, míg jobbra $n_2 = 4$ cérnából, ezért a hullámhossz kisebb lesz.

Állóhullámok a húrokban



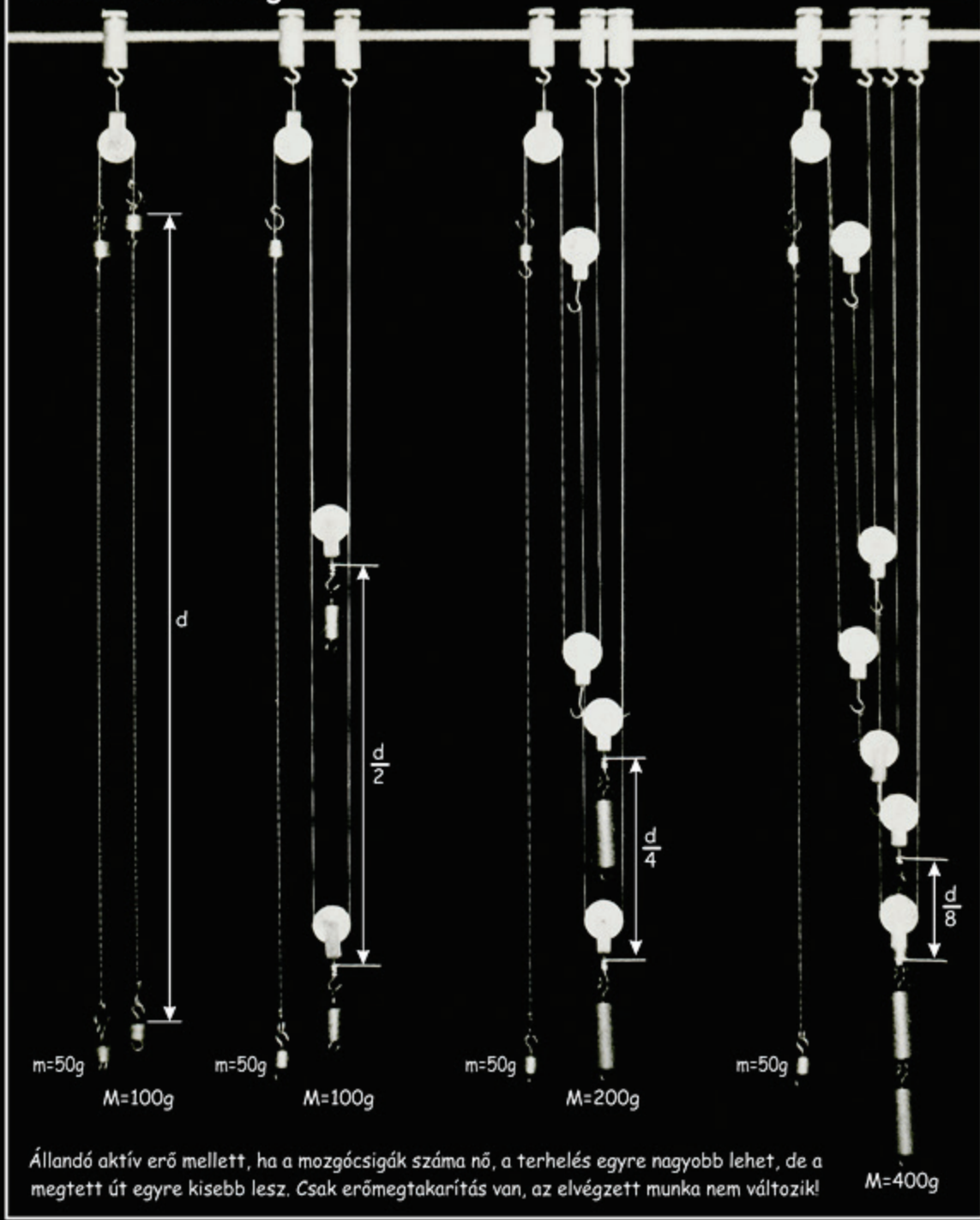
Az állóhullámok törése. A csomótól balra a húr csak $n_1 = 1$ cérnából áll, míg jobbra $n_2 = 4$ cérnából, ezért a hullámhossz kisebb lesz.

