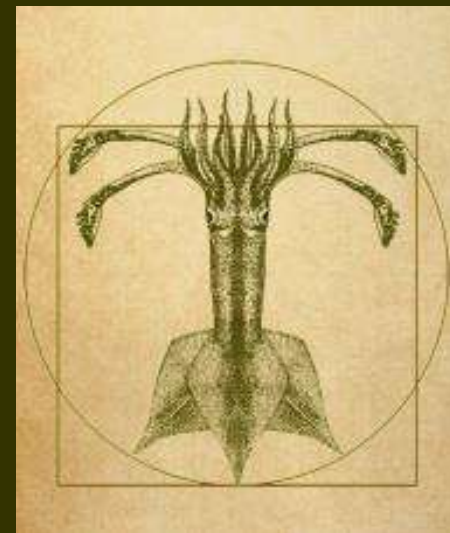




**ТРЕТЬЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И
СПЕЦИАЛИСТОВ ПО
РЫБНОМУ ХОЗЯЙСТВУ И
ЭКОЛОГИИ
20 апреля 2018**



**Бионическое моделирование
слабоэлектрических рыб**

Ольшанский В.М., Сюэ Вэй

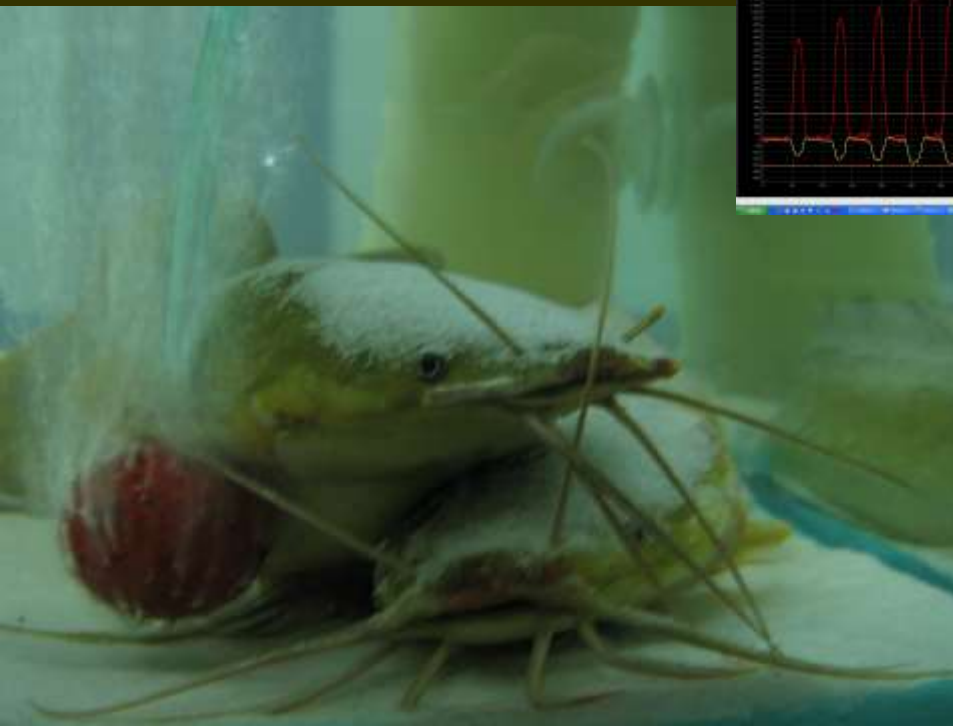
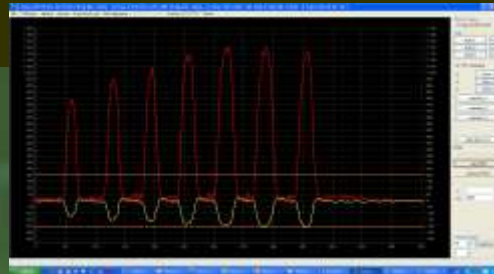
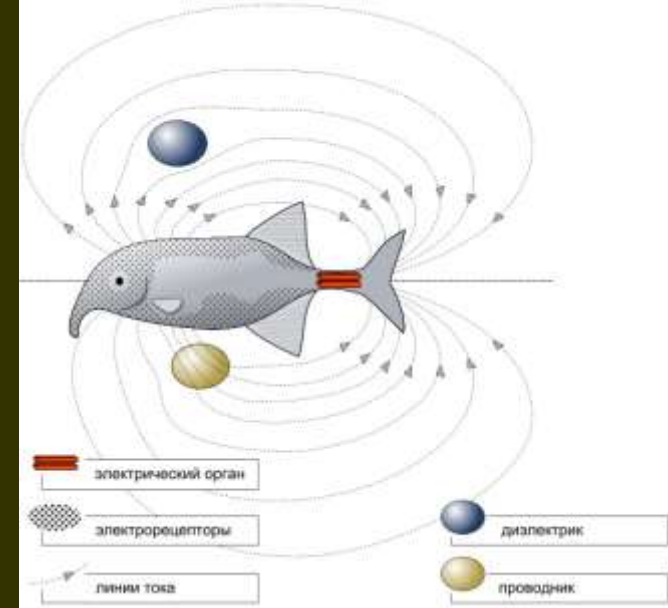


Харбинский инженерный
университет



Вторая школа по рыбному хозяйству 24 апреля 2015

Про электрических рыб
и их моделирование



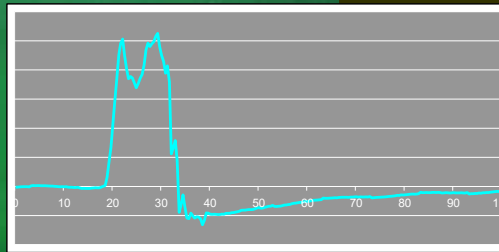
Ольшанский
Владимир
Менделевич
ИПЭЭ РАН
vmolsh@yandex.ru

*Про исследования роли электрических событий
в жизни клариевых сомов*



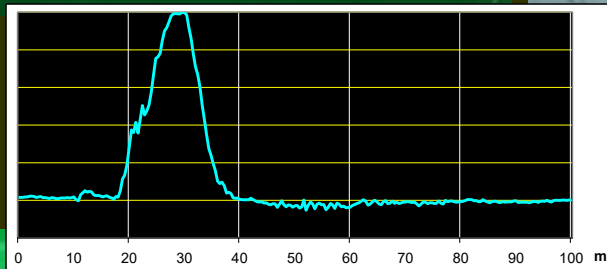
Азиатский сом Clarias macrocephalus

Агрессия

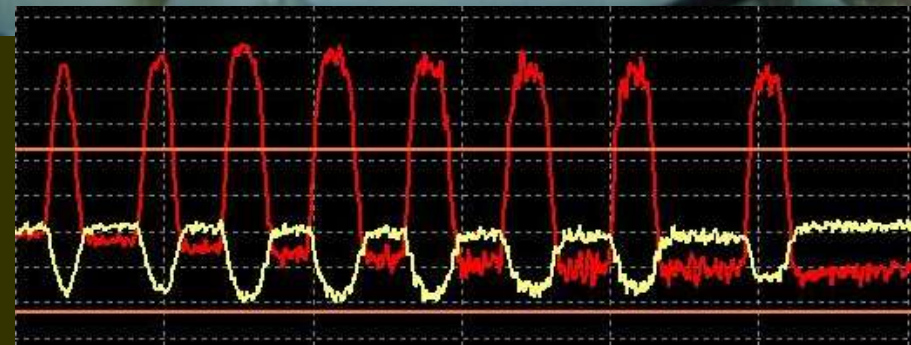


Генерация электрических разрядов сопровождается большинством заметных поведенческих актов клариевых сомов – агрессию, охоту, нерест.

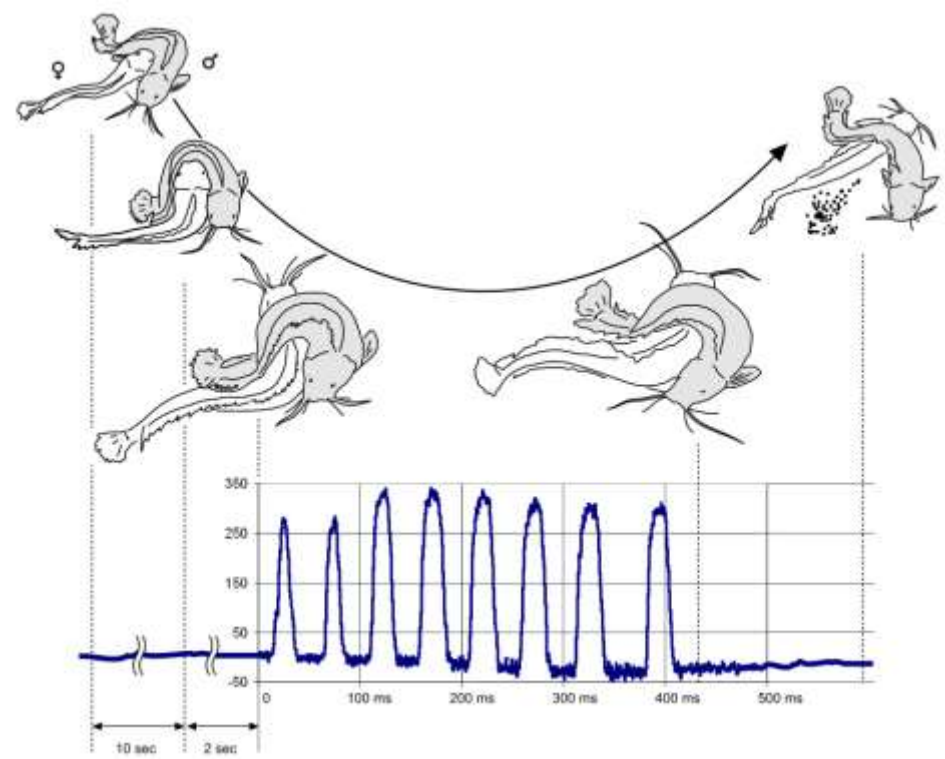
Нерест

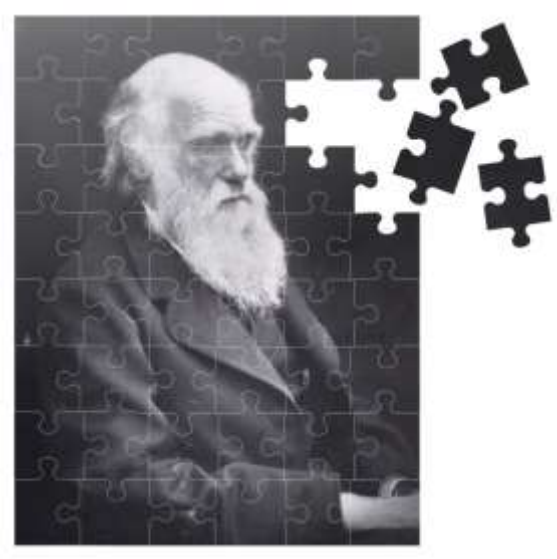


Охота



Генерация особой пачки электрических разрядов является обязательным элементом жесткого нерестового ритуала спаривания азиатских клариевых сомов

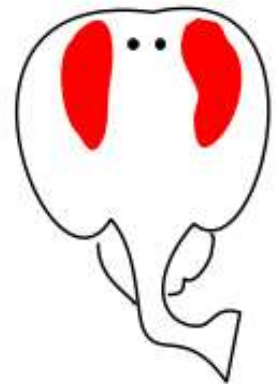
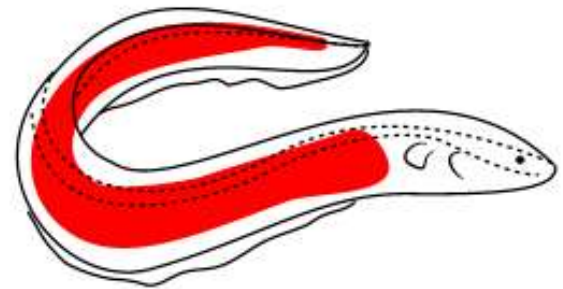
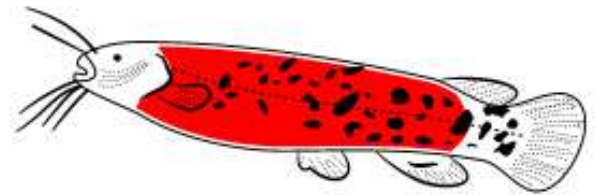




«Электрические органы рыб представляют ... исключительную трудность, потому что трудно представить себе, какими шагами могло идти образование этих изумительных органов. Но это не удивительно, так как мы не знаем даже, для чего они служат.

У *Gymnotus* и у *Torpedo* они, конечно, представляют собою мощные средства защиты, а может быть, и преследования добычи, но у ската *Raja* аналогичный орган в хвосте производит мало электричества, даже когда животное раздражено, так мало, что он едва ли может служить для указанных целей.»

Ч.Дарвин «Происхождение видов...»



Классические работы Ганса Вернера Лиссмана

Непрерывные электрические разряды из хвоста *Gymnarchus niloticus*

О функции и эволюции электрических органов рыб

NO. 4240 February 3, 1951

NATURE

201

Continuous Electrical Signals from the Tail of a Fish, *Gymnarchus niloticus* Cuv.

THROUGH the kindness of Dr. K. R. S. Morris, Gold Coast, I received a living specimen of *Gymnarchus niloticus*, a fish which occurs in the rivers of West Africa and in the Nile. Observation of this fish in an aquarium has revealed two striking features: (i) a mode of locomotion through waves passing over the extended dorsal fin and executed forwards and backwards with equal ease; (ii) a marked ability of the fish to avoid obstacles while swimming backwards. The hind end and particularly the finner-like tail are known to contain tissues corresponding to an electric organ; it seemed of interest to consider whether this organ may enable the animal to detect objects in the vicinity of its body.

