

# Основні закономірності гідродинаміки в спортивному плаванні

Автори інтегрованого уроку:  
викладачка дисципліни “Об'ємні гідравлічні  
та пневматичні приводи”  
Гуріна Тетяна Василівна,  
викладач дисципліни “Фізичне виховання”  
Сердечний Володимир Владиславович

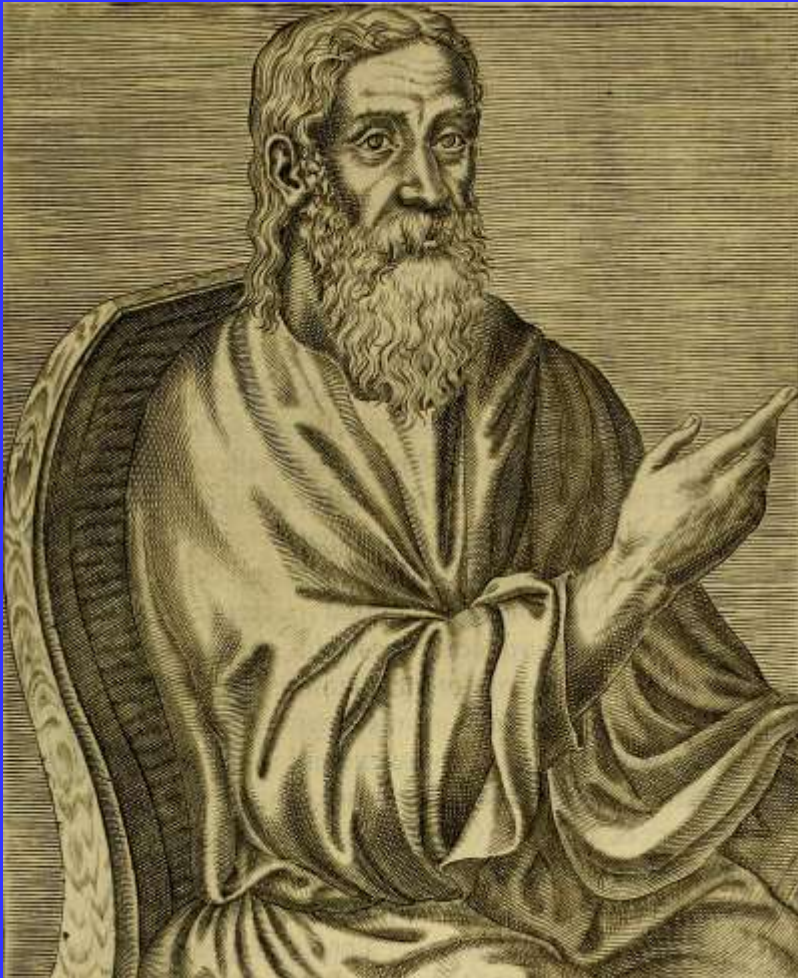
# Історія гідравліки

- Попередники сучасних гідравлічних машин з'явилися в глибокій старовині. Освоєння родючих земель, рівень яких вище рівня води найближчих водойм, а так само необхідність забезпечення водою поселень потребували створення водопідйомних засобів.
- Найдавніший відомий нам механізм - водопідйомне колесо - піднімало 8-10 м<sup>3</sup> води за годину на висоту 3-4 метри.
- 1700 р до н. е. у Каїрі для підйому води з колодязя глибиною 90 м використовували т.зв. ланцюгову помпу (нескінченний ланцюг з прикріпленими ковшами).
- Архимедів гвинт почали застосовувати для зрошення полів за 1000 років до н.е. Похило розташований вал з гвинтовою нарізкою обертався в напіввідкритому лотку і забезпечував підйом води на висоту до 5 м.

# Історія гідравліки

- Перша помпа була поршнева.
- Винахідником її вважають давньогрецького механіка Ктезібія (II-I ст. до н.е.).
- Перший опис будови помпи трапляється в праці «Пневматика» Герона Александрійського, I ст. до н.е.
- Помпа була виготовлена з бронзи. Вона мала всі основні елементи сучасної помпи (плунжер, циліндри, клапани, ексцентриковий привід плунжерів) і використовувалася для гасіння пожеж.

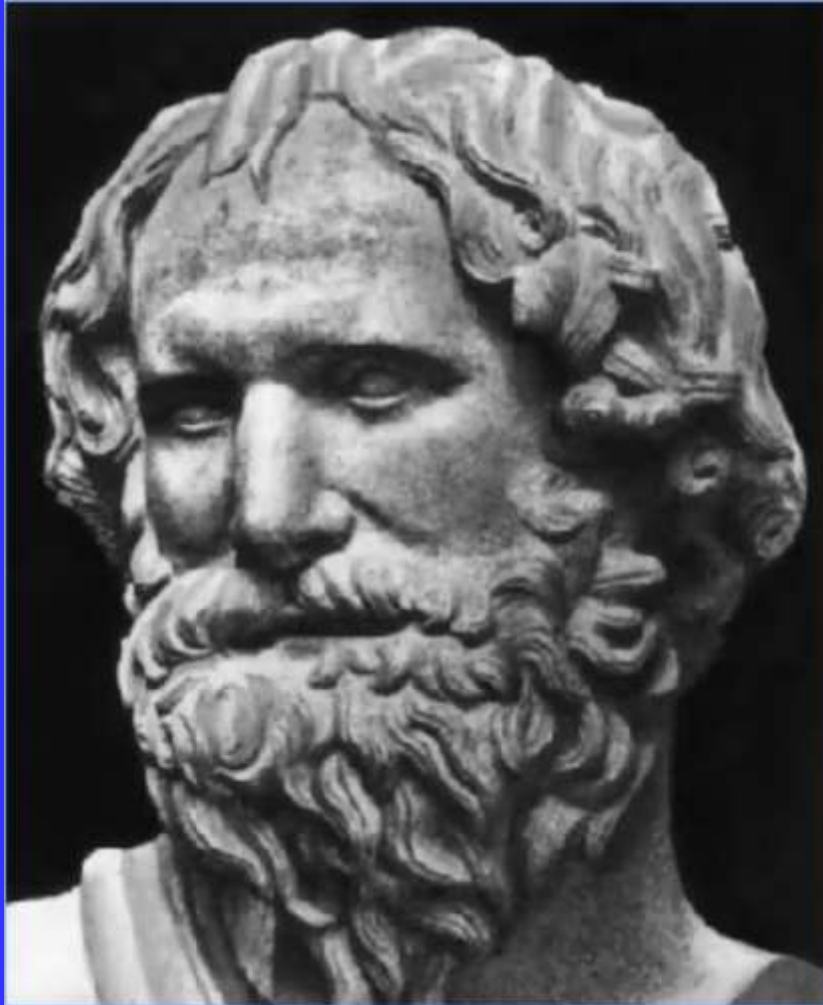
# Ктесібій



- Ктесібій, Ктезібій (грец. Κτησίβιος) — давньогрецький механік і винахідник з Александрії. Творив в період 285 до н. е. — 222 до н. е.
- Ктесібій винайшов двоциліндрову поршневу пожежну помпу, водяний годинник, аеротон — військову машину, в якій як пружне тіло використовується стиснене повітря.
- Про Ктесібія писали Герон і римський архітектор Вітрувій.



# Герон Александрійський



- Невідомо точні дати народження і смерті цього давньогрецького ученого і винахідника з міста Александрії. Лише майже за 2000 років були знайдені і перекладені сучасними мовами арабські списки його праць.
- Далекі нащадки дізналися, що йому належать формули визначення площі різних геометричних фігур. Найбільш відома його формула для визначення площі трикутника (Формула Герона).
- Герон описав прилад діоптр, який можна назвати прапрадідом сучасного теодоліта. Без цього приладу не можуть зараз обійтися геодезисти, гірники, будівельники.
- Він уперше дослідив п'ять типів простих машин: важіль, корбу (кривошип), клин, гвинт і блок.
- Герон заклав основи автоматики. Люди дивувалися дивам: двері храму самі відкривалися, коли над жертовником запалювався вогонь. Він придумав автомат для продажу «святої» води. Сконструював кулю, що обертається силою струменя пари. Винайшов ще ряд приладів і автоматів. Висунув ідею парових машин.

# Історія гідравліки

- Відсутність приводного двигуна гальмувала розвиток гідравлічних машин. Тому впродовж майже 2000 років водопідйомне встаткування майже не змінилося. Тільки завдяки розподілу праці і розвитку мануфактури в 16-18 ст. були створені умови для широкого використання водяного колеса, а потім парової машини як двигуна. Ці ж умови спричинили появу гідравлічних машин.
- 1588 року французький інженер Агостіно Раммелі у своєму творі «Різні вправні машини» описав чотири різновиди обертальних pomp. Серед них прототип шестірневої помпи і досить точний опис пластинчастої помпи однократної дії.
- 1689 р французький фізик Дені Папен (1647-1714) винайшов відцентрову помпу для відпомповування ґрунтових вод. Попервах помпа мала дволопатеве колесо і кільцевої кожух постійного перетину. Пізніше Папен удосконалив свою помпу: застосував багатолопатеве колесо і спіральний кожух. Однак за відсутності потужних і швидкохідних двигунів використання роторної і відцентрової pomp виявилось неефективним. Ці помпи впродовж довгого часу не могли конкурувати з поршневими помпами і поступалися останнім у всіх характеристиках.