Stroboszkópos fényképekkel támogatott fizikaórák a nagyváradai Adyban



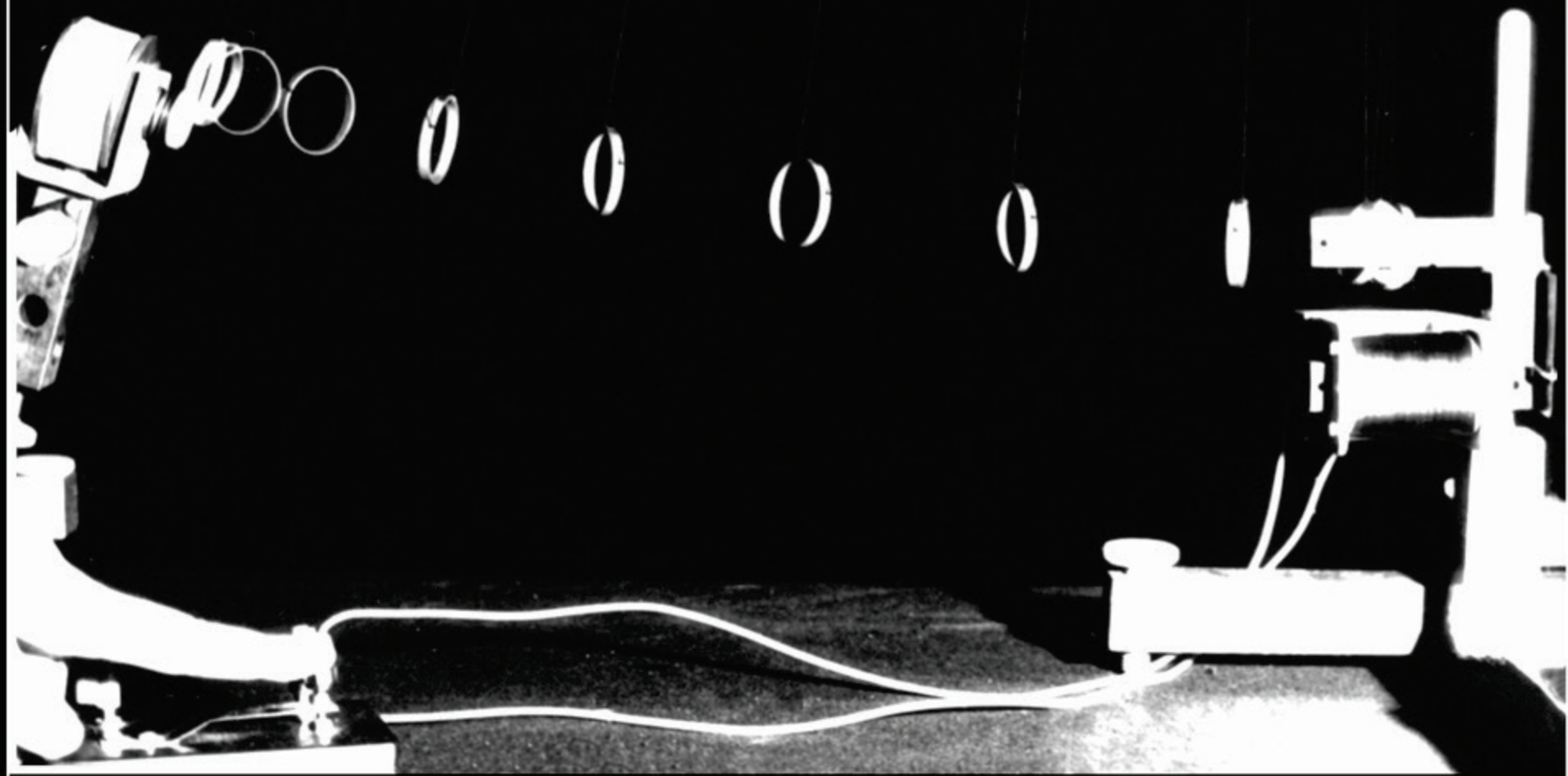
..... Vegyes témájú képek

Arkhimédészi csigasor



Állandó aktív erő mellett, ha a mozgócsigák száma nő, a terhelés egyre nagyobb lehet, de a megtett út egyre kisebb lesz. Csak erőmegtakarítás van, az elvégzett munka nem változik!