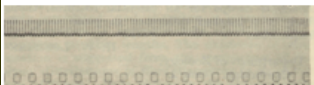
When a pair of electrodes, connected to an amplifier, was placed in the tank with the fish, an un-

From the evolutionary point of view, these observations may help to resolve Darwin's difficulty in explaining the development of electric organs through natural selection, although the gap between weak electric organs and motor endplates has yet to be bridged. *Gymnarchus* may be by no means unique in possessing such an electric signalling mechanism; suspicion rests particularly on the *Mormyridae* and *Gymnotidae*. Unfortunately, while the investigation was still in progress my *Gymnarchus* died, and it appears very difficult to replace this animal or to obtain any *Mormyridae* or *Gymnotidae*. I should be grateful if anyone who could suggest a possible source of supply would write to me.

*Vote added in proof Since the above was written, this has been confirmed in *Mormyrops bairdii* and *Etmopterus cavanio* for all essential features, though there is a marked difference in pulse shape and frequency.

H. W. LISSMANN

Department of Zoology,
Cambridge, Oct. 2, 1950. H. G. J. Mar. Biol.
Assoc. 17, 415 (1930-31).



Ultraviolet record of continuous signals emitted by *Gymnarchus niloticus*. The temperature at the water was 21° C. Time marker at 0-10 and 0-14 sec.

interrupted stream of electrical pulses could be picked up. Under constant conditions of temperature these signals are emitted with surprising regularity, both in intensity and frequency (see record reproduced herewith). Within the range of 21°-31-35° C., the frequency varies between 258 and 318 pulses per second, with a maximum at 28° C. These pulses do not appear to be dependent on the state of activity of the animal; they remain unchanged whether the fish is swimming or completely at rest. When the electrodes are close to the fish, maximal intensity is obtained by aligning them parallel to the long axis of the animal and placing them near the tail. If the electrodes are then rotated, the size of the recorded impulses will be seen to decrease until, after a turn of 90° (when the connecting line passes through the base of the tail), they are no longer registered. Deflexion from this position either cranially or caudally reverses the polarity to positive or negative respectively. With the electrodes 8 cm apart and 1 cm from maximal values for a fish measuring 28 cm, amounted to about 30 mV.; at a distance of 100 cm, in Cambridge tap water, signals of approximately 30 μ V. were observed.

Details of this investigation will be given elsewhere, but it may be pointed out that *Gymnarchus* obviously appreciates any changes in the electric field which it sets up. The easiest way to demonstrate this is by dipping successively the two ends of a 'U'-shaped copper wire into the water near the fish. Characteristic escape reactions are then observed, which do not appear if the wire is replaced by non-conducting material. It has also been shown that, if, by means of a beat frequency oscillator, electrical pulses comparable in intensity and frequency to those emitted by the fish are applied to the water, very marked responses are elicited. Similarly, if the fish's own pulses are fed back into the water some distance away from the animal, the fish is able to locate the source of stimulation and attacks the stimulating electrodes. Reznart's finding that the lateral line of other fish is responsible for the lower limits of perception of electric current is of interest in this connection.

[156]

ON THE FUNCTION AND EVOLUTION OF ELECTRIC ORGANS IN FISH

By H. W. LISSMANN

Department of Zoology, Cambridge

(With Plates 5 and 6)

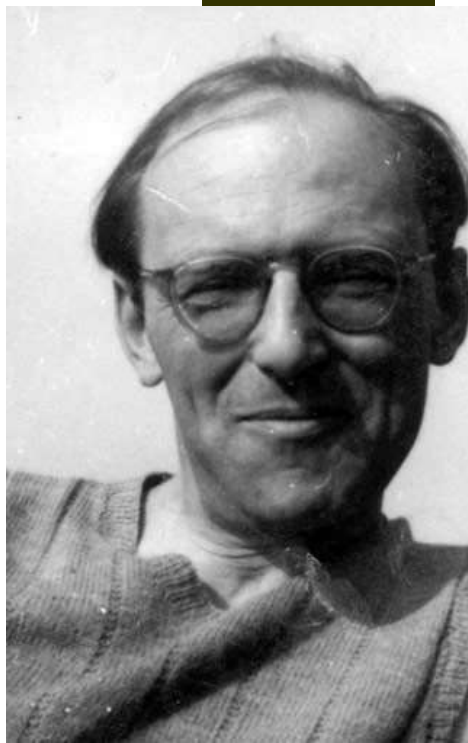
(Received 2 October 1957)

I. INTRODUCTION

The inadequacy of functional and evolutionary theories of electric organs in fish has been apparent for a long time. Fish are the only class in the whole animal kingdom known to possess specific electric organs. This fact appears noteworthy because (i) the material from which these organs are derived, muscular tissue, is commonly present in other groups of animals; (ii) in fish these organs must have evolved several times independently. This latter conclusion is based first on the occurrence of electric organs in widely unrelated families, and secondly on the fact that electric organs are developed from different parts of the body.

Although it is frequently stated that electric organs are remarkable adaptations, e.g. in having the electric elements suitably arranged in parallel or in series to conform to the conductivity of either fresh or sea water, very little has been known until recently of the biological significance of these organs—apart from a subjectively experienced defensive action and a surmised offensive role. This is probably the main reason why the problem of their evolutionary history, clearly stated by Darwin (1872), still awaits a satisfactory answer. Dahlgren (1910), after a detailed examination of 'the origin of the electricity tissues in fishes', comes to the conclusion 'that the impulse to evolve this tissue is a real inner stimulus working independently of outer conditions... The evolution of these structures was most probably not based upon a basis of natural selection.'

It has been customary to distinguish between strong electric organs and pseudo or weak electric organs. Most workers in recent years have been concerned with physiological aspects of electric tissue, and have availed themselves mainly of *Torpedo* and *Electrophorus*, both fish giving off strong electric discharges. It appears that an investigation of the weak electric fishes is more likely to reveal possible evolutionary starting points. Apart from the fact, established towards the end of last century, that the weak electric organs are capable of giving off weak electric discharges (Babuchin, 1877; Sanderson & Gotch, 1888; Fritsch, 1891) very little new information has come to light, and the functional significance and evolutionary history of the weak electric organs have remained obscure. Suggestions, which have been put forward in the past, about the role and mode of action of weak electric organs appear implausible; e.g. that weak electric fish, feeding on insect larvae, worms and crustacea may be able to stun their small prey before swallowing



Электрические рыбы

Сильноэлектрические

Слабоэлектрические



Электрический скат
(Torpediniformes)
до 50 Ампер
Атлантика

Обыкновенные скаты
(Rajiformes)
все океаны



Электрический угорь
(Electrophoridae)
600 Вольт
Южная Америка

Гимнотообразные
(Gymnotiformes)
Южная Америка



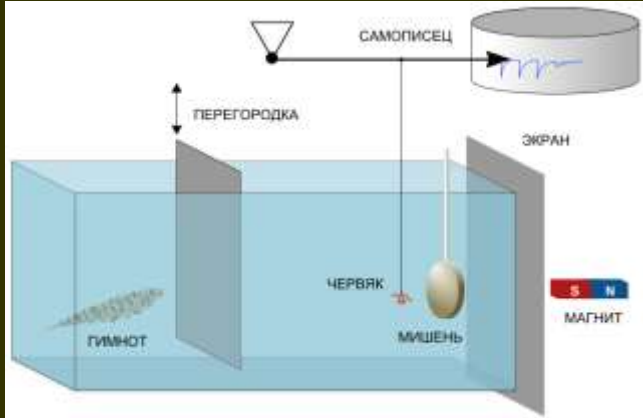
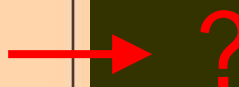
Клюворылообразные
(Mormyriiformes)
Африка



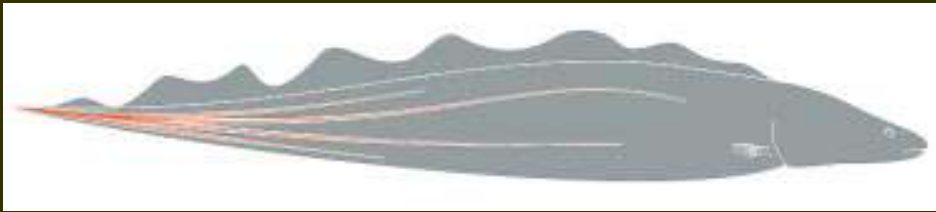
Электрический сом
(Malapteruridae)
более 300 Вольт
Африка



Южный звездочет
(Astroscopus)
5 Вольт. 1 Ампер
океаны



Ганс Лиссманн зарегистрировал разряды от представителей
клюворылообразных и гимнотобразных



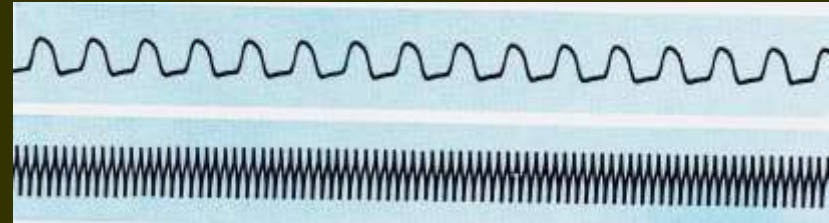
Gymnarchus niloticus



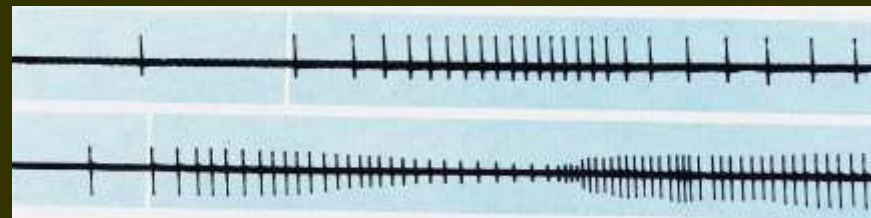
Aptereronotus albifrons



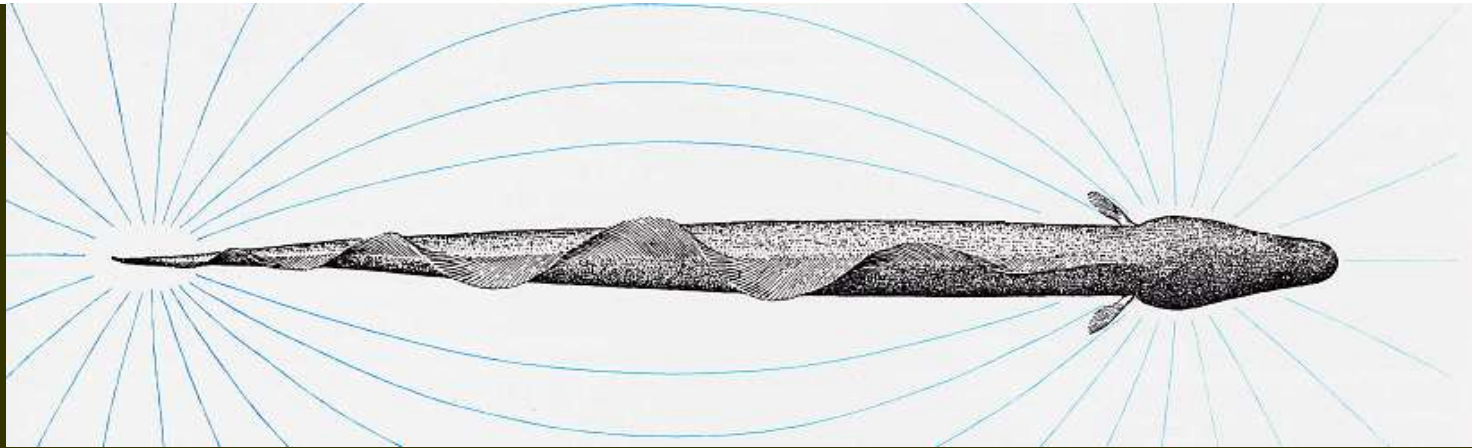
Gnathonemus petersii



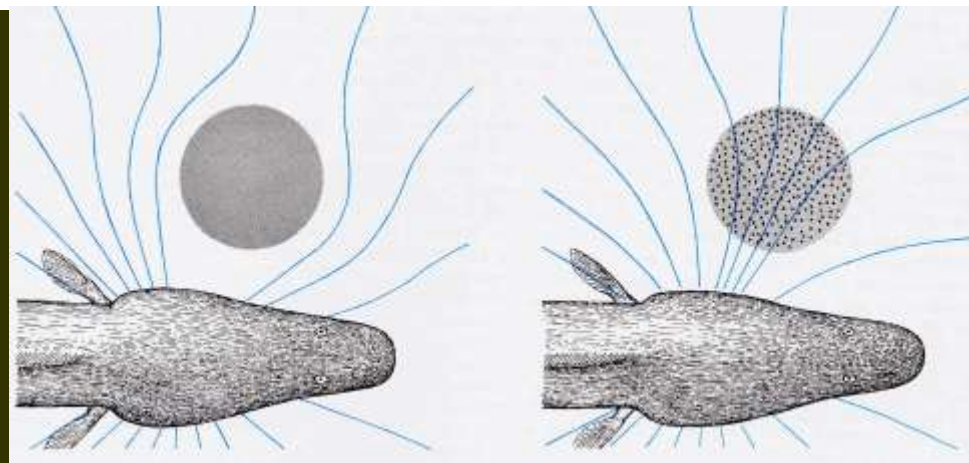
Ко времени Лиссманна у человечества
уже появилось множество
искусственных электрических органов
и мы представляем какую пользу
можно ждать от сигналов, похожих на
синусоиду, и импульсов стабильной
формы.