# Агостіно Рамеллі



- Агостіно Рамеллі (1531 - близько 1610) - італійський військовий інженер і механік, «інженер короля Франції і Польщі» Генріха III, винахідник книжкового колеса Рамеллі, що обертає читальний стіл (XVI ст.) Цей винахід він описав у книзі «Le various et artificiose machine».
- 1588 року А. Рамеллі опублікував у Парижі двомовну (італійською та французькою) книгу «Treasury of the ingenious machines of the noble and famous Captain Agostino Ramelli» (Різні вправні машини), що містить 195 докладних таблиць із супровідними коментарями й ілюстраціями, в якій описав різні машини, складні за своєю будовою, цікаві щодо кінематики, понад 100 з яких це водопідйомні машини, серед них книжкові колеса і водяні помпи на кшталт колінчастого вала, які вважаються попередниками роторно-поршневого двигуна Ванкеля.

# Дені Папен



- Папен народився в місті Блуа (Франція) 1647 року. В Університеті Анже він вивчав медицину та здобув ступінь доктора. Але лікарем Папен не став. Його долю визначила зустріч з голландським фізиком Христіаном Гюйгенсом, під впливом якого Папен почав вивчати фізику та механіку. 1688 року він опублікував зі своїми конструктивними доповненнями опис поданого Гюйгенсом до Паризької академії наук проект порохового двигуна у формі циліндра з поршнем.
- Папен вивчав роботу поршня в циліндрі. 1690 року в Марбурзі він створив паровий двигун, який здійснював корисну роботу за допомогою нагрівання та конденсації пари. Це був один з перших парових котлів. Папен створив і вперше застосував у конструкції парового котла запобіжний клапан. Конструкцію парової машини (циліндр та поршень) Дені Папену підказав Лейбніц.
- Папен також запропонував конструкцію відцентрової помпи, сконструював піч для топлення скла, паровий візок та підводний човен, винайшов скороварку та декілька машин для піднімання води.



# Історія гідравліки

- У царській Росії вже в 14-15 ст. було безліч водяних млинів. У 16-17 ст. водяні колеса використовувалися на заводах. Приміром, на 7-х тульських заводах 1690 року 30 водяних коліс приводили в рух міхи, молоти, свердлильні пристрої та ін.
- На заводі в Єкатеринбургу на початку 18 ст. було більше 50 коліс. У Росії широкому застосуванню pomp сприяв видатний російський гідротехнік і винахідник К.Д. Фролов (1726-1800). Працюючи з 1763 року на Зміїногірській копальні (Алтай), він створив систему заводських гідросилових установок для приводу рудопідіймальних машин і поршневих pomp, що використовувалися під час водовідливів із шахт і промиванні розсипів.
- Найважливіше досягнення в галузі створення теорії pomp припало на 18 сторіччя. 1738 року дійсний член Російської академії наук Д. Бернуллі в праці «Гідродинаміка, або Записи про сили руху рідини», дав своє знамените рівняння, яке й по сьогодні - це теоретична основа для вирішення багатьох питань.

# Історія гідравліки

- На початку 18 ст. англійський винахідник Т. Ньюкомен (1663-1729) створив поршневу помпу для підйому води в копальні, застосувавши для його приводу парової циліндр, необхідна сила на штоку якого створювалася за допомогою атмосферного тиску.
- Наприкінці 19 ст. для перепомповування води і нафти почали застосовувати парові помпи прямої дії. У цих помп поршень гідравлічного циліндра з'єднаний загальним штоком з поршнем парового циліндра. Теорію і метод розрахунку таких помп запропонував інженер Володимир Шухов (1853-1939) у роботі «Помпи прямої дії». Він розробив конструкцію інерційної поршневої помпи з одним клапаном і гнучким шатуном, призначеної для відпомповування води з артезіанських свердловин. Шатун під час опускання залишається завжди натягнутим унаслідок впливу пружини на поршкову штангу. При цьому значно зросла робоча швидкість переміщення поршня.

# Шухов Володимир



- Шухов Володимир Григорович (\*16 (28) серпня 1853 — 2 лютого 1939) —інженер, архітектор, науковець і винахідник.
- На початку ХХ століття Шухов багато працював в Україні, де він залишив унікальні конструкції. Серед них виділяються сталева ажурна сітчаста вежа в Миколаєві та водонапірна башта в Черкасах. Таких веж залишилося лише 20 з більш як двохсот, що побудував архітектор. Найвідоміші — Шуховська вежа на Шаболовці в Москві та унікальні Станіславський та Аджигольський маяки поблизу села Рибальче Голопристанського району Херсонської області.
- Гіперболоїдні конструкції згодом будували багато відомих архітекторів: Гауді, Ле Корбюз'є, Оскар Німейєр.
- Наукова та інженерна діяльність Шухова належить до різних галузей техніки. Він створив водотрубні парові котли, що здобули світове визнання. Під керівництвом науковця спроектовано та побудовано близько 180 мостів через річки; зернові елеватори, доменні печі, плавучі ворота сухого доку тощо.



# Історія гідравліки

- Зародження окремих уявлень з галузі гідравліки слід віднести ще до глибокої давнини, до часу гідротехнічних робіт, що проводилися стародавніми народами Єгипту, Вавилону, Месопотамії, Індії, Китаю та інших країн.
- Однак минуло чимало століть і навіть тисячоліть, перш ніж почали з'являтися окремі, спочатку не пов'язані одна з одною, спроби виконати наукові узагальнення тих чи тих спостережень, що відносяться до гідравлічних явищ. У далеку давнині гідравліка була тільки ремеслом без будь-якого наукового підґрунтя.

# Історія гідравліки

- Період Стародавньої Греції
- За час, що минув від праці Архімеда, присвяченої гідростатиці, мало що вдалося додати. Представник давньогрецької школи Ктезібій (II або I століття до н.е.) винайшов пожежну помпу, водяний годинник і деякі інші гідравлічні пристрої. Герону Олександрійському (імовірно, I століття н.е.) належить опис сифона, водяного органу, автомата для відпускання рідини та ін.

# Історія гідравліки

- Епоха Відродження
- Упродовж другої половини XV століття й у XVI столітті почали розвиватися експериментальні дослідження, поступово спростовували схоластичні погляди, підтримувані католицькою церквою. У цей період в Італії з'явилася геніальна особистість - Леонардо да Вінчі (1452-1519), який, як відомо, вів свої наукові (експериментальні та теоретичні) дослідження в різних галузях; зокрема, Леонардо вивчав принцип роботи гідравлічного преса, аеродинаміку літальних апаратів, утворення ділянок виру на воді, відбиття та інтерференцію хвиль, витікання рідини крізь отвори і водозливи та інші гідравлічні проблеми. Він винайшов відцентрову помпу, парашут, анемометр. Різні роботи Леонардо відображені в 7 тис. сторінок його рукописів, що зберігаються в бібліотеках Лондона, Віндзора, Парижа, Мілана і Турина. Мабуть, справедливо буде визнати, що Леонардо да Вінчі це основоположник механіки рідини.
- На період Відродження припадають роботи нідерландського математика - інженера Сімона Стевіна (1548 - 1620), який визначив величину гідростатичного тиску на плоску фігуру і який пояснив "гідростатичний парадокс".
- У цей період великий італійський фізик, механік і астроном Галілео Галілей (1564-1642) показав, що гідравлічний опір зростає зі збільшенням швидкості і зі зростанням щільності рідкого середовища; він висвітлював також питання щодо проблематики вакууму.



# Леонардо да Вінчі

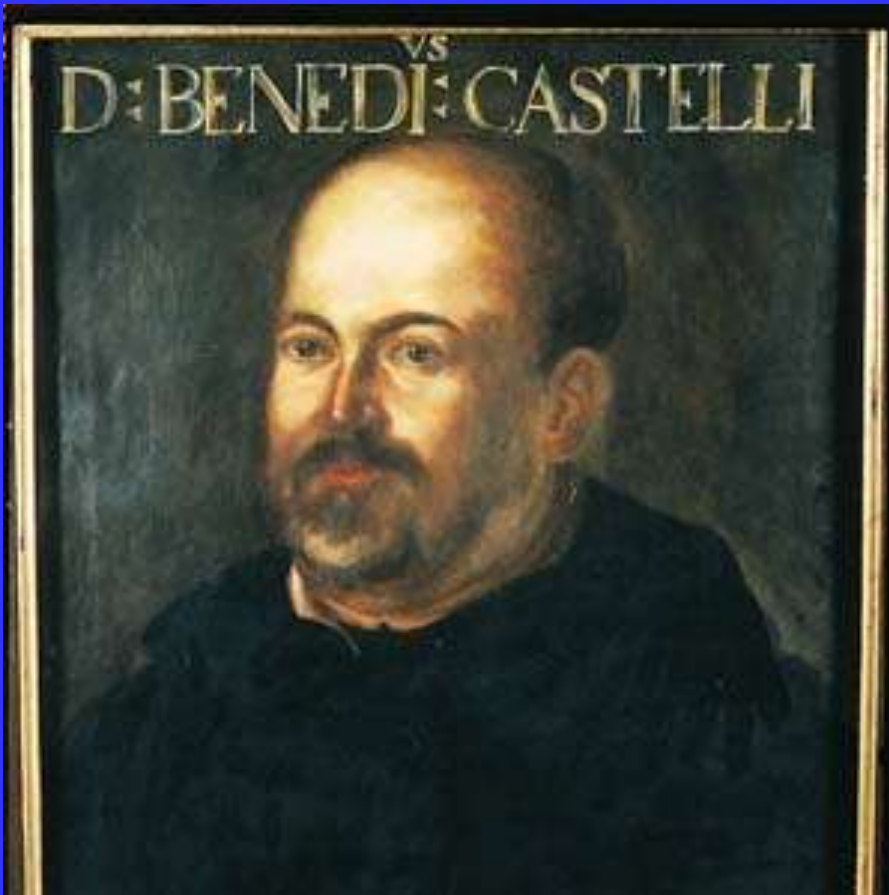


- Леона́рдо да Ві́нчі (15 квітня 1452, селище Анк'яно, поблизу Флоренції — 2 травня 1519, замок Кло-Люсе, Амбуаз) — видатний італійський художник, архітектор, науковець, дослідник, винахідник, анатоміст і інженер, одна з найвизначніших постатей італійського Відродження.