Lenz törvényének igazolása



Amint a gyűrű az áramjárta elektromágneshez ér, a benne indukálódott áram mágneses tere azonnal lefékezi. A gyűrű hamarosan megáll

Gyorsuló mozgás - 1977



Az atléta startja. Teljes sötétségben készült stroboszkópos felvétel a sportpályán ($n = 3$ villantás; $\Delta t = 150$ ms)

Egyenletes mozgás - 1977



Szinte egyenletes mozgás. Teljes sötétségben készült stroboszkópos felvétel a sportpályán ($n = 3$ villantás; $\Delta t = 150$ ms)



A stroboszkópos felvétel napján feljegyeztük a távolságokat és a villantási időközt. Később összehasonlítottuk a fényképen látottakkal

Ne engedjétek a fizikatanárt a játszótér közelébe!



Source: <http://kozepsuli.hu/wp-content/uploads/2015/04/image-c1b772d4ef21a8fc46c271c2b93f9da3086b666c82d8d683bf37e216a47238ec-V.jpg>

Köszönöm a figyelmet!



A stroboszkópos felvételek túlnyomó többsége a nagyváradi Ady Endre Líceum számítógép-vezérelt Fizikumában készült

Az egyszerű lefuttatást kiegészítő forrógombok

A stroboszkópos album pdf változata mintegy száz, 3000x2400 px, 300 dpi felbontású képet tartalmaz. Az egyszerű lefuttatás a pdf állományoknál megszokott nyíl- és lapozógombokkal, valamint az egér vezérlőgombjaival történik. A tartalomjegyzékben megtalálhatjuk a fényképezett jelenségek csoportosítás szerinti belső címlapjait, ez segíti a képek témák szerinti szelektív megnézését. Egy szempiktogramra kattintva a kiválasztott belső címlaphoz érkezőnk, a további nézegetés a már említett általános gombokkal történhet, így eljuthatunk akár a stroboszkópos fényképalbum végéig is. Minden oldal jobb-felső sarkában található egy ciánszínű **T** betű, amelyre rákattintva a tartalomjegyzékhez ugorhatunk vissza. Az **Esc** billentyűvel bárhol kiléphetünk az albumból.

Ez a rövid magyarázat a prezentáció végére került, de a tartalomjegyzékből közvetlenül is meghívható, itt is szerepel a ciánszínű **T** betű, ezzel visszaléphetünk a tartalomjegyzékhez, ahol kiválaszthatjuk a további nézegetésre szánt témát.

Ajánlat. A csupa-petty típusú képsorok nagyon egyszerűnek tűnnek, első látásra mindenki - velem az élen - érteni véli. Általános tévedés tapasztalható a pálya viszonylagosságával kapcsolatos képek esetében, ahol a „csak nézegetők” a számítógép-vezérelt fényképezőkocsi mozgását éppen az ellenkező irányba képzelik el. Miután elfogadják a képek alján levő kommentet, és elmerülnek a képek nézésében, újabb hibákat vélnek felfedezni. Én magam is így vagyok ezzel! Ha sokáig nem láttam egy képet, akkor első ránézéskor elvileg hibásnak tartom a kép alján levő magyarázatot. Sokszor csak igen hosszú gondolatsor után fogadom el, ilyenkor fogalmazódik meg bennem a stroboszkópos képek haszna a fizikaórákon.

Sokat használtam, ezért ajánlom mindenkinek.

Bartos-Elekes István