«Представляется важным рассматривать электрические органы, не как органы интересные сам по себе, а как на часть общей организации рыбы, играющей роль в ее взаимодействии с окружающим миром»

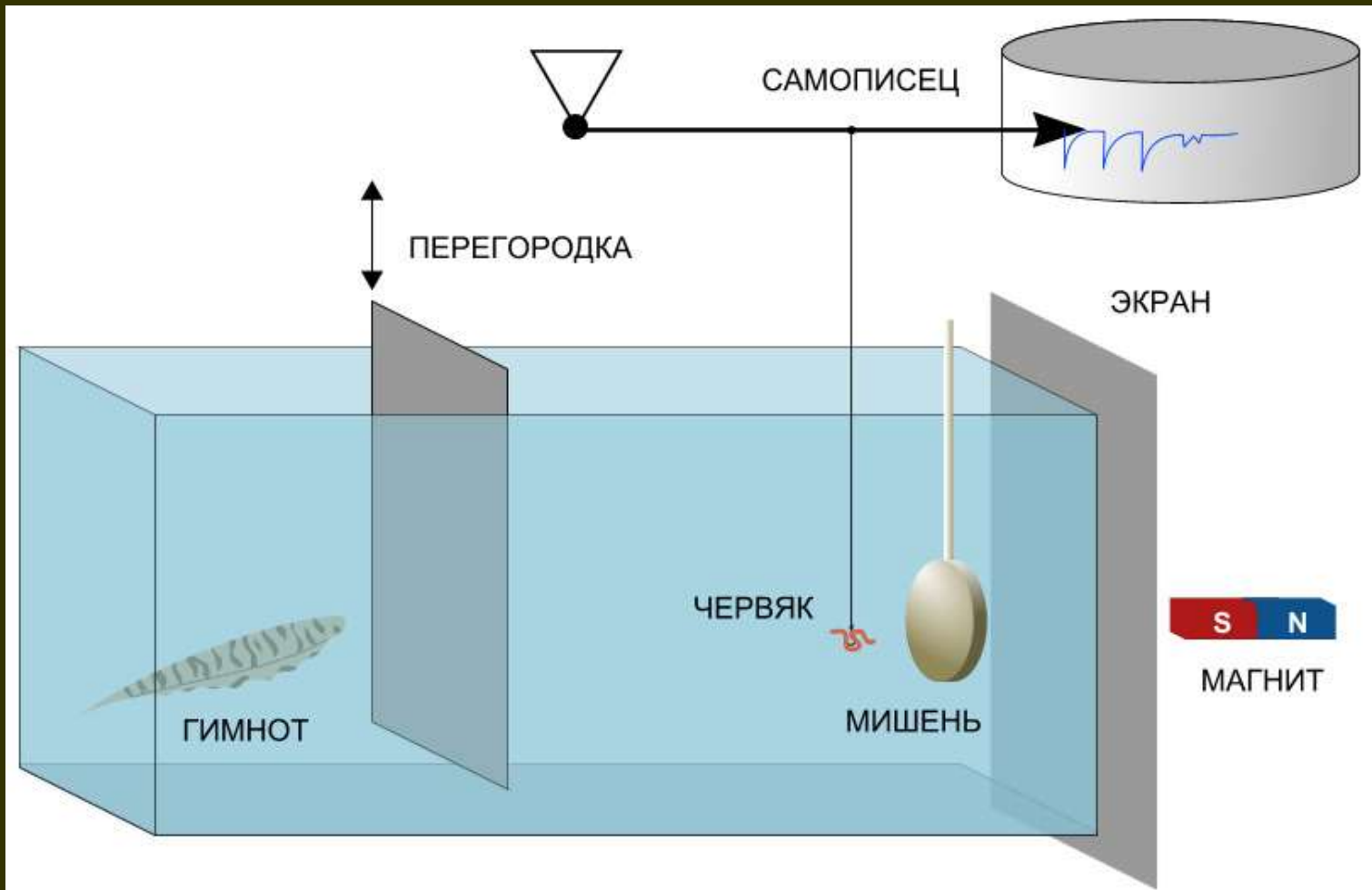


Принцип электролокации: В однородной водной среде рыба создает поле, напоминающее поле электрического диполя. Любой объект, электропроводность которого отличается от электропроводности воды будет отклонять линии поля и, находясь в воде, искажать первоначальную конфигурацию поля. Предполагается, что рыба способна чувствовать это искажение поля

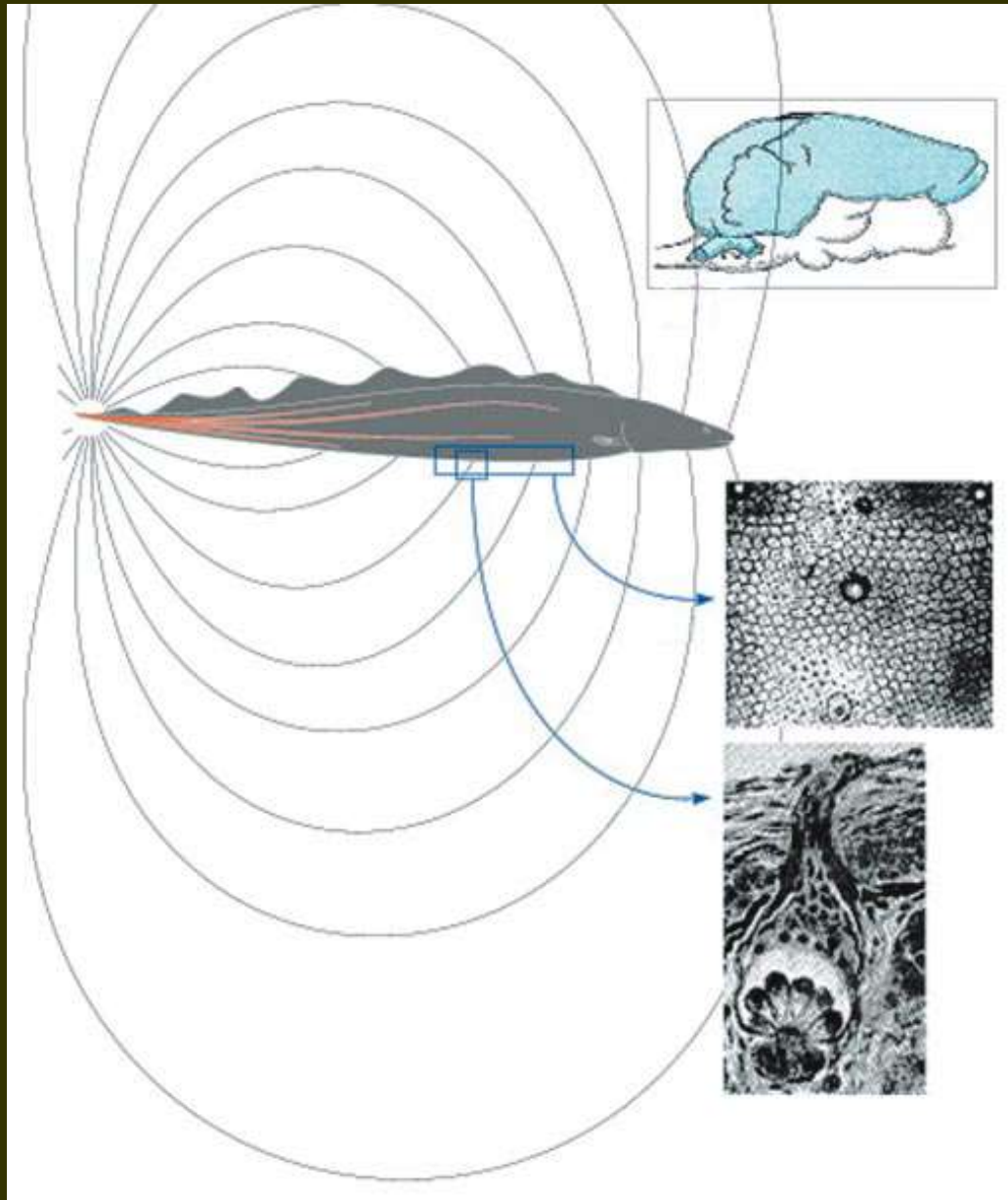


Доказательства Лиссманна

Условнорефлекторные эксперименты с *Gymnarchus niloticus* и *Gymnotus carapo* показали, что эти рыбы могут обнаруживать присутствие стационарного магнита и они могут отличать проводники от изоляторов.



Организация слабозлектрической рыбы по Лиссманну

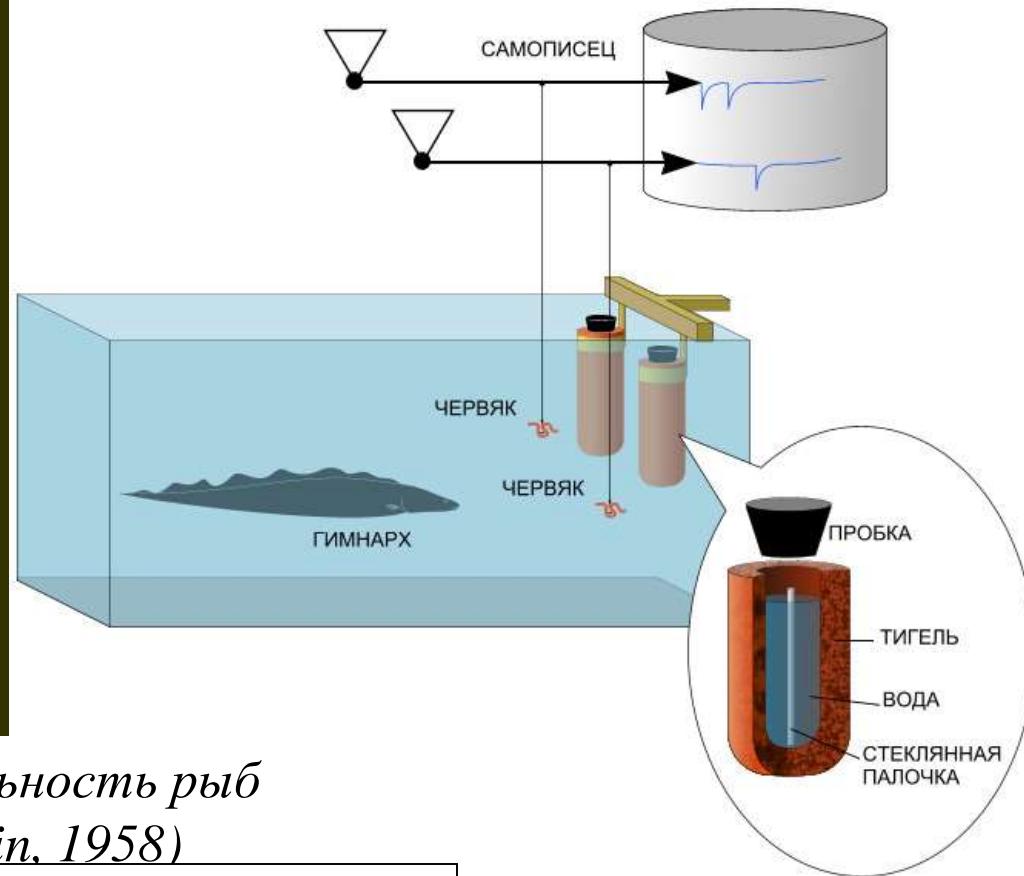


«Представляется, что первой значимой особенностью в процессе эволюции электрических органов было приобретение рецепторов, чувствительных к электрическим стимулам. На ранних стадиях эта чувствительность могла быть случайной, позже дополнительной и в конце – основной функцией таких сенсорных органов.»