# Історія гідравліки

- Період XVII століття і початок XVIII століття
- У цей час механіка рідини все ще перебувала в зародковому стані.
- Разом з тим тут можна відзначити імена таких вчених, що сприяли її розвитку:
- Кастеллі (1577 -1644) - викладач математики в Пізі і Римі – у доступній формі виклав принцип нерозривності;
- Торрічеллі (1608 - 1647) - видатний математик і фізик - вивів формулу розрахунку швидкості витікання рідини з отвору і винайшов ртутний барометр;
- Паскаль (1623 -1662) - видатний французький математик і фізик - установив, що значення гідростатичного тиску не залежить від орієнтування площини дії, крім того, він остаточно вирішив і обґрунтував питання про вакуум;
- Ньютон (1643-1727) - геніальний англійський фізик, механік, астроном і математик, який дав разом з вирішенням низки гідравлічних питань наближений опис законів внутрішнього тертя рідини.

# Бенедетто Кастеллі



- Бенедетто Кастеллі (1578 — 1643) — італійський математик епохи Відродження, учень Галілео Галілея.
- Закінчив Падуанський університет, викладав, зокрема, в університеті ла Сап'єнца.



# Еванджеліста Торрічеллі



- Еванджеліста Торрічеллі (15 жовтня 1608 — 25 жовтня 1647) — італійський фізик і математик.
- 1644 року розвинув теорію атмосферного тиску, довів можливість отримання так званої «торічелієвої порожнечі» і винайшов ртутний барометр.
- В основній праці з механіки *«Про рух вільно падаючих і кинутих важких тіл»* (1641) розвивав ідеї Галілея про рух, сформулював принцип руху центрів тяжіння, заклав основи гідравліки, вивів формулу для швидкості витікання ідеальної рідини з посудини.

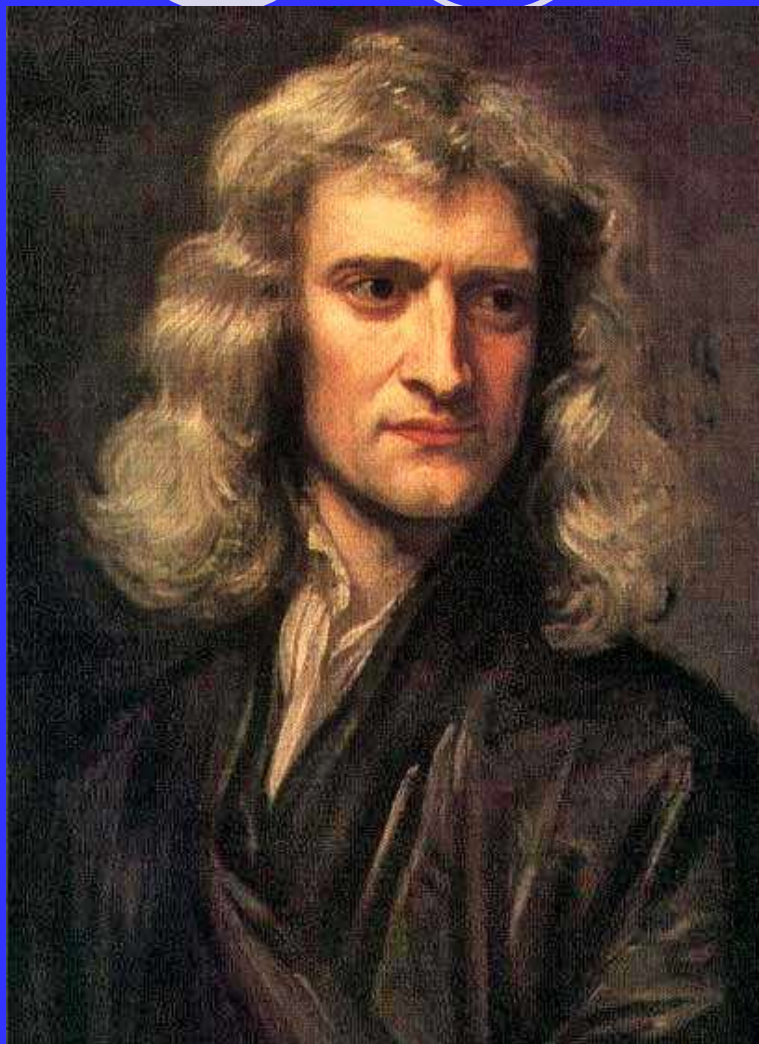
# Блез Паскаль



- Блез Паскаль (Блез — ім'я, Паскаль — прізвище, 19 червня 1623 — 19 серпня 1662) — французький філософ, письменник, фізик, математик.
- Один із засновників математичного аналізу, теорії ймовірностей та проективної геометрії, творець перших зразків лічильної техніки, автор основного закону гідростатики. Відомий також відкриттям формули біноміальних коефіцієнтів, винаходом гідравлічного преса й шприца та іншими відкриттями. Автор знаменитих «Думок» та «Листів до провінціала», які стали класикою французької літератури.
- На честь Паскаля названа одиниця вимірювання тиску (Паскаль), а також популярна мова програмування Pascal.



# Ісаак Ньютон



- Сер Ісаак Ньютон (4 січня 1643 — 31 березня 1727) —англійський вчений, який заклав основи сучасного природознавства, творець класичної фізики та один із засновників числення нескінченно малих.
- У книзі «*Математичні начала натуральної філософії*» Ньютон сформулював закони руху, відомі як закони Ньютона й закон всесвітнього тяжіння, які стали основою наукового світогляду впродовж трьох наступних століть і мали великий вплив не тільки на фізику, а й на філософію. Використовуючи свою теорію Ньютон зумів пояснити закони Кеплера, що описують рух планет навколо Сонця, чим заперечив останні сумніви щодо геліоцентричної системи світобудови.
- Ньютон побудував перший телескоп-рефлектор і розвинув теорію кольору на основі спостережень розщеплення білого світла в спектр в оптичній призмі. Він сформулював емпіричний закон теплообміну й побудував теорію швидкості звуку. У математиці Ньютон паралельно з Готфрідом Лейбніцом розвинув числення нескінченно малих, працював з рядами, узагальнив біом Ньютона та запропонував метод Ньютона розв'язування нелінійних рівнянь.
- Ньютон встановив закон опору й основний закон внутрішнього тертя в рідинах і газах, дав формулу для швидкості поширення звукових хвиль.

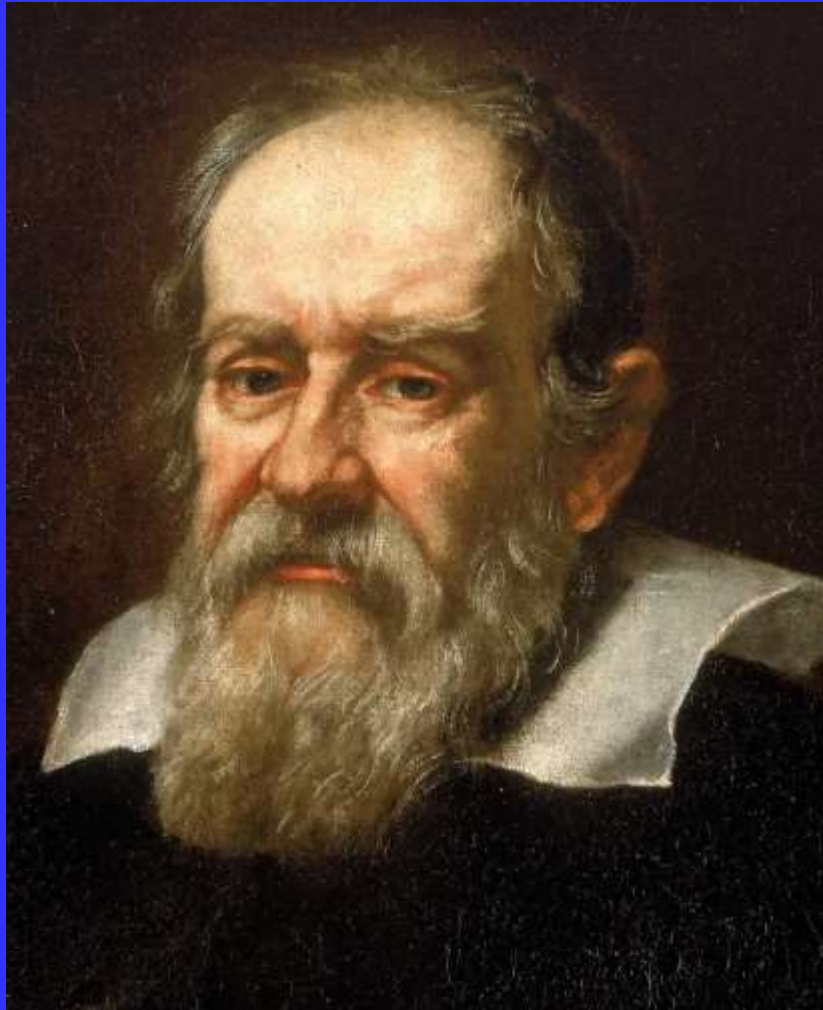


# Сімон Стевін



- Сімон Стéвін (нар. 1548, Брюгге — пом. 1620? Гаага) — фламандський математик-універсал, інженер-винахідник.

