

Кой крив и кой – прав, или за какво им е на рибите плавателен мехур¹

Ролята на плавателния мехур на рибите се обсъжда в доста учебници по природознание, по физика, а също така и по биология. Широко разпространено е погрешното мнение, че плавателният мехур е един активен орган, с чиято помощ рибите регулират дълбочината на потапянето си. Този въпрос определено се нуждае от изясняване.

В по-старите издания на учебниците по природознание въпросът се разглеждаше по-обстойно, като мястото, което му се отделяше, постепенно намаля, за да изчезне напълно в последното издание на учебника за 4. клас. В изданието от 1991 г. обаче той все още фигурира в две изречения, които гласят:

Рибите имат плавателен мехур, изпълнен с газове. Рибите регулират дълбочината, на която плуват, чрез плавателния мехур. (1, с.43)

Авторите съзнават, че учениците в 4. клас са твърде малки, за да им се обяснява как рибите регулират дълбочината, на която плуват, но явно внушават, че плавателният мехур играе активна роля в този процес.

По-подробен текст, посветен на ролята на плавателния мехур, намираме в стария учебник по биология:

Двигателна функция изпълнява и плавателния мехур. Той е разположен в гръбната част на телесната празнина и е изпълнен с газове. Чрез изменение на количеството на газовете в мехура шаранът се потапя на различна дълбочина. (2, с.113)

Вижда се, че тук внушението за активна роля на мехура при движение по вертикала е още по-ясно изразено. Това внушение като че ли присъства и в съвременния учебник по зоология:

Плавателният мехур е свързан чрез канал с хранопровода. Изпълнява хидростатична функция – регулира движението на рибата във вертикална посока, чрез промяна на количеството газ в него. (3, с.87)

Поради липса на време и място, ролята на плавателния мехур на рибите отдавна не се коментира в нашите учебници по физика. Подробно “обяснение” на неговата роля откриваме обаче в един съвременен немски учебник:

Рибите имат плавателен мехур. Чрез него те могат да променят обема на тялото си. Когато обемът на мехура се увеличава, рибата измества повече вода, възниква по-голяма изтласкваща сила и рибата изплува нагоре. Ако въздухът от мехура се изпусне, обемът на изместената вода намалява и рибата потъва. (4, с.86)

На пръв поглед физиката тук изглежда ясна, много учители помнят това “обяснение” и въпреки че то липсва в нашите учебници, често го използват, когато преподават закона на Архимед и условията за плаване (все пак – “връзка с живота”). Въпреки това, едно по-внимателно вникване в текста не може да не породя въпроси. Преди всичко – от къде се взема “въздух” (по дефиниция – 21 % кислород, 78 % азот и т.н.)? Второ – за сметка на какво “се увеличава” обема? – вкарва се допълнително газ при същото налягане, или някакви мускули разтягат мехура, т.е. обемът расте за сметка на намаляване на налягането (Бойл–Мариот), или нещо съвсем друго? Трето къде отива газът, след като “се изпусне”, и т.н., и т.н.

Съмнения в “обяснението” поражда и най-елементарното динамично разглеждане на процесите. Наистина, да решим въз основа на гореприведените твърдения следната задача:

¹ Физика, 2, 1995, с. 22–24.

Плавателният мехур на риба с маса $m = 200 \text{ g}$ увеличава обема си от $V_1 = 1 \text{ cm}^3$ до $V_2 = 2 \text{ cm}^3$. За колко време рибата би изплувала нагоре с $h = 1 \text{ m}$ под действие на нарасналата Архимедова сила? Съпротивлението на водата се пренебрегва.

Ясно е, че увеличението на обема на рибата с $\Delta V = V_2 - V_1 = 1 \text{ cm}^3$ ще предизвика превишение на архимедовата сила над силата на тежестта с $F = \rho g \Delta V$, където ρ е плътността на водата, а g – земното ускорение. Тази сила придава на рибата ускорение нагоре, което се определя от втория принцип на механиката: $a = \frac{F}{m} = \frac{\rho g \Delta V}{m}$. Тъй като връзката между път, време и ускорение при равноускорително движение без начална скорост е $h = \frac{1}{2} at^2$, за времето t , необходимо на рибата да изплува с $h = 1 \text{ m}$, получаваме:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{a}} = \sqrt{\frac{2mh}{\rho g \Delta V}} = \sqrt{40} \approx 6,3 \text{ s.}$$

Неотчетеното съпротивление на водата ще удължи значително отва време. Ясно е, че 6–7 секунди е твърде много време – не е необходимо човек да е наблюдавал твърде задълбочено движенията на рибите, за да съобрази, че една пъргава риба може да изплува нагоре с един метър значително по-бързо. Именно този факт поражда най-сериозните съмнения за ролята на Архимедовата сила в широко разпространените “обяснения” за вертикалните движения на рибите.