Lissmann, 1958

Количественные оценки электрочувствительности

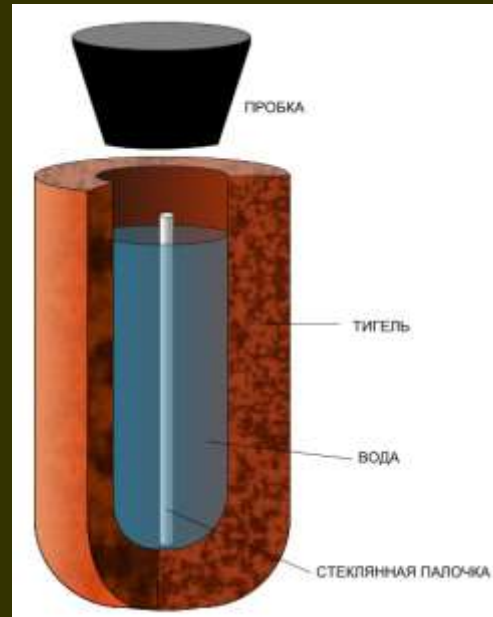
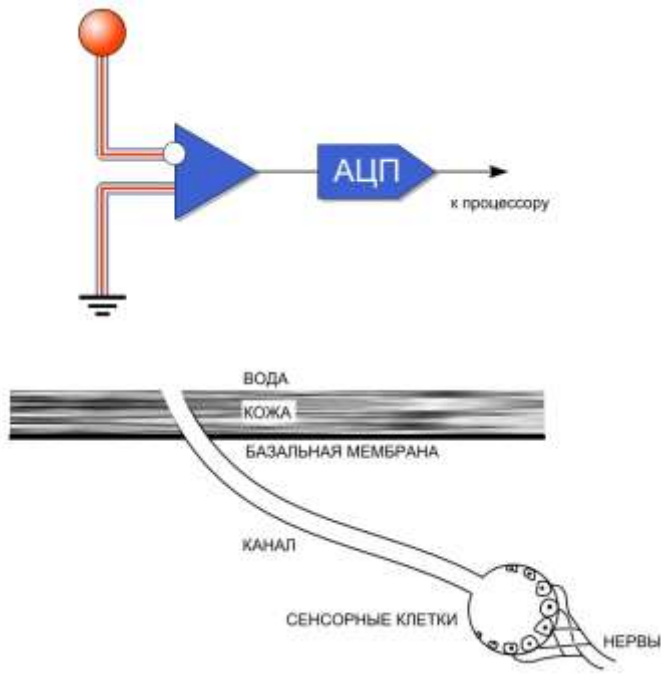
«Мы обнаружили, что *Gymnarchus* мог отвечать на стимулы 0.15 мкВ/см»
(Lissmann, Machin, 1958)



Пороговая электрочувствительность рыб (из статьи Lissmann, Machin, 1958)

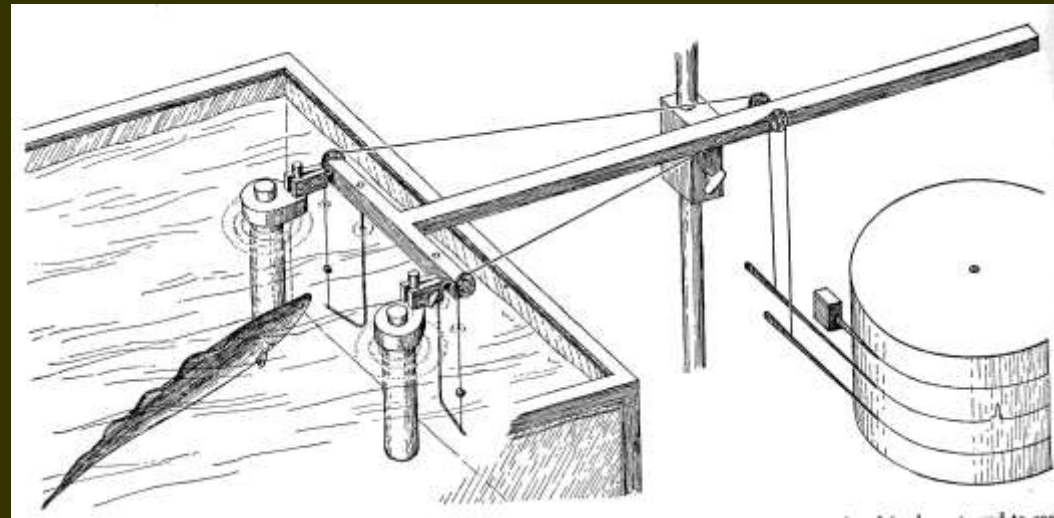
Вид рыбы	Плотность тока ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Ссылки
<i>Phoxinus phoxinus</i>		
<i>Cyprinus carpio</i>	10	Scheminzki (1931)
<i>C. auratus</i>	60	Adler (1932)
<i>Parasilurus asotus</i>	16	Regnart (1931)
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	8	Abe (1935)
<i>Gymnarchus niloticus</i>	110	Johnson (личное сообщение)
	<u>$2 \cdot 10^{-5}$</u>	<u>Lissman, Machin, 1958</u>

Механизм и физические пределы электрорецепции



We have found that *Gymnarchus* can respond to a continuous direct-current electric stimulus of about .15 microvolt per centimeter, a value that agrees reasonably well with the calculated sensitivity required to recognize a glass rod two millimeters in diameter. This means that an individual sense organ should be able to convey information about a current change as small as .003 micromicroampere. Extended over the integration time of 25 milliseconds, this tiny current corresponds to a movement of some 1,000 univalent, or singly charged, ions.

Lissmann, 1974

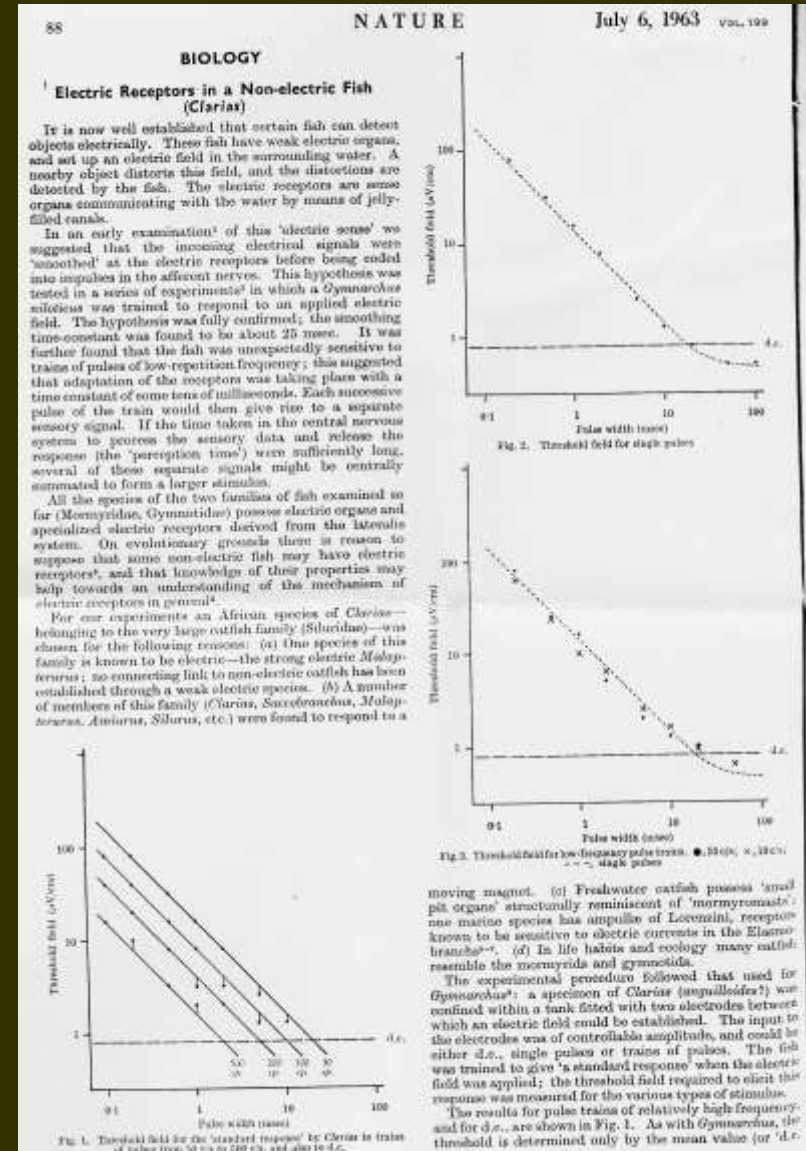


«Представляется, что более тщательное исследование сомов будет плодотворным, поскольку пока не обнаружено переходных форм между сильноэлектрическим сомом и остальными сомами – ситуация напоминающая недавнюю ситуацию с гимнотидами» (Лиссманн, 1958)

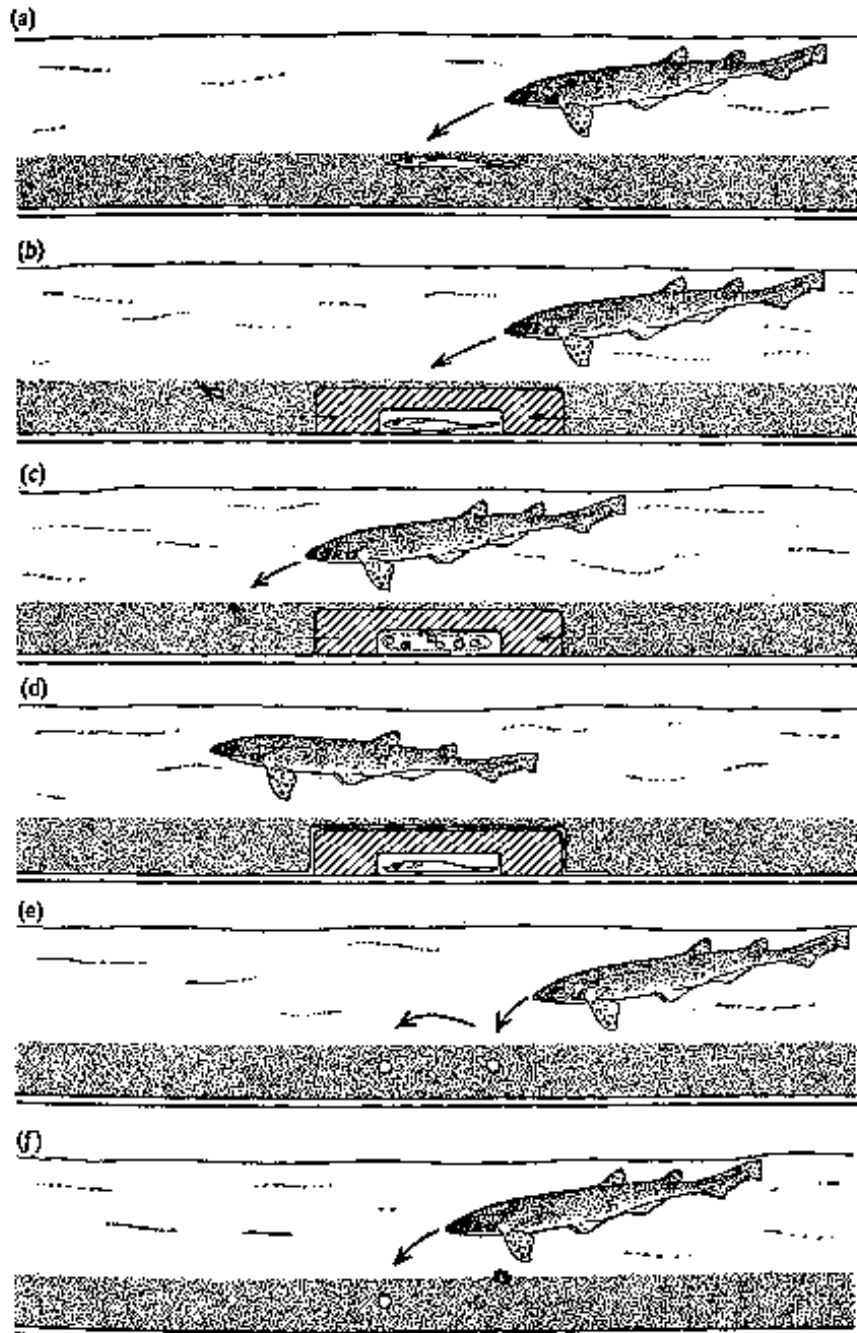
В 1963 г. Лиссманн и Мэйчин доказали, что клариевые сомы имеют электрорецепторы и что они лучше всего воспринимают стимулы длительностью 25 мс и выше.

В названии их публикации в Nature подчеркивается, что клариевые сомы - НЕэлектрические рыбы.

«Электрические рецепторы у неэлектрической рыбы» Lissmann, Machin, 1963



Пассивная электрорецепция у акул



THE ELECTRIC SENSE OF SHARKS AND RAYS

By A. J. KALMIJN

Laboratory of Comparative Physiology, University of Utrecht, The Netherlands
Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California*

(Received 18 March 1971)

INTRODUCTION

In 1917 Parker and van Heusen published their historic paper on the behavioural responses of the catfish, *Amiurus nebulosus*, to metallic and non-metallic rods. They found a blindfolded *Amiurus* to be remarkably sensitive to metallic rods, regularly responding to them even at a distance of some centimetres, whereas a glass rod did not elicit a reaction until it actually touched the skin of the animal. When much of the metal was exposed to the water, the fish swam away from it; when little was exposed, the fish turned towards the rod and often nibbled it. In a series of simple but convincing experiments Parker and van Heusen demonstrated that these responses were due to the galvanic currents generated at the interface between metal and aquarium water. The same responses could be obtained by sending a weak direct current into the water via two electrodes, kept 2 cm apart. In this case approach and nibbling were called forth by a current of a little less than $1 \mu\text{A}$ and the avoidance reactions by currents of $1 \mu\text{A}$ or more.