# Галілео Галілей



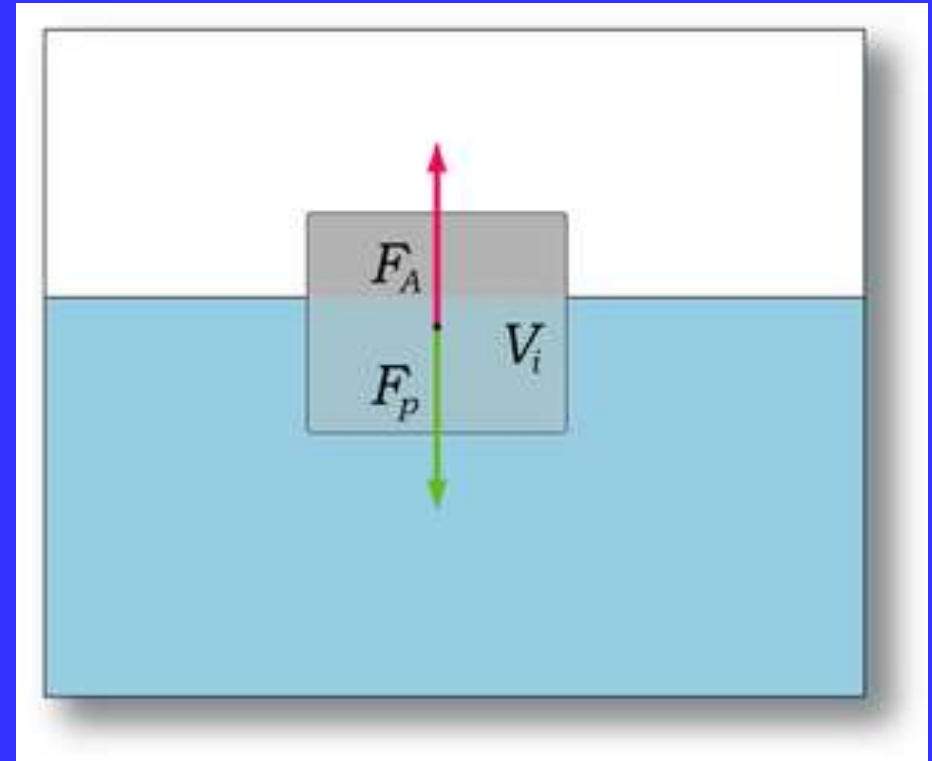
- Галілео ді Вінченцо Бонаюті де Галілей (15 лютого 1564 — 8 січня 1642) — італійський мислитель епохи Відродження, засновник класичної механіки, фізик, астроном, математик, поет і літературний критик, один із засновників сучасного експериментально-теоретичного природознавства.
- Вніс значні вдосконалення в конструкцію телескопа, а також за допомогою телескопічних спостережень довів правильність геліоцентричної теорії будови сонячної системи.

# Основні закономірності гідродинаміки

- Пересування у водному середовищі відрізняється від пересування повітрям. У воді опір пересуванню зростає, тому що щільність води значно більше за щільність повітря. Під час перебування у воді в стані спокою, тіло своєю вагою тисне на водну поверхню - діє сила власної ваги. Водночас із цим, згідно із *законом Архімеда*, на тіло, занурене у воду, діє сила виштовхування, що дорівнює вазі обсягу води, витісненої цим тілом. Людина із щільністю або питомою вагою тіла менше 1 кг/л має природну плавучість. Щільність тіла може бути зменшена за допомогою збільшення об'єму повітря в легенях, тому що збільшується об'єм тіла без помітного збільшення його маси.

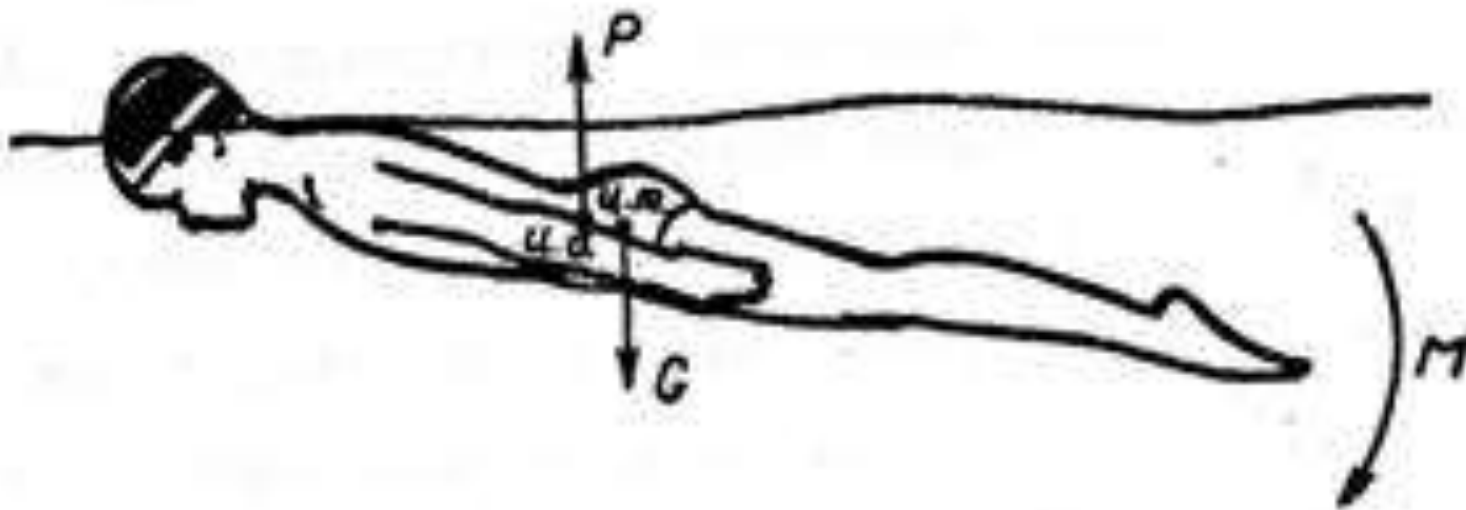
# Закон Архімеда

- Закон Архімеда — основний закон гідростатики та аеростатики, згідно з яким на будь-яке тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі витисненої цим тілом рідини (газу) і за напрямом протилежна їй і прикладена в центрі мас витісненого об'єму рідини (газу).
- Згідно із законом Архімеда вага всякого тіла в повітрі менша за вагу його в пустоті на величину, рівноваги витісненого повітря.





# Регуляція плавучості



# Основні закономірності гідродинаміки

- Сила тяжіння плавця за величиною постійна і прикладена до загального центру маси (ЗЦМ), що розташований на ділянці 1 - 5 крижових хребців. Сила виштовхування обумовлена різницею гідростатичного тиску води на нижню частину тіла і повітря на верхню, тому спрямована вгору і прикладена до загального центру тиску (ЗЦТ). Зазвичай ЗЦМ і ЗЦТ не збігаються, тому створюється момент обертання: ноги поступово занурюються під воду до їх вирівнювання по вертикалі - з'являється негативна плавучість. Збіг ЗЦМ і ЗЦТ веде до врівноваження частин тіла і настає гідростатична рівновага - стан плавучості. ЗЦМ завжди прагне зайняти більш низьке положення, тому величина моменту обертання визначає сталість тіла.

# Основні закономірності гідродинаміки

- Плавучість тіла людини визначають і його питомою вагою, і питомою вагою води. Об'єктивні показники плавучості: гідростатична вага, об'єм тіла і щільність тіла.
- Середня величина питомої ваги тіла 1,04 - 1,09 кг/л, а питома вага води в басейні в межах 1,02 кг/л, тому для підтримки нейтральної плавучості можна збільшити довжину тіла (і відповідно об'єм) за допомогою піднімання рук угору.

# Плавучість тіла





# Основні закономірності гідродинаміки

- На збереження гідростатичного положення впливає і дихання, змінює об'єм і щільність тіла. За повного вдиху тіло перебуває на плаву, під час повного видиху - занурюються ноги. Це слід враховувати під час навчання плавання: аби зберегти стійке положення рівноваги потрібна робота ніг.
- Під час руху плавцю складно ефективно відштовхуватися від води, що не має твердої опори. Тому для швидкого плавання потрібно вирішити два головні завдання: 1) докласти якомога більше сил і 2) зменшити опір води за допомогою прийняття обтічного положення.
- Для вирішення першого завдання плавцю необхідно знати в якому напрямку і якою траєкторією потрібно виконувати гребкові рухи. Існує закономірність руху у воді: максимальна сила тяги виникає в тому разі, коли відштовхування здійснюють від якомога більшої маси води з мінімальним зрушенням її назад.