Да видим сега какво казват специалистите по физиология на рибите. От (5, с. 516) научаваме, че:

Много водни животни поддържат неутрална плаваемост (т.е. равенство между Архимедовата сила и силата на тежестта – б.м.), компенсирайки по-голямата плътност на скелетните структури чрез наличието на по-леки тъкани, съсредоточени в специални органи. Тези “резервоари на плаваемост” могат да бъдат разтвори на NH_4Cl (при сепиите), слоеве от липиди (при много животни, вкл. акулите или плавателни мехури (при много риби)). (Забележете – при много, а не при всички риби! – б.м.). Амониевият хлорид и липидните пояси имат предимството да бъдат несвиваеми, т.е. те не променят обема си при промените на хидростатичното налягане, съпровождащи движението по вертикала във водата. Плавателните мехури са с малка плътност и затова могат да бъдат много по-малки, отколкото резервоарите с NH_4Cl или с липиди, но те тък са свиваеми и си променят обема, променяйки по такъв начин плаваемостта на рибата с промяна на дълбочината. Хидростатичното налягане нараства приблизително с 1 atm с всяко увеличение на дълбочината с 10 m . Ако рибата плува точно под повърхността на водата и внезапно се гмурне на дълбочина 10 m , общото налягане в плавателния мехур се увеличава от 1 на 2 atm и обемът на мехура се намалява наполовина, увеличавайки като резултат средната плътност на рибата. (Обърнете внимание кое е причина и кое – следствие: мехурът се свива в резултат на потъването, а не обратно – свиването на мехура да предизвика потъване! – б.м.) Сега рибата би продължила да потъва, защото е по-плътна от водата. Аналогично, ако рибата изплува на по-малка дълбочина, плавателният ѝ мехур се увеличава, намалявайки плътността на рибата, така че тя продължава да изплува. Едно предимство на плавателните мехури е малката им плътност. Но те са съществено нестабилни заради промените на обема, предизвикани от промяната на дълбочината. Едно средство за предотвратяване на промяната на обема е добавяне или отнемане на газ от мехура при потъване или изплуване на рибата. Много риби притежават механизма за увеличаване или намаляване на

количеството газ в плавателния мехур с цел да се поддържа постоянен обем в един широк диапазон от налягане.

По-нататък следва описание на органите и процесите, чрез които може да се увеличава и намалява количеството на газ в плавателния мехур, които са твърде специфични и по същество – интересни за специалистите по физиология на рибите. И въпреки, че и в тях има интересни за физиците моменти, на тях няма да се спираме, тъй като не се отнасят до интересувания ни въпрос.

И така:

1. Предназначението на плавателния мехур на рибите е да компенсира наличието в тялото им на тъкани с плътност, по-голяма от плътността на водата. Или накратко – плавателният мехур осигурява нулева плаваемост на рибата.

2. Дали при движението си рибата ще се издига нагоре или ще потъва се определя не от законите на хидростатиката, а от тези на хидродинамиката – зависи какви движения ще извършва тялото на рибата, как тя ще се ориентира и движи плавниците и опашката си.

3. Проблемът на рибата не е как да разшири или свие плавателния си мехур, за да изплава или потъне, а как да **запази** обема на мехура при промяна на дълбочината. Този проблем рибите с плавателен мехур “решават” с помощта на сложни регулаторни механизми, които им позволяват да променят количеството на газа в мехура. Тези механизми използват принципи, лежащи твърде далече от физиката.

Литература:

1. Наков Л., М. Кабасанова, М. Топашка-Анчева *Природознание 4. клас*, С., Просвета, 1991.
2. Ангелов П. и др. *Биология 7. клас*, С., Просвета, 1987.
3. Вълчева Н., С. Томова, А. Панайотов *Зоология 7. клас*, С., Гей-Либрис, 1993.
4. Liebers, Wilke *Physik 7*, Volk und Wissen Verlag GmbH, Berlin, 1991.
5. Eckert, Randallq Augustine *Animal Physiology: Mechanisms and adaptations*, 3-d ed., Erelman&Co, San Fransisko.