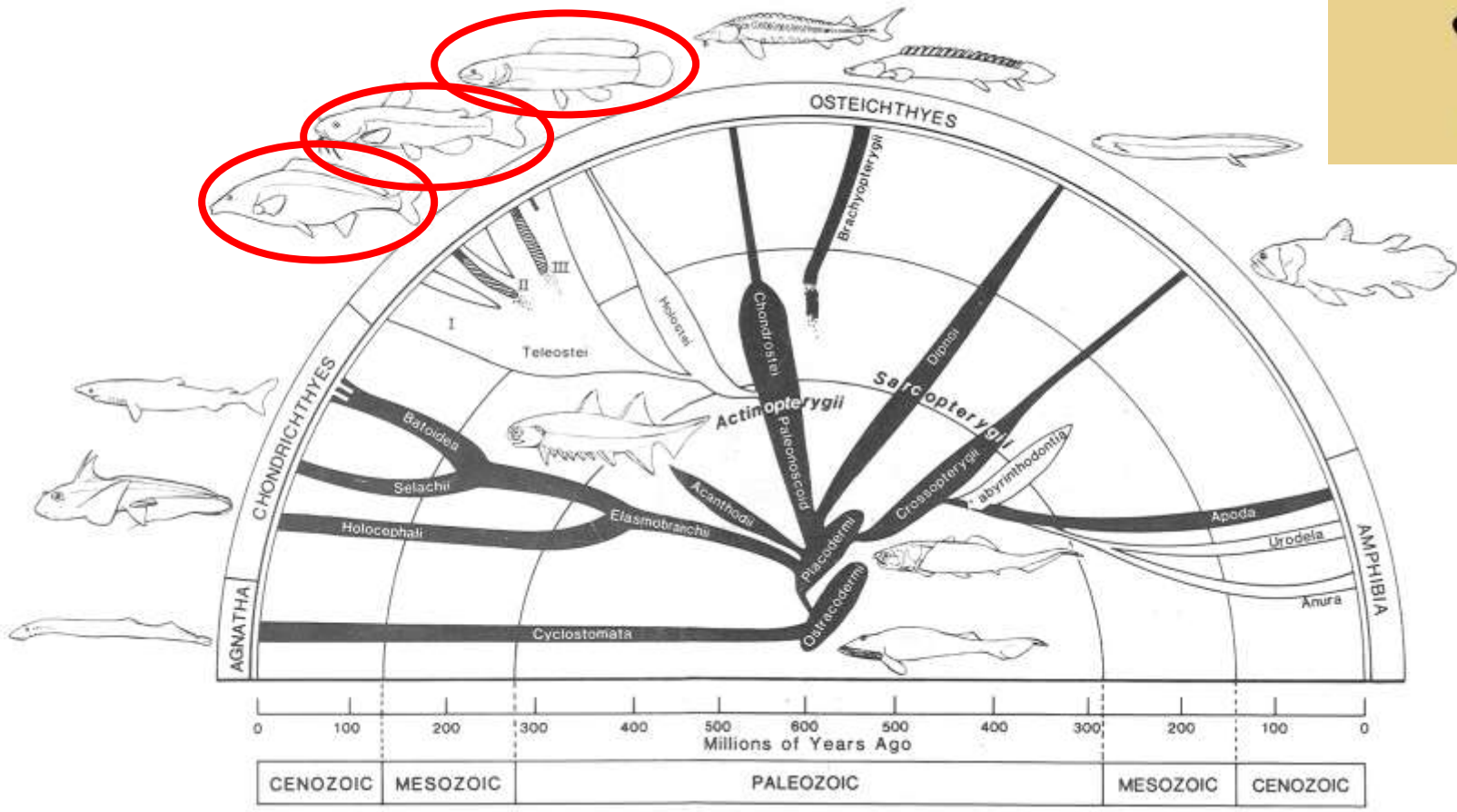
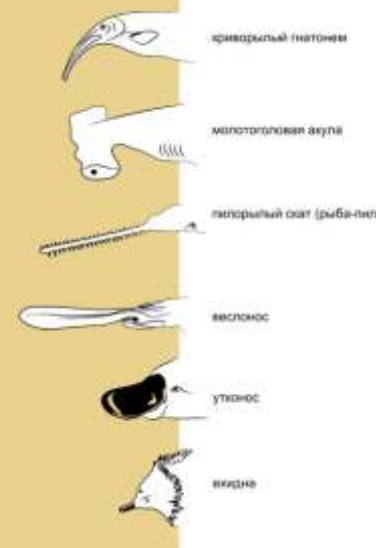
Parker and van Heusen did not realize the significance of their results, but in fact they were studying the electrosensitivity of fishes that have - as we now know - distinct electroreceptors. Curiously enough, the electroreceptors of *Amiurus* were not identified experimentally and investigated electrophysiologically until very recently (Dijkgraaf, 1968; Roth, 1968, 1969). Even now, we can only speculate about the biological meaning of the electrosensitivity of the catfish.

Long after the work of Parker and van Heusen, in the year 1951, a new impetus to the study of the electrosensitivity was given by Lissmann. He examined the electric discharges that *Gymnarchus niloticus* and other weakly electric fish almost continuously emit, and proposed the theory that they play an essential role in an electrosensory mechanism for object location. These fish would be able to detect a nearby object of an electrical conductivity different from that of the surrounding water by appreciating the distortion it causes to their electric field. Later on, Lissmann proved *Gymnarchus* to be indeed very sensitive to purely electrical stimuli as implied by his theory, and also showed the fish to be able to discriminate between objects of only slightly different conductivity (Lissmann, 1958; Lissmann & Machin, 1958).

Lissmann tentatively regarded the weakly electric fish as evolved from a pre-electric fish without electric organs but already sensitive to electric fields. He suggested that at this early stage the electrosensitivity might have been used to detect muscular potentials of prey, predators, members of the same species, and of the animal itself. Today,

* Present address: Department of Neurosciences, School of Medicine, University of California, San Diego, La Jolla, California 92037.

Акула обнаруживает зарытую в песок камбалу по её полям дыхания. Если вместо камбалы в песок зарыть электрический диполь и на него подать потенциалы, имитирующие дыхание камбалы, то акула атакует диполь.
(Kalmijn, 1971)

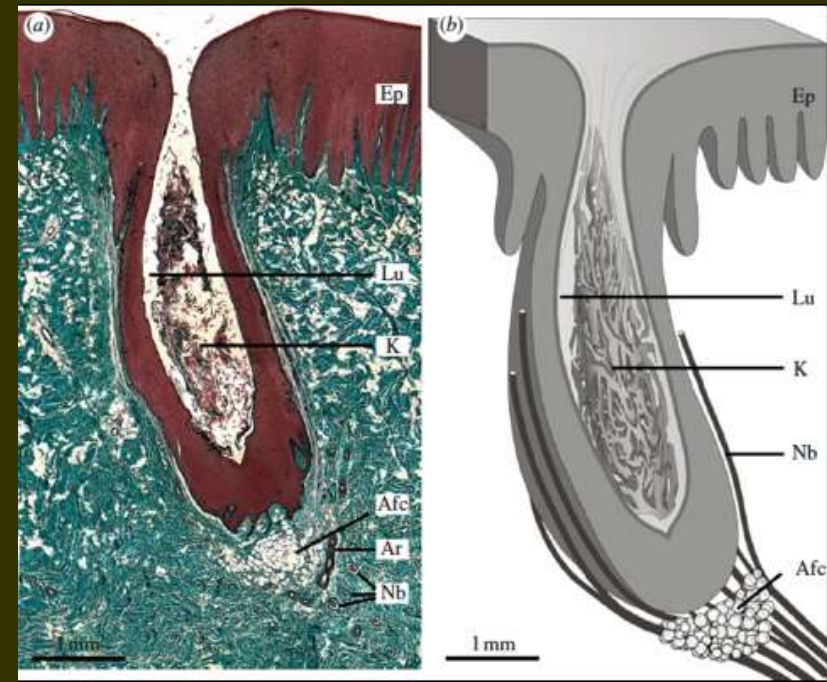
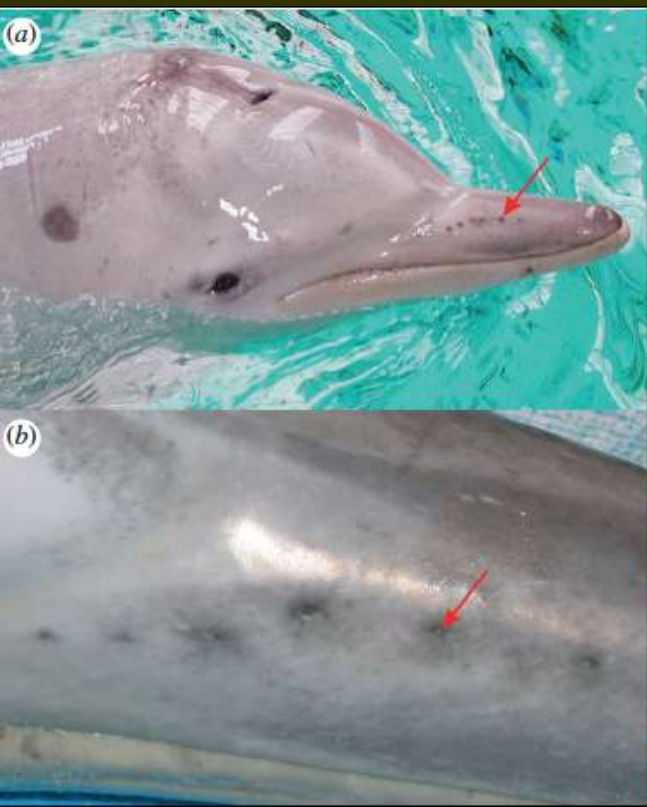


Современные представления о филогенетических связях животных, имеющих электрорецепцию

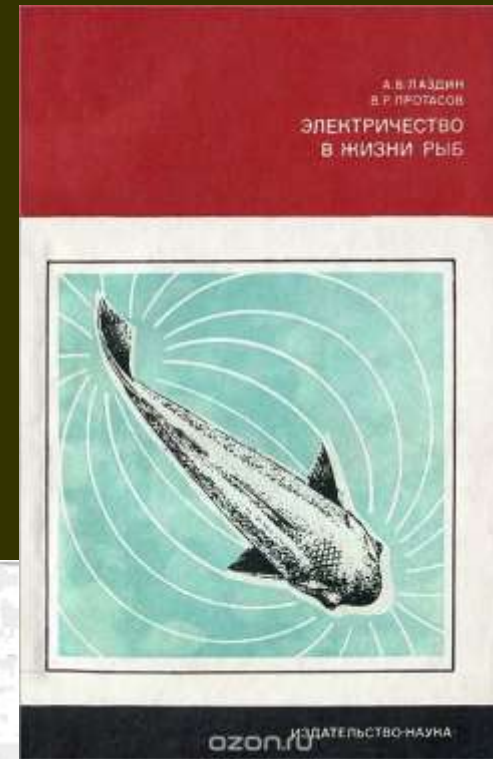
Electroreception in the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*)

Nicole U. Czech-Damal¹, Alexander Liebschner², Lars Miersch³, Gertrud Klauer⁴,
Frederike D. Hanke³, Christopher Marshall⁵, Guido Dehnhardt³ and Wolf Hanke^{3,*}

Psychophysical experiments with a male Guiana dolphin determined a sensory detection threshold for weak electric fields of $4.6 \mu\text{V cm}^{-1}$, which is comparable to the sensitivity of electroreceptors in platypuses.



Про исследования в области электроэкологии в России



Лауреат Государственной премии
СССР, д.б.н., проф. В.Р.Протасов



Электрический скат
(Torpediniformes)
до 50 Ампер
Атлантика



Южный звездочет
(Astroscopus)
5 Вольт. 1 Ампер
океаны



Обыкновенные скаты
(Rajiformes)
все океаны



Морская корова
(Uranoscopus scaber)
Черное море



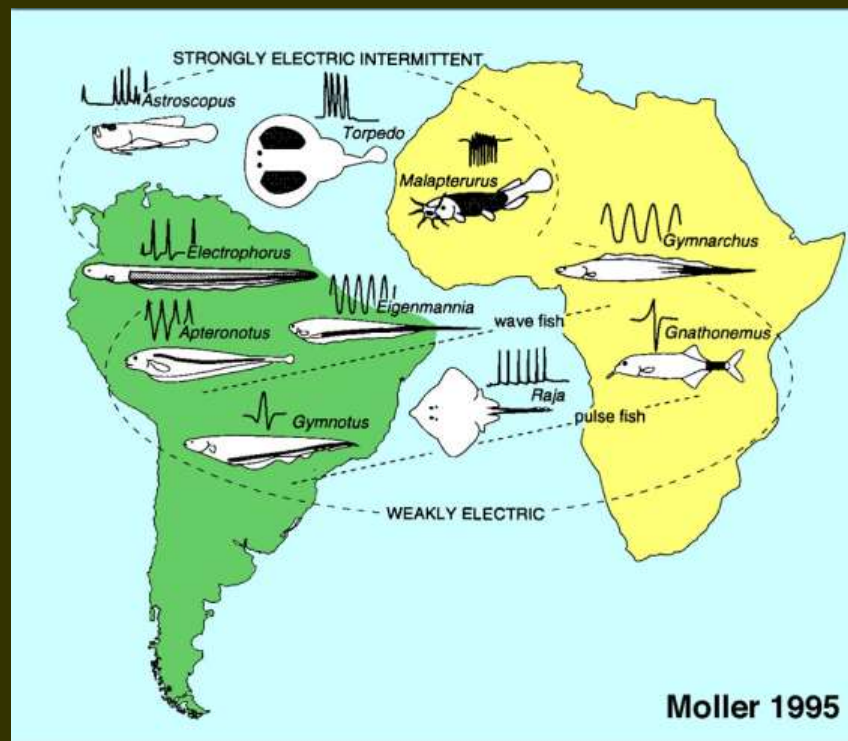
Экзотические рыбы водятся в экзотических странах



Электрический угорь
(Electrophoridae)
600 Вольт
Южная Америка



Гимнотобразные
(Gymnotiformes)
Южная Америка



Электрический сом
(Malapteruridae)
более 300 Вольт
Африка



Клюворылообразные
(Mormoniformes)
Африка

Исследования В.Д.Барона на скатах и звездочетах



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОРФОЛОГИИ
И ЭКОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ ИМ. А.Н. СЕВЕРЦОВА

В.Д. Барон

ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРНЫЕ СИСТЕМЫ РЫБ:

ЭВОЛЮЦИЯ И МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
Москва 1982

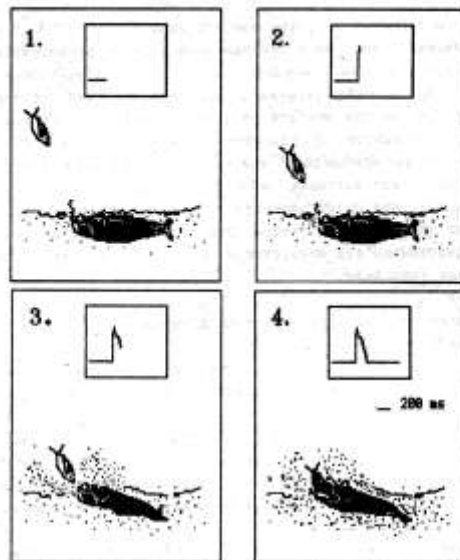


Рис. 1 Взаимодействие звездочета *U. stellata* и жертвы. Электрический разряд - в квадрате сверху кадра.