# Основні закономірності гідродинаміки

- Схема створення просувної сили: а) за типом колісного пароплава; б) за типом гребної гусениці; в) за типом гребного гвинта.
- Для того, щоб на лопаті виникла сила тяги, їй необхідно взаємодіяти з нерухомою масою води або потоком, що рухається в зворотному напрямку.
- Гребний гвинт завжди захоплює лопатями незбурену масу води і ніколи не відкидає її точно назад, тому в кожен момент руху лопать гвинта вступає в контакт з нерухомим водним середовищем, тобто має відносно надійну опору.

# Схеми створення просувної сили

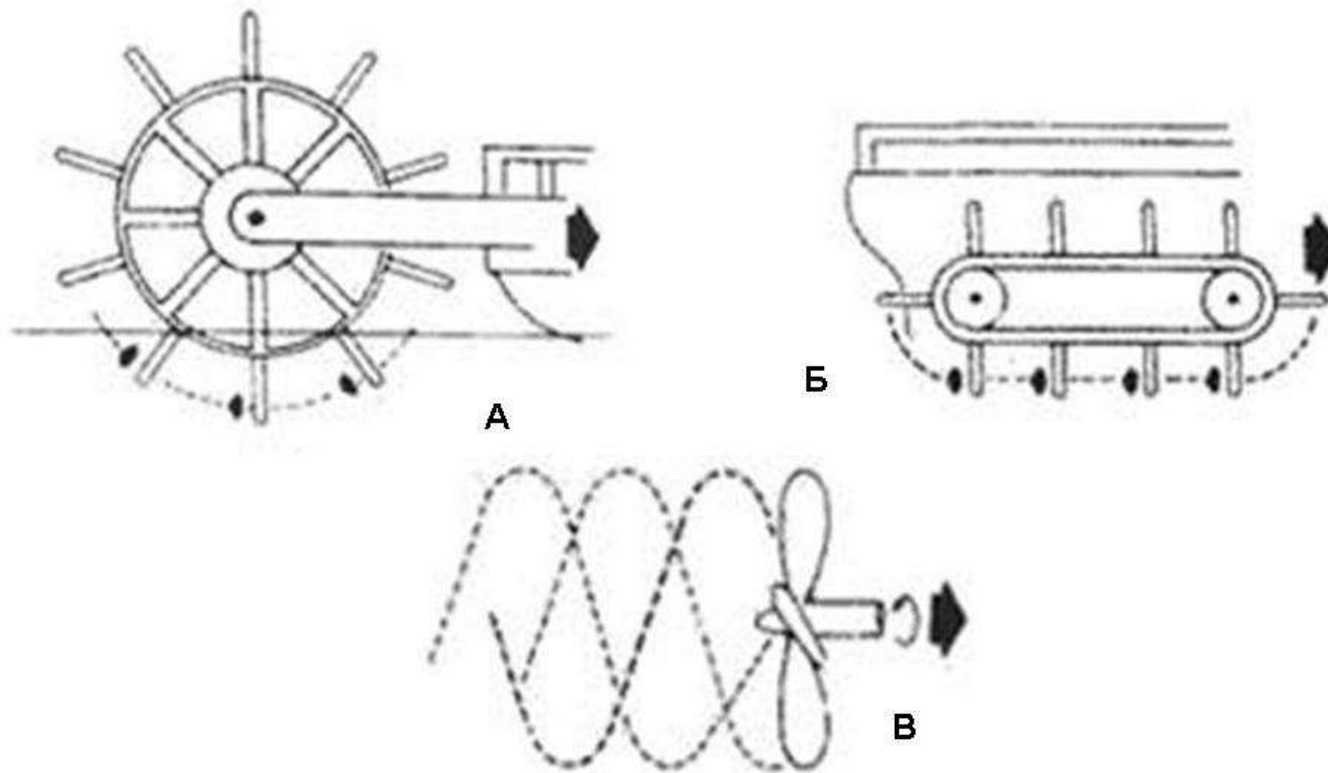


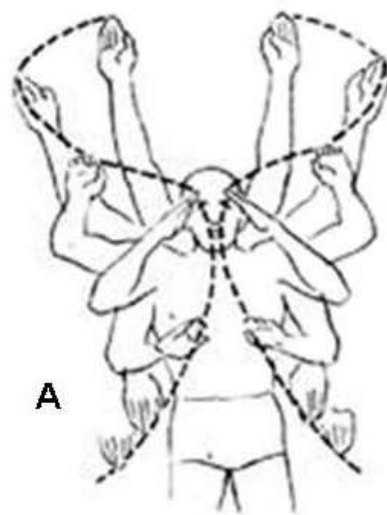
Схема створення просувної сили: А – за типом колісного пароплава; Б – за типом гребної „гусениці”; В – за типом гребного гвинта

# Основні закономірності гідродинаміки

- Рухи рук плавця подібні обертанню лопатей гребного гвинта - криволінійною траєкторією для постійного контакту з нерухомою масою води. Криволінійна траєкторія збільшує довжину самого гребка і сумарну рушійну силу, створювану під час виконання гребка. Біклер (1999) розрахував, що рушійна сила, створювана плавцем за допомогою криволінійного гребка, лише не набагато менше рушійної сили, створюваної під час прямого відштовхування води назад. Під час виконанні гребка по прямій, значно скорочується довжина гребка. При цьому плавцеві доводиться витратити більше зусиль для необхідного прискорення руху передпліч і кистей назад, щоб зберегти опору об воду, яку вони змусили рухатися. Тобто довший криволінійний гребок з меншими витратами м'язової сили компенсує ті незначні втрати рушійної сили, які можуть при цьому бути.



# Траєкторія руху рук під час плавання різними стилями



А



Б



В



Г

Траєкторія руху рук під час плавання: А - „батерфляєм” (вигляд знизу);  
Б – брасом (вигляд знизу); В – кролем на спині (вигляд збоку);  
Г – кролем на грудях (вигляд знизу)

# Основні закономірності гідродинаміки

- Необхідно також орієнтувати кисть під оптимальним кутом щодо траєкторії руху.
- Вивчаючи техніку спортивного плавання, необхідно знати про взаємодію сил, що просувають тіло у воді і перешкоджають його рухові (сили руху та сили гальмування).
- Розглянемо причини виникнення сили просування за допомогою правильного орієнтування кисті до потоку води, що набігає. Існують дві сили за допомогою яких здійснюється просування: сила лобового опору і підйомна сила. Це горизонтально спрямовані сили.

# Основні закономірності гідродинаміки

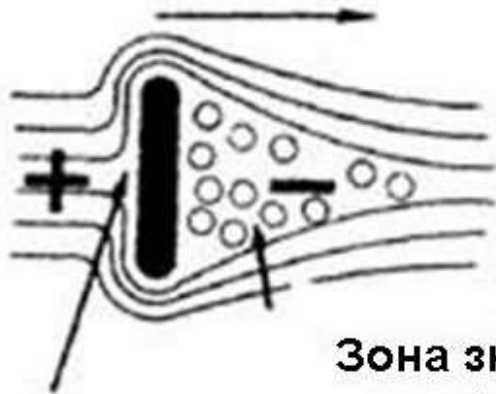
- Згідно із законом Даніеля Бернуллі (1738) (англ. *Daniel Bernoulli*), тиск рідини падає там, де швидкість її руху зростає, відповідно там, де швидкість руху рідини знижується, рух збільшується.
- Отже, рушійна сила діє в напрямку меншого тиску.





# Схема створення просувної сили

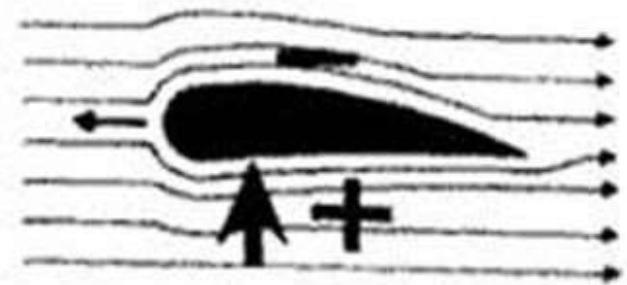
Напрямок рушійної сили від весла



Зона підвищеного тиску на задній поверхні весла

Зона зниженого тиску і утворення вихорів за передньою поверхнею весла

А



Аеродинамічна підйомна сила

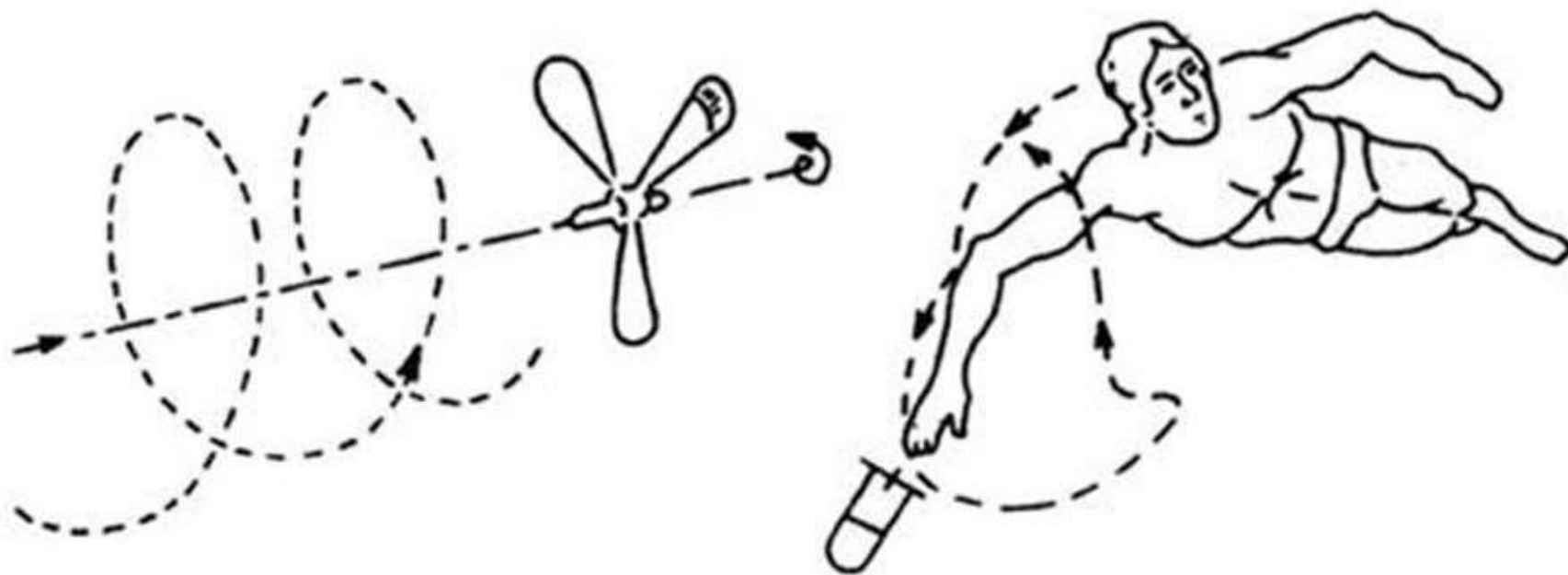
Б

Схема створення просувної сили за допомогою сили лобового опору води (А) і підйомної сили (Б)

# Основні закономірності гідродинаміки

- Форма крила літака - приклад просування за допомогою створення підйомної сили. Кут атаки такий, що потік обтікає верхню поверхню з більш високою швидкістю, аніж нижню. Це обумовлює різницю в силі тиску повітря на нижню і верхню поверхню крила, це причина виникнення аеродинамічної підйомної сили.
- Гребний гвинт судна створює рушійну силу за таким же принципом, лишень підйомна сила спрямована горизонтально і штовхає вперед. Подібна динаміка і під час руху кисті плавця у воді, якщо вона орієнтована під правильним кутом до траєкторії свого руху.

# Гвинтоподібний гребок



Гвинтоподібний гребок під час плавання кролем

# Основні закономірності гідродинаміки

- Сучасні дослідження американських учених показали, що більший вплив на виникнення рушійної сили припадає на третій закон Ньютона (сила дії дорівнює силі протидії), аніж на закон Бернуллі. Закон Бернуллі можна застосовувати тільки за тих ситуацій, коли потік води уздовж верхньої поверхні крила не відривається від неї, тобто коли потік проходить уздовж крила без поділу прикордонного шару. Руки людини недостатньо гладкі, а їх форма не настільки нагадує крило, щоб потік води не відривався від верхньої поверхні кисті плавця під час її руху. Навіть коли рука рухається дуже повільно і з гострим кутом атаки на тильній поверхні руки виникає значна турбулентність.



# Основні закономірності гідродинаміки

- Залежно від того, які зі складових сил опору води здебільшого використовують для опори для створення рушійної сили, рушії ділять на два типи: весловий (використовує сила лобового опору) і плавниковий (використовує підйомну силу).
- У рушіях веслового типу робоча площа розташована перпендикулярно до напрямку руху (весло, лопата). У рушіях плавникового типу робоча площа розташована під кутом  $30^\circ$  до напрямку руху (хвостові плавники риб, гребні гвинти суден).

# Основні закономірності гідродинаміки

- Розглядаючи рухи плавця, можна сказати, що рух кисті спереду-назад і рухи ніг брасом - весловий принцип створення рушійної сили. Під час руху кисті вправо-уліво, угору-униз під відповідним кутом щодо напрямку руху, а також під час руху ніг стилем кроль на грудях і на спині й у дельфіні (*тут*, стиль плавання), використовують плавниковий принцип створення рушійної сили.
- Основним рушієм у всіх способах плавання - це руки, окрім брасу, де вплив ніг і рук на рух приблизно однаковий.
- Для того, щоб мати надійну опору, кисть повинна постійно взаємодіяти з незбуреною масою води. Звідси і криволінійні траєкторії в техніці плавання. За оптимального кута атаки, на робочій площині руки виникає підйомна сила. Кут атаки утворює кут кисті або стопи щодо напрямку їх руху. Аби створити підйомну силу, кисть повинна бути орієнтована в потоці під гострим кутом.

# Брас — стиль спортивного плавання

- Брас (від фр. *brasse*, можливо, від лат. *brachia* — «руки») — стиль спортивного плавання на грудях, під час якого руки і ноги виконують симетричні рухи в площині, яка паралельна до поверхні води. Цим він відрізняється від стилю батерфляй із симетричними рухами у вертикальній площині і кроля з попереми́нними рухами рук і ніг.



- Брас — найповільніший стиль плавання.
- Брас має велике прикладне значення: можливість проплисти найбільшу відстань з найменшими енерговитратами, безшумне плавання, плавання під водою.



# Кріль — стиль спортивного плавання

● Кріль (англ. *crawl*) — стиль плавання, під час якого ліва й права частини тіла здійснюють гребки по чергові. Кожна рука здійснює широкий гребок уздовж осі тіла плавця, під час цього ноги також по чергові підіймаються й опускаються майже без згинання в колінах.



- Кріль зазвичай вважають найшвидшим способом плавання на животі, тому його найчастіше обирають у змаганнях вільним стилем. Тому його іноді називають «вільним стилем». Хоча деякі чемпіони з батерфляю мають швидший батерфляй, ніж кріль.
- Ергономіка
- Положення тіла обличчям донизу дозволяє плавцю вільно повертати руку під водою. Цим кріль вигідно відрізняється від плавання на спині, де рука не може вільно пересуватись уздовж спини. Перенесення руки вперед над водою дозволяє уникнути спротиву води порівняно з брасом. А порівняно з батерфляєм, по чергове обертання рук дозволяє допомагати всім тілом, повертаючись з боку в бік. По чергова робота руками приводить до більш рівномірного прискорення.



# Кріль на спині — стиль спортивного плавання

- Плавання на спині і кроль на спині — стиль плавання на спині, який візуально подібний до кролю (руки здійснюють гребки попеременно, а ноги здійснюють попеременно безперервне підняття/опускання), але має такі відмінності: людина пливе на спині, а не на животі, і протиснення над водою виконує прямою рукою, а не зігнутою, як у кролі.



# Батерфляй — стиль спортивного плавання

- Батерфляй (Дельфін, Батерфляй, Баттерфляй, серед плавців просто Флай англ. *Butterfly*) — найбільш технічно складний і



- Це стиль плавання на животі, в якому ліва і права частини тіла одночасно здійснюють симетричні рухи: руки роблять широкий і потужний гребок, дещо піднімаючи тіло плавця над водою, ноги і таз роблять хвилеподібні рухи. При цьому потрібно зберігати темп і частоту гребка.

# Світові рекорди в плаванні

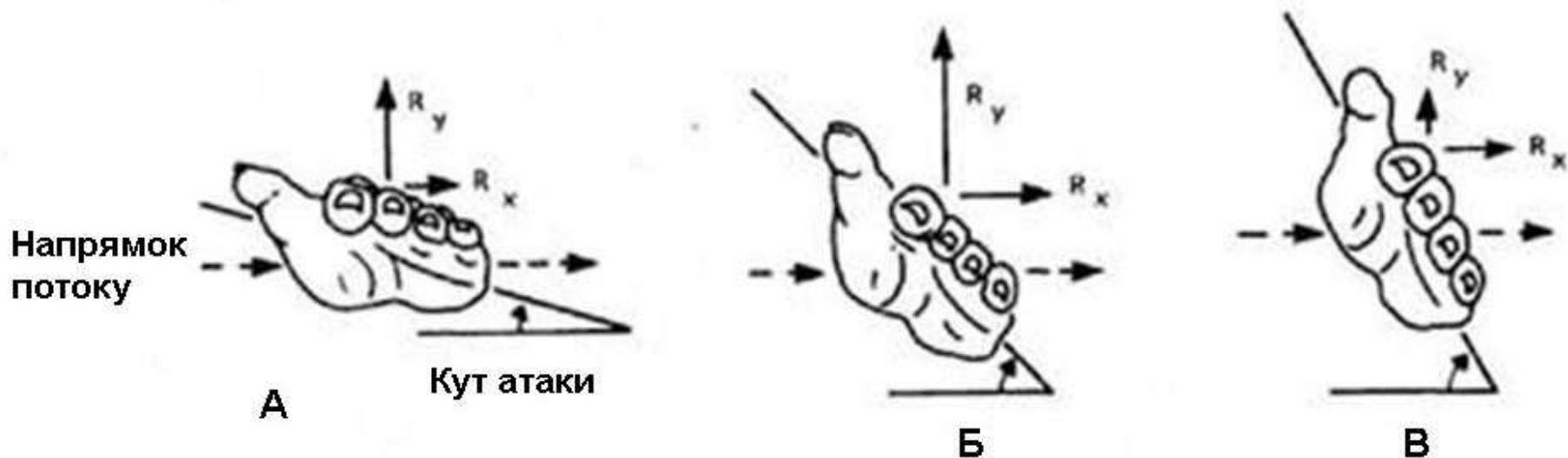
- Чоловіки

- 100 м, вільний стиль - 46.91 с., Сезар Съєло (30.07.2009);
- 100 м, на спині – 51.85 с., Раян Мерфі (13.08.2016);
- 100 м, брас – 56.88 с., Адам Піті (21.07.2019);
- 100 м, батерфляй – 49.50 с., Кайлеб Дрессел (26.07.2019).