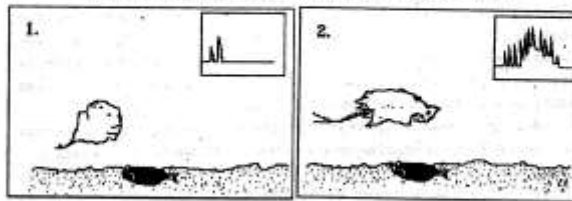


Рис. 2 Реакция звездочета *U. stellata* на подплывание морского слизня *Doris pastolosa*.

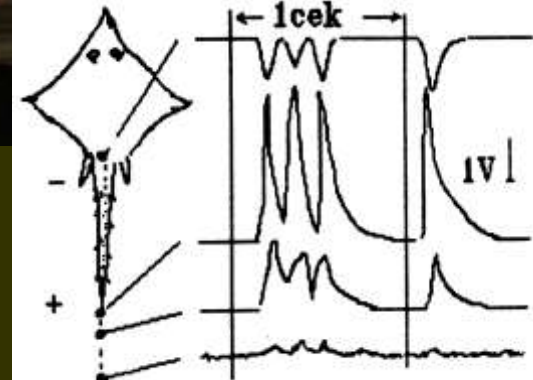


Рис. 4 Распределение электрического потенциала вблизи электрического органа *Urolophycis stellata* при разряде.

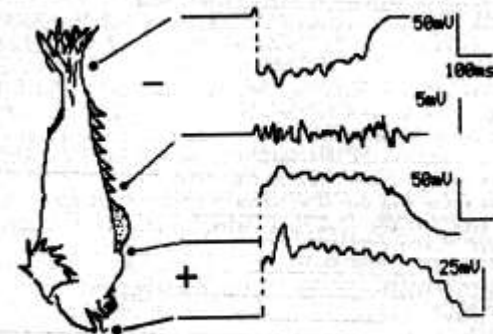


Рис. 3 Распределение электрического потенциала вблизи тела звездочета *Urolophycis stellata* при разряде.

В 1993 г. в Эфиопии В.Д.Барон, А.А.Орлов и А.С.Голубцов впервые обнаружили монополярные разряды клариевого сома *Clarias gariepinus*, проявляющиеся только в процессе социальных взаимодействий.

African *Clarias* catfish elicits long-lasting weak electric pulses

V. D. Baron, A. A. Orlov and A. S. Golubtsov

Severtzov Institute of Animal Evolutionary Morphology and Ecology of the Russian Academy of Science, Leninsky Prospect 33, Moscow 117071 (Russia)

Received 1 November 1993; accepted 25 January 1994

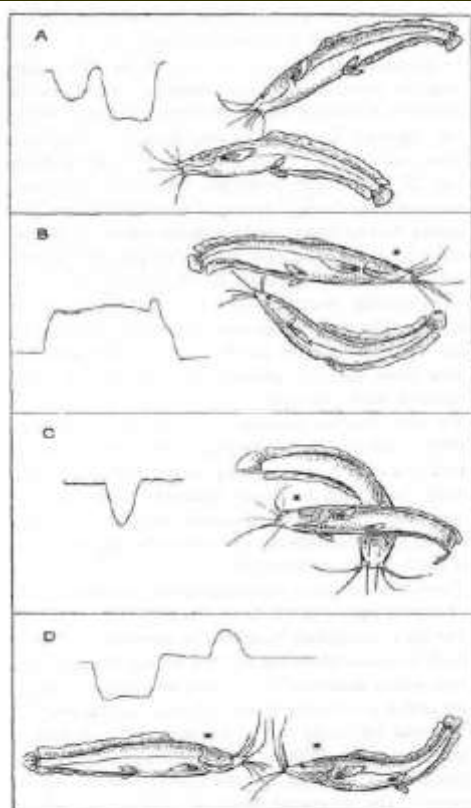


Figure 2. Drawing from videorecords containing in the same frame a view of experimental tank and a screen of oscilloscope displaying fish EODs. The individual marked with an asterisk is discharging.





Эфиопия

(кадры из фильма Д.Эльяшева
«Экспедиция»)



Электрические разряды азиатских пресноводных рыб

*Doklady Biological Sciences, Vol. 354, 1997, pp. 270–272. Translated from Doklady Akademii Nauk, Vol. 354, No. 3, 1997, pp. 419–422.
Original Russian Text Copyright © 1997 by Morshnev, Ol'shanskii.*

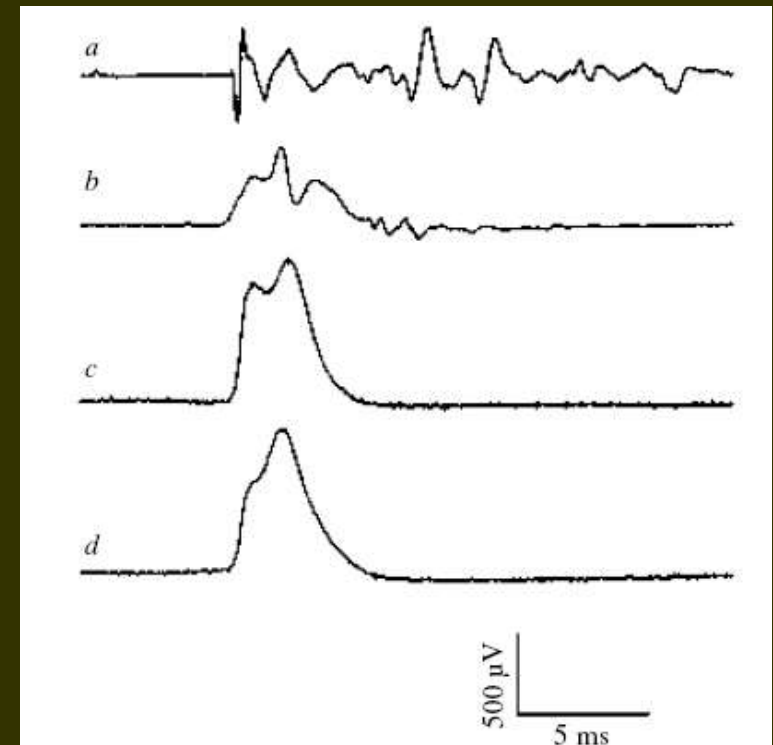
GENERAL
BIOLOGY

Electric Discharges in Asian Catfish *Ompok bimaculatus* (Siluriidae)

K. S. Morshnev and V. M. Ol'shanskii
Presented by Academician D.S. Pavlov April 29, 1996

Received April 30, 1996

**Первая регистрация электрических разрядов
от азиатской пресноводной рыбы
(Моршнева, Ольшанский, 1995)**



Peter Moller

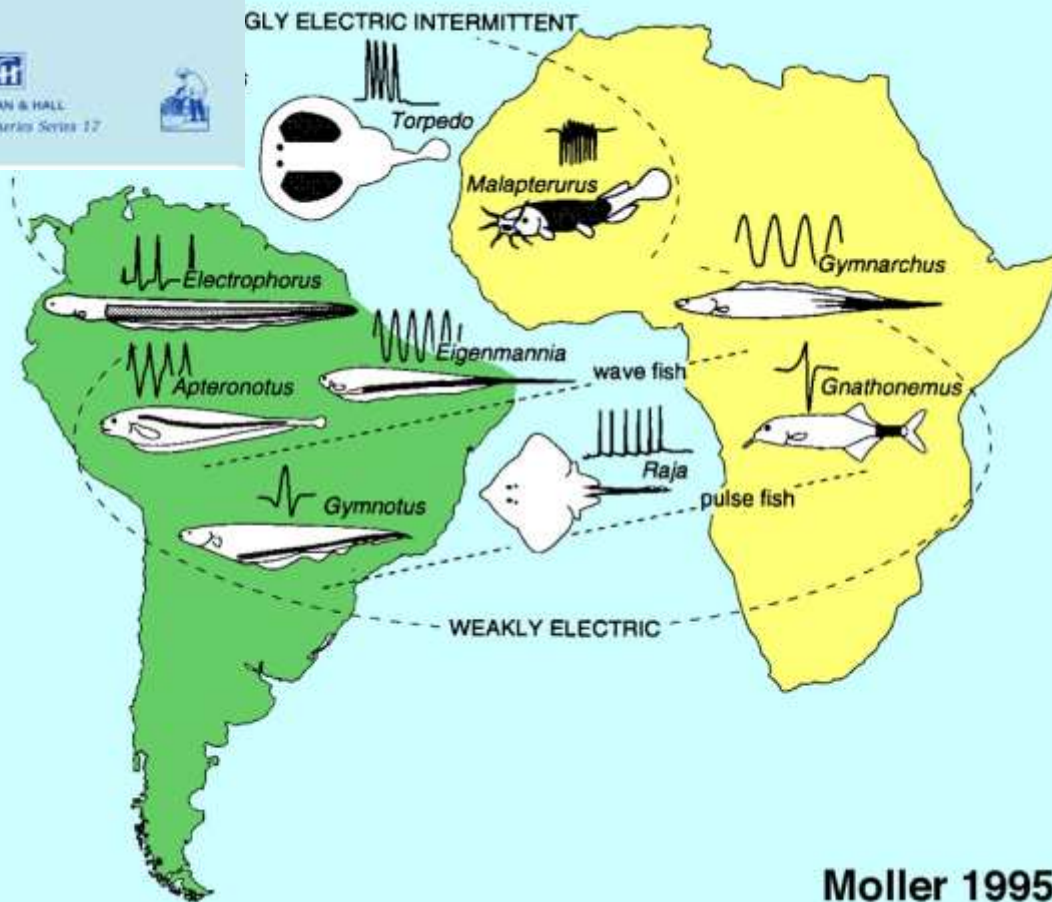
Electric Fishes

History and behavior



CHAPMAN & HALL
Fish and Fisheries Series 17

До наших работ предполагалось, что пресноводные электрические рыбы обитают только в Африке и Южной Америке



Электрические рыбы

Сильноэлектрические

Слабоэлектрические



Электрический скат
(Torpediniformes)
до 50 Ампер
Атлантика

Обыкновенные скаты
(Rajiformes)
все океаны



Электрический угорь
(Electrophoridae)
600 Вольт
Южная Америка

Гимнотобразные
(Gymnotiformes)
Южная Америка



Клюворылообразные
(Mormyriiformes)
Африка



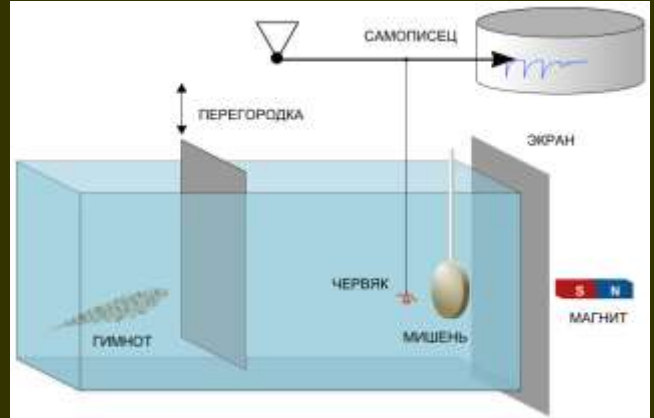
Электрический сом
(Malapteruridae)
более 300 Вольт
Африка

?



Южный звездочет
(Astroscopus)
5 Вольт, 1 Ампер
океаны

?



Электрические рыбы

Сильноэлектрические

Слабоэлектрические



Электрический скат
(Torpediniformes)
до 50 Ампер
Атлантика

Обыкновенные скаты
(Rajiformes)
все океаны



Электрический угорь
(Electrophoridae)
600 Вольт
Южная Америка

Гимнотообразные
(Gymnotiformes)
Южная Америка



Клюворылообразные
(Mormyriiformes)
Африка



Электрический сом
(Malapteruridae)
более 300 Вольт
Африка

Сомообразные
(Sisoriformes)
Азия, Африка

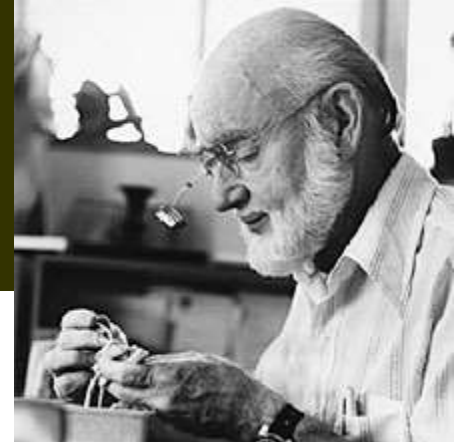


Южный звездочет
(Astroscopus)
5 Вольт, 1 Ампер
океаны

Морская корова
(*Uranoscopus scaber*)
Черное море



Особый интерес к электрическим рыбам с эпизодическими электрическими разрядами подчеркивается в программной статье Теодора Буллока о наиболее перспективных направлениях развития электроэкологии



The Journal of Experimental Biology 202, 1455–1458 (1999)
Printed in Great Britain © The Company of Biologists Limited 1999
JEB2094

THE FUTURE OF RESEARCH ON ELECTRORECEPTION AND ELECTROCOMMUNICATION

THEODORE HOLMES BULLOCK*

Department of Neurosciences, University of California, San Diego, La Jolla, CA 92093-0201, USA

*e-mail: tbullock@ucsd.edu

Accepted 2 March; published on WWW 21 April 1999

Summary

Beyond continuation of currently active areas, some less studied ones are selected for predictions of marked advance. (1) Most discoveries will be in cellular components and molecular mechanisms for different classes of receptor or central pathways. (2) More major taxa, possibly birds, reptiles or invertebrates, will be found to have electroreceptive species representing independent evolutionary 'inventions'. (3) Electric organs with weak and episodic electric discharges will be found in new taxa; first, among siluriforms. (4) New examples are to be expected, such as lampreys, where synchronized muscle action potentials sum to voltages in the range of weakly electric fish. Some of these will look like intermediates in

the evolution of electric organs. (5) Ethological significance will be found for a variety of known physiological features; e.g. uranoscopids, skates and weakly electric catfish with episodic electric discharges; electroreceptive ability of animals such as lampreys, chimaeras, lungfish, sturgeons, paddlefish and salamanders with Lorenzian-type ampullae; gymnotiform and mormyrid detection of the capacitive component of impedance. (6) The organization of some higher functions in the cerebellum and forebrain will gradually come to light.