- Жінки

- 100 м, вільний стиль - 51.71 с., Сара Шестрем (23.07.2017);
- 100 м, на спині – 58.00 с., Кетлін Бейкер (28.07.2018);
- 100 м, брас – 1.04.13 с., Ліллі Кінг (25.07.2017);
- 100 м, батерфляй – 55.48 с., Сара Шестрем (07.08.2016).

# Залежність співвідношення підйомної сили



Залежність співвідношення підйомної сили ( $R_y$ )  
і сили лобового опору ( $R_x$ ) від кута атаки кисті



# Основні закономірності гідродинаміки

- Вертикальна складова  $R_y$ , рівнодіюча сили реакції води, яка виникає на кисті, являє собою підйомну силу. Її величина змінюється залежно від зміни кута атаки кисті. Найбільші величини підйомної сили спостерігаються за кута атаки, близького до критичного. (Рис. Б). За більших або менших кутів атаки величина підйомної сили зменшується, знижуючи ефективність гребка.
- Горизонтальна складова  $R_x$  - сили реакції води являє собою силу лобового опору. Її величина безперервно зростає в міру збільшення кута атаки кисті.
- І сила лобового опору, і підйомна сила це складові рівнодіючої сили реакції води. Остання й обумовлює величину сили тяги плавця. Іншими словами сила тяги під час гребка утворюється за допомогою руху кисті з різною швидкістю й у різних напрямках, у тому числі й у напрямках, що значно відрізняються від напрямку поступального руху тіла плавця вперед.

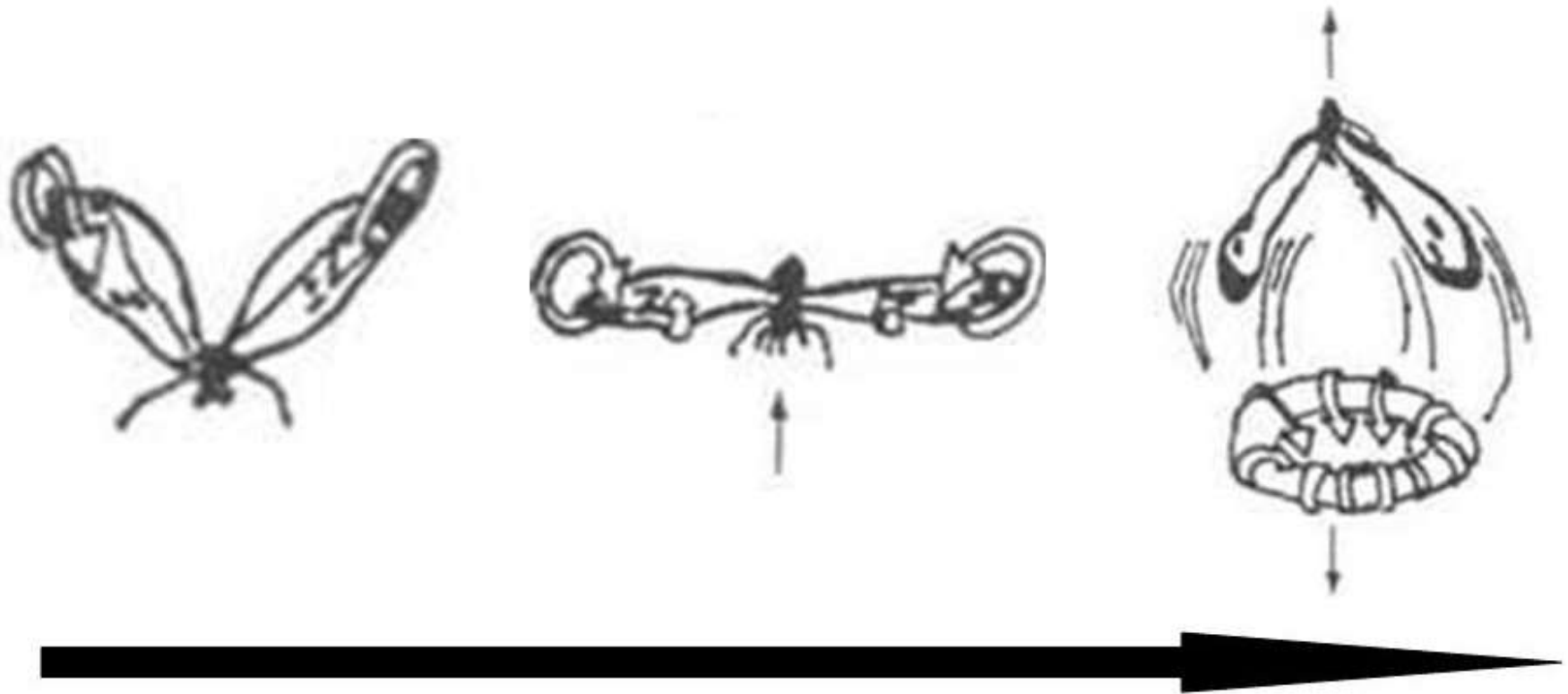
# Основні закономірності гідродинаміки

- Отже, ефективність сили тяги гребка залежить від оптимального співвідношення підйомної сили і сили лобового опору. Це означає, що плавцю під час гребка необхідно безперервно змінювати орієнтацію кисті відповідно до зміни напрямку гребка. Шлейхауф (1979) установив, що підйомна сила, що діє на кисть плавця, збільшується зі збільшенням кута атаки кисті до  $40^\circ$ , а за подальшого збільшення кута атаки - знижується. Лобовий опір так само залежить від кута атаки і зростає з його збільшенням до  $90^\circ$ .
- За кута атаки  $45^\circ$  переважну роль відіграє підйомна сила, за більшого кута - сила лобового опору.
- Під час плавання брасом, підйомна сила переважає впродовж усього гребка. Під час плавання на спині неабияку роль відіграє сила лобового опору кисті.
- На нераціональність кута атаки і напрямки руху вказує велика кількість бульбашок, які вказують на турбулентність і на втрату плавцем рушійної сили.

# Основні закономірності гідродинаміки

- Для розуміння механізмів створення просувної сили в плаванні часто використовують приклади рухів зі світу тварин, наприклад, на відміну від людей дельфіни виконують рух угору швидше, ніж вниз. А деякі літаючі комахи виконують рухи крилами за принципом «хлопок - ривок - кільце», що викликає циркуляцію повітря і приводить до утворення кільцеподібних вихорів на передній поверхні крила. Під час закінчення руху вниз ці вихрові кільця відриваються й утворюють одне велике кільцеподібне вихрове поле безпосередньо під комахою. Сила, що створює вихрове кільце, втримує комаху в повітрі.

# Механізм створення просувної сили





# Основні закономірності гідродинаміки

- Цей механізм може використовуватися (точно повторити його неможливо) під час нестабільного і нерівномірного просування вперед. Типовий приклад - різкий удар ногами «дельфіном» на коротких дистанціях.
- Для виконання потужного руху «дельфіном» необхідно створити вихрову циркуляцію навколо стоп до початку ударного руху (у момент контакту стоп з поверхнею води).
- Під час виконання ударного руху вниз, навколо кожної стопи утворюється приєднаний вихровий потік. Ці вихори з'єднуються і утворюють один великий кільцеподібний вихор, який відривається від вертикальній площині під час завершення ступнями потужного руху вниз. Величина вихрового кільця показує вплив великої маси води, швидкість якої залишається невисокою. Показник високої ефективності ударного руху ногами - це значна відстань між вихровими кільцями. Часом за занадто широкого розведення ступень під час удару від кожної стопи відривається не одне велике, а два невеликих вихрових кільця, що говорить про недостатню ефективність руху.