Key words: electroreception, electrocommunication, brain organisation, complexity, cognition.



LogoSlovo.ru

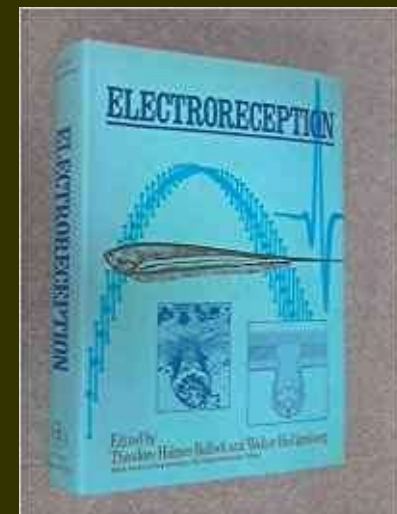
Список литературы к статье Теодора Буллока

1458 T. H. BULLOCK

References

- Baron, V. D. (1994a). Possible role of electroreception in the behavior of weakly electric fishes. *Sensory Syst.* 8, 217–224.
- Baron, V. D. (1994b). African *Clarias* catfish elicits long-lasting weak electric pulses. *Experientia* 50, 644–647.
- Baron, V. D. and Morshnev, K. S. (1998). About peculiarities of electric organ discharges of two species of synodontid (Mochokidae, Siluriformes). *Dokl. Acad. Sci.* 361 (in press).
- Baron, V. D., Morshnev, K. S., Olshansky, V. M. and Orlov, A. A. (1994). Electric organ discharges of two species of African catfish (*Synodontis*) during social behaviour. *Anim. Behav.* 48, 1472–1475.
- Baron, V. D., Orlov, A. A. and Golubtsov, A. S. (1996a). African catfishes. A new group of weakly electric fish. *Izvestiya RAN. Ser. Biol.* 1, 106–111 (in Russian).
- Baron, V. D., Orlov, A. A. and Golubtsov, A. S. (1996b). Discovery of electric discharges in the African catfish *Auchenoglanis occidentalis* (Siluriformes: Bagridae). *Dokl. Akad. Sci.* 349, 565–567 (in Russian).
- Bullock, T. H. and Northcutt, K. G. (1982). A new electroreceptive teleost: *Xenomystus nigri* (Osteoglossiformes: Notopteridae). *J. Comp. Physiol.* 148, 345–352.
- Hagedorn, M., Womble, M. and Finger, T. E. (1990). Synodontid catfish, a new group of weakly electric fish. Behavior and anatomy. *Brain Behav. Evol.* 35, 268–277.

- Kleerekoper, H. and Sibakin, K. (1956). An investigation of the electrical 'spike' potentials produced by the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in the water surrounding the head region. I. *J. Fish. Res. Bd Can.* 13, 373–383.
- Kleerekoper, H. and Sibakin, K. (1957). An investigation of the electrical 'spike' potentials produced by the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in the water surrounding the head region. *J. Fish. Res. Bd Can.* 14, 145–151.
- Mikhailenko, N. A. (1971). Biological significance and dynamics of electrical discharges in weak electric fishes of the Black Sea. *Zool. Zh.* 50, 1347–1352 (in Russian).
- Mountcastle, V. B. (1995). The evolution of ideas concerning the function of the neocortex. *Cerebral Cortex* 5, 289–295.
- Pickens, P. E. and McFarland, W. N. (1964). Electric discharge and associated behavior in the stargazer. *Anim. Behav.* 12, 362–367.
- Prechtl, J. C., Von der Emde, G., Wolfart, J., Karamürsel, S., Akoev, G. N., Andrianov, Y. N. and Bullock, T. H. (1998). Sensory processing in the pallium of a mormyrid fish. *J. Neurosci.* 18, 7381–7393.
- Scheich, H., Bullock, T. H. and Hamstra, R. H., Jr (1973). Coding properties of two classes of afferent nerve fibers: high-frequency electroreceptors in the electric fish, *Eigenmannia*. *J. Neurophysiol.* 36, 39–60.



Электрические рыбы

Сильноэлектрические

Слабоэлектрические



Электрический скат
(Torpediniformes)
до 50 Ампер
Атлантика

Обыкновенные скаты
(Rajiformes)
все океаны



Электрический угорь
(Electrophoridae)
600 Вольт
Южная Америка

Гимнотобразные
(Gymnotiformes)
Южная Америка



Клюворылообразные
(Mormyriiformes)
Африка



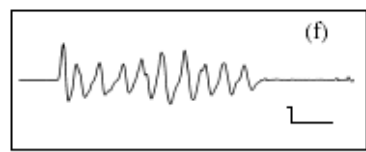
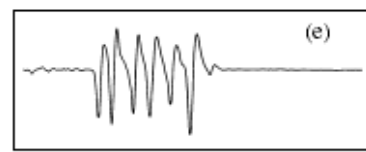
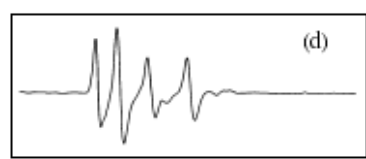
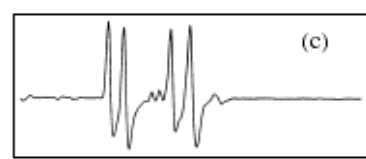
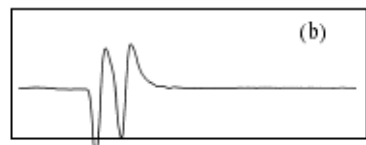
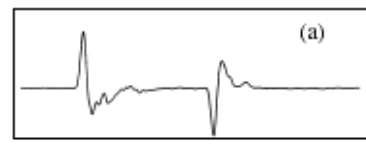
Электрический сом
(Malapteruridae)
более 300 Вольт
Африка

Сомообразные
(Siluriformes)
Азия, Африка



Южный звездочет
(Astroscopus)
5 Вольт. 1 Ампер
океаны

Морская корова
(*Uranoscopus scaber*)
Черное море



Discovery of Specialized
Electrogenenerating Activity in
Two Species of *Polypterus*
(Polypteriformes, Osteichthyes)

V. D. Baron and D. S. Pavlov



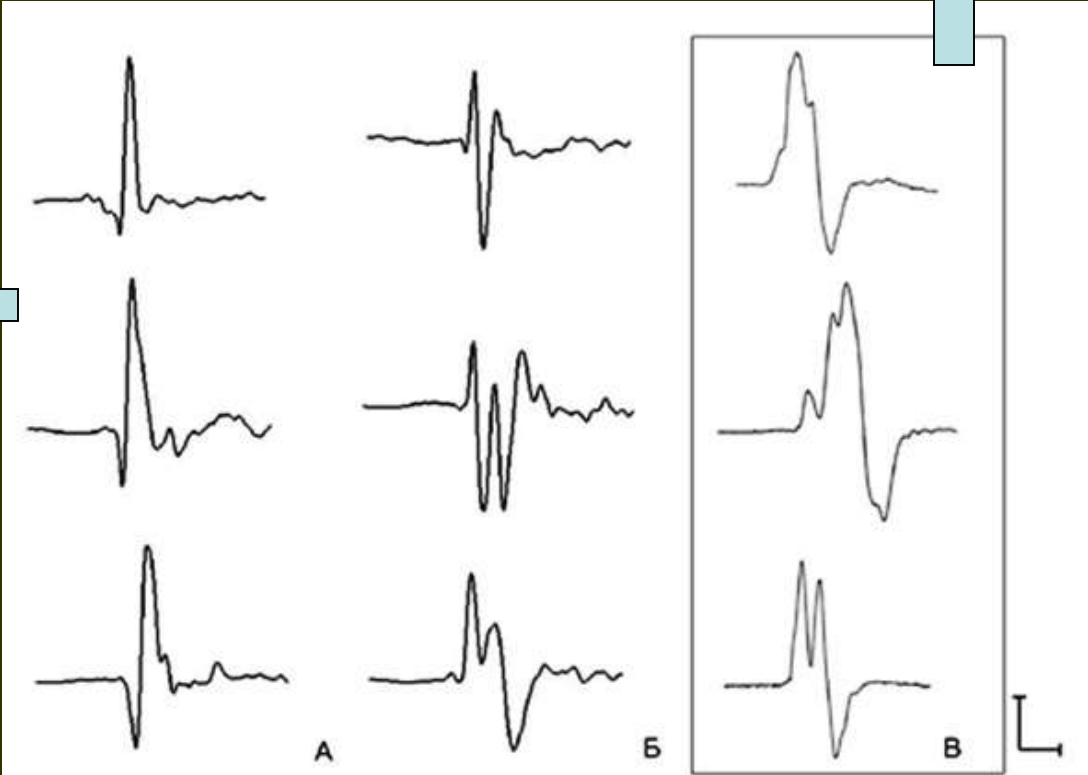
Мы зарегистрировали электрические разряды от представителя амфибий.



Protopterus aethiopicus



Chinese salamander
Andrias davidianus







Есть ли у нас шанс сохранить приоритет российской школы в этом научном направлении?

Dear Dr. Xue Wei

I am communicating with you because I have just been aware about your finding of electric discharges in salamanders.

As you may know, I have more than 30 years of experience studying EOs and electroreception in weakly electric fish (see attached publications). I wonder whether we can cooperate for studying some aspects of electrogenesis and electroreception in these salamanders.

In particular, are there specialized organs? do they use discharges for electrolocation? etc.

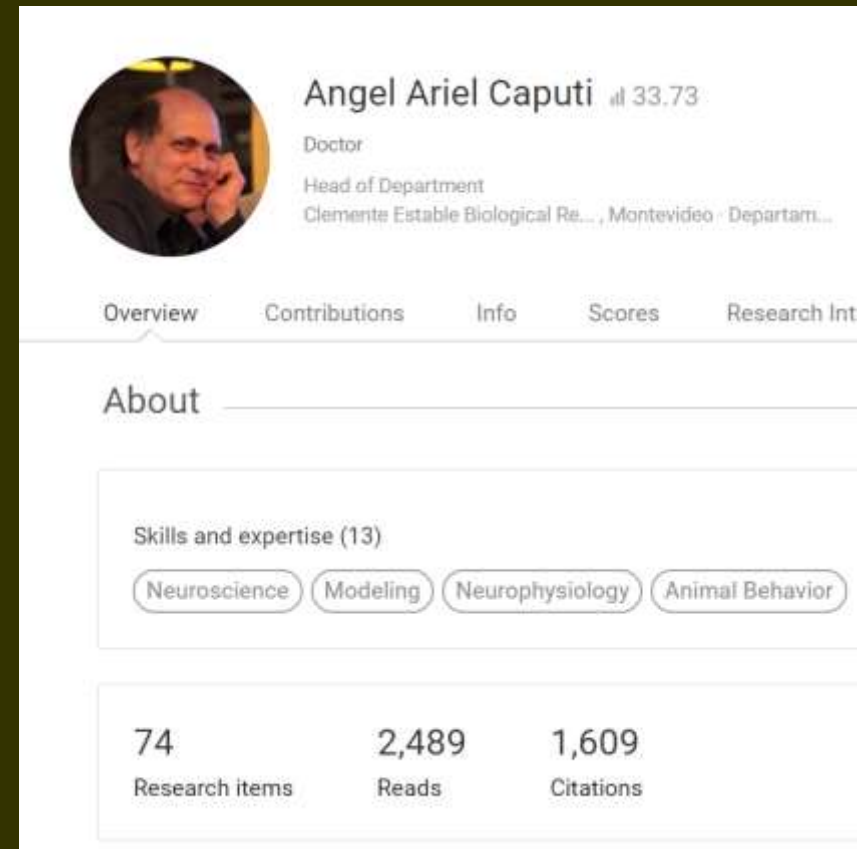
I am in Uruguay South America and I cannot travel abroad because of family reasons. However we have a well setup lab to address these questions.

Do you know whether there is a possible chinese-uruguayan scientific cooperation framework in which we could set up a research project?

I am copying this email to a friend from china now living in the US. Perhaps he could give us some advice.

Sincerely yours,

Angel Caputi



Angel Ariel Caputi ^{id} 33.73

Doctor
Head of Department
Clemente Estable Biological Re... , Montevideo · Departam...

Overview Contributions Info Scores Research Int

About

Skills and expertise (13)

Neuroscience Modeling Neurophysiology Animal Behavior

74	2,489	1,609
Research items	Reads	Citations

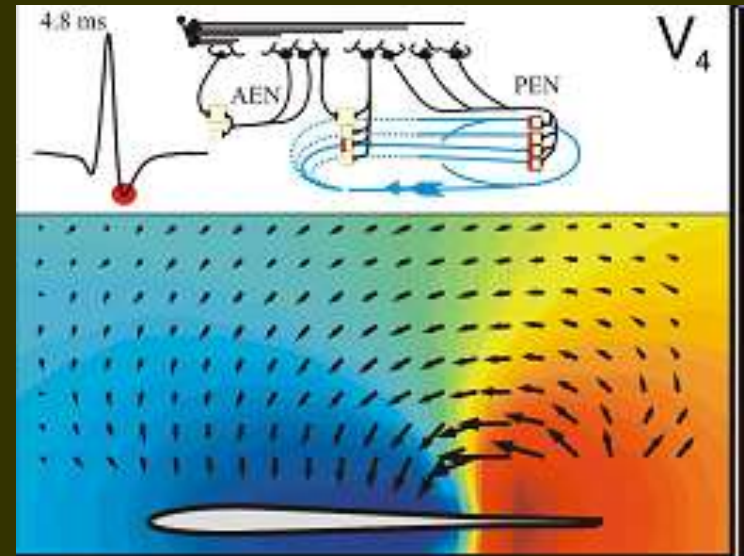
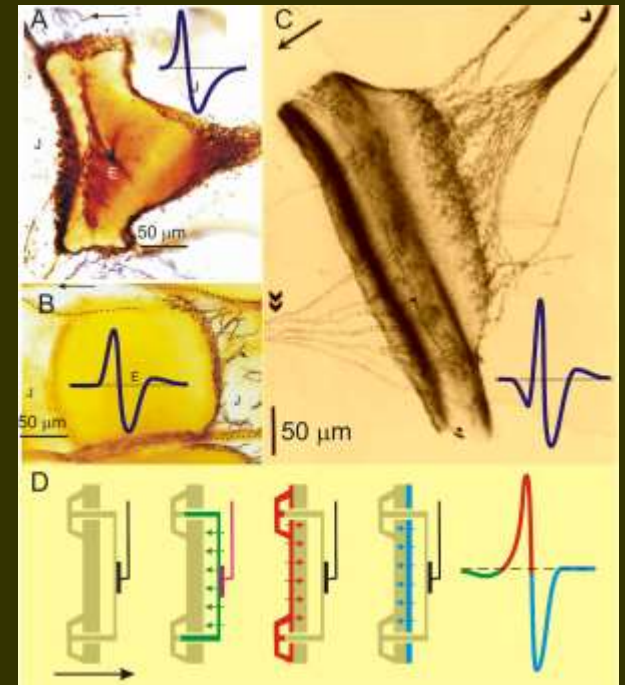
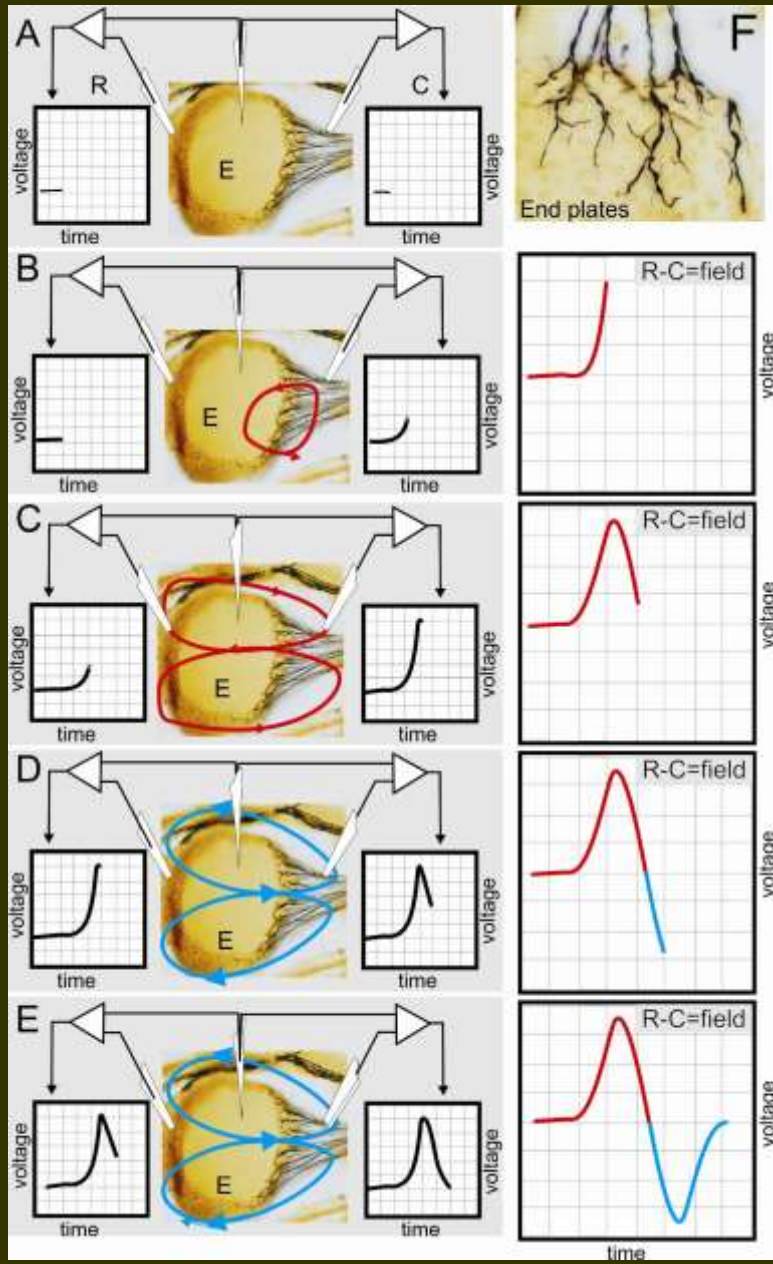
Clemente Estable Biological Research Institute

Department

Departamento de Neurociencias Integrativas y Computacionales



Иллюстрации к публикации А.Капути



Моделирование электрических рыб было крайне важным и плодотворным для становления классической электродинамики



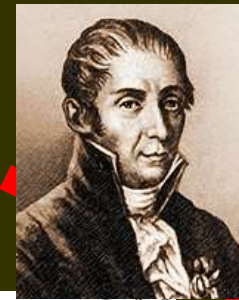
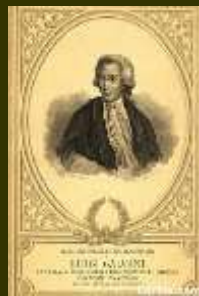
Джон Уолш



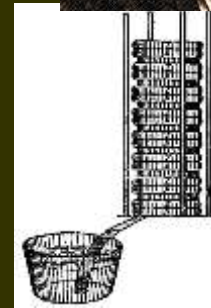
Генри Кавендиш,



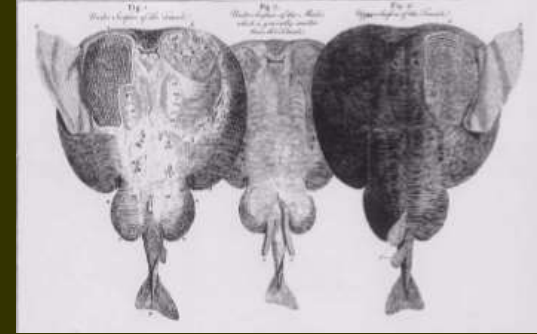
Открытия Л.Гальвани



Вольтов столб



Майкл Фарадей,





А. Вольта



«Этот прибор, более сходный по существу, как я покажу дальше, с естественным электрическим органом электрического ската или электрического угря и т. п., чем с лейденской банкой и известными электрическими батареями, я назову искусственным электрическим органом.»

Мы окружены множеством электрических приборов, ведущих свою родословную от Вольтова столба. Без электрического источника ни один из этих приборов не может работать



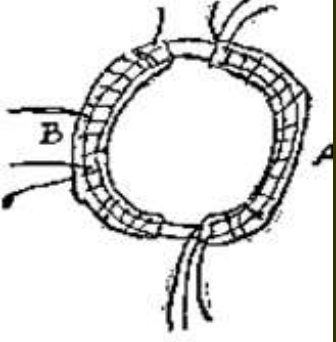
Даже Апокалипсис мы сегодня ассоциируем с отключением электричества



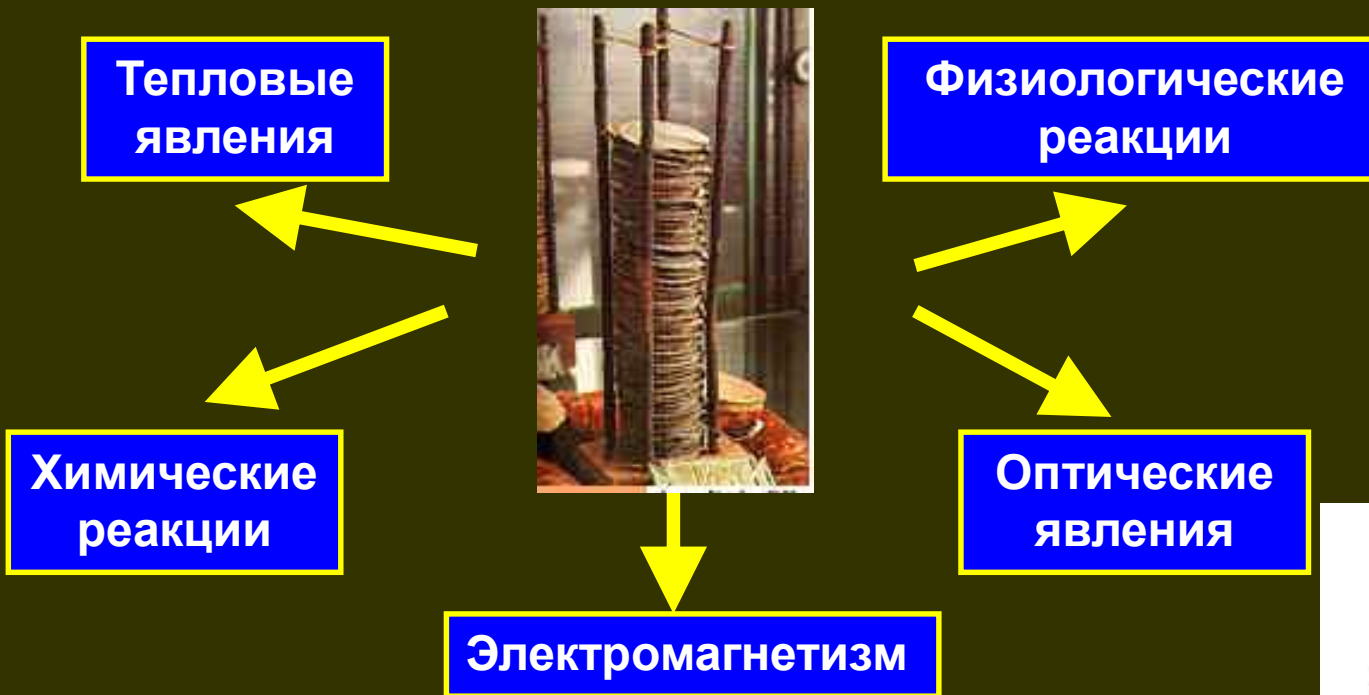
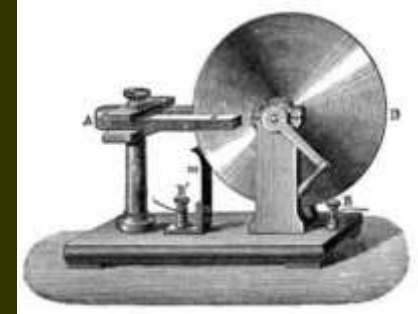
Все эти приборы ко времени
всеобщего признания заслуг Вольты
не существовали
не только как технические решения,
но и как осознанные задачи



В чем состояло утилитарное значение Вольты столба?



Главным утилитарным значением изобретения Вольтова столба или «Вольтаического аппарата» стала возможность постановки и осуществления множества научных и инженерных экспериментов. Вольтов столб привлек к изучению электричества внимание правителей и ученых. На создание разнообразных Вольтовых столбов тратились серьезные средства.



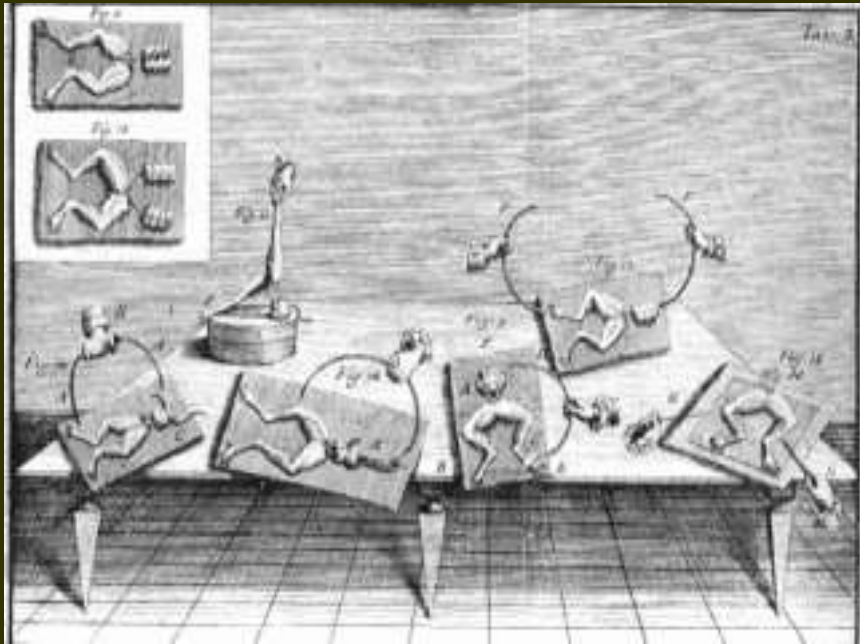