# Механізм створення просувної сили



# Основні закономірності гідродинаміки

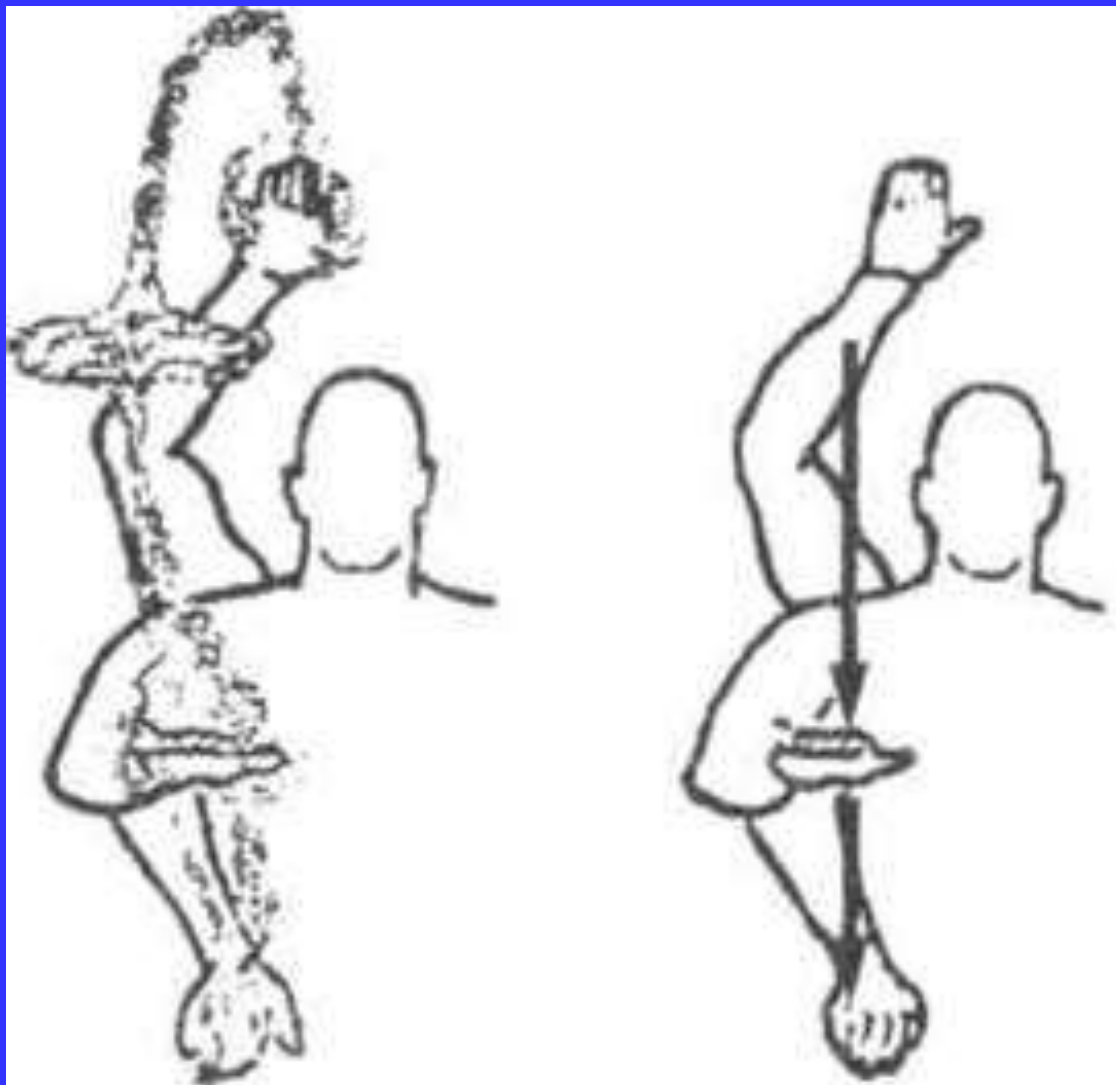
- Величина підйомної сили, створюваної механізмом «ривок - кільце», під час роботи ніг «дельфіном», багато в чому залежить від швидкості випрямлення ніг у гомілкових суглобах. При цьому циркуляцію створює імпульс сили, що виникає в момент досягнення стопами поверхні води.
- Плавці, які використовують у кролі на грудях двоударний рух ніг, так само використовують механізм «ривок - кільце».
- Плавці, які плавають брасом використовують створення попередньої циркуляції потоку води внаслідок поєднання розведення стоп зі зміною напрямку руху під час переходу від фази підтягування до фази просування і повного випрямлення ніг.

# Основні закономірності гідродинаміки

- Вихор (вихрове утворення) - маса рідини, що обертається навколо своєї осі (вісь може перебувати в будь-якій площині, від вертикальної до горизонтальної).
- Ідеальна форма перерваного вихрового утворення - більш кругла, ніж подовжена. Подовжений варіант менш ефективний, хоча й утворює викликає рушійну силу потоку. Такий вихор утворюється внаслідок гребка безпосередньо назад, а не криволінійною траєкторією. Вихрові утворення відриваються і відходять з обох сторін кистей і рук на початку гребка, що часто спостерігається у кролістів-спринтерів і тих, що плавають «дельфіном».



# Вихор (вихрове утворення)



# Основні закономірності гідродинаміки

- Згідно з теорією повітряного гвинта, його вплив ефективніше на велику масу повітря з невеликим прискоренням, ніж на велику масу повітря з великим прискоренням. Подібні два варіанти під час плавання відображають відрив відповідно круглого і подовженого вихорів.
- Ідеальна площа зірваного вихору - вертикальна або близька до неї. Що вертикальніше, то краще умови для створення рушійної сили.
- У заключній фазі гребка - прискорення кисті - невеликий вихор. У середині гребка, після захоплення - більшими. Надмірна кількість вихорів води в гребку свідчить про те, що зусилля, що докладаються більше за потрібні.

# Висновки

- Цілком імовірно, що й первісні люди, які внаслідок еволюції втратили інстинкт плавання (він зберігся тільки в дітей віком 2 - 4 тижні), навчилися плавати в наземних тварин, які змушені були долати водні перешкоди, і навіть у морських ссавців, що плавають морями та океанами. Так з'явилися стилі плавання за назвами тварин: стиль "по-жаб'ячі", стиль "по-собачому", стиль "дельфін".
- Плавання, яке фактично це сума скоординованих у певному напрямку рухів рук і ніг, які зменшують вагу тіла завдяки збільшенню витісненого об'єму води, безперервно вдосконалювалося внаслідок застосування законів гідростатики і гідродинаміки, що дозволило зробити більш легким і швидким просування у воді, перетворивши плавання з нагальної потреби на фізичні вправи, а потім і на спорт.

# Завдання додому

- Використовуючи ресурси Internet, знайдіть більше інформації про наукову діяльність вчених, про яких ішлося в цій презентації. Узагальніть знайдені факти, підготуйте коротку доповідь.
- Підготуйте коротке повідомлення про прикладне значення плавання, про його вплив на опорно-руховий апарат та серцеву-судинну систему людини.



# Інформаційні джерела

- *Бернуллі Д. Автобіографія / Пер. В. С. Гохмана // Бернуллі Д. Гідродинаміка, или Записки о силах и движении жидкостей. — Л.: Издат. Акад. наук СССР, 1959. — С. 427–432.*
- *Боголюбов Алексей Николаевич. Математики. Механики. Биографический справочник. — Киев : «Наукова думка», 1983. — С. 42—43. — 50 000 прим. (рос.)*
- *Никифоровский В. А. Великие математики Бернуллі. — М.: Наука, 1984. — 177 с. — (История науки и техники).*
- *Гідравліка, гідромашини та гідропневмоавтоматика: підруч. для студентів вищ. техн. навч. закл., які навч. за напрямками підгот. «Інж. механіка», «Пед. освіта», «Автоматизація та комп'ютер-інтегр. технології», «Приклад. механіка» та «Електромеханіка» / П. Є. Пелевін, Д. О. Міщук, В. П. Рашківський та ін. ; М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. — Київ: КНУБА, 2015. — 340 с. : іл. — Бібліогр.: с. 334 (20 назв). — ISBN 978-966-2374-21-6*
- *Гідравліка. Загальний курс / Левицький Б. Ф., Лещій Н. П. - Львів: Світ, 1995. - 264 с.*
- *Гідравліка : підруч. для підгот. фахівців ОКР "Бакалавр" напрямку 6.100102 "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" в аграр. ВНЗ II-IV рівнів акредитації / Дідур В. А. [та ін.] ; за ред. акад. АН ВШУ, д-ра техн. наук, проф. В. А. Дідура. - Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. - 622 с. : рис., табл.*
- *Гідравліка та гідропривід : навч. посіб. для студ. напряму підготов. 090104 "Лісозаготівля" / Бойко Анатолій Антонович ; Нац. лісотехн. ун-т України, Каф. ліс. машин і гідравліки. - Львів : РВВ НЛТУ України, 2010. - 307 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 299. - 300 пр.*
- *Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В. А. Дідур, О. Д. Савченко, Д. П. Журавель, С.І. Мовчан;— К.: Аграрна освіта, 2008. — 577 с.*
- *Гідравліка / Ю. П. Роголевич; — К.: Вища школа, 1993. — 255 с.*
- *Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004—2013.*
- *Світлий Ю. Г., Білецький В. С.. Гідравлічний транспорт (монографія). — Донецьк: Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, «Редакція гірничої енциклопедії», 2009. — 436 с. ISBN 978-966-317-038-1*
- [https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон\\_Архімеда](https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон_Архімеда)
- <https://uk.wikipedia.org/wiki/Брас>
- <https://uk.wikipedia.org/wiki/Кріль>
- [https://uk.wikipedia.org/wiki/Кріль\\_на\\_спині](https://uk.wikipedia.org/wiki/Кріль_на_спині)
- <https://uk.wikipedia.org/wiki/Батерфляй>
- [https://ru.wikipedia.org/wiki/Мировые\\_рекорды\\_в\\_плавании#Мужчины](https://ru.wikipedia.org/wiki/Мировые_рекорды_в_плавании#Мужчины)
- <http://tesiaes.ru/?p=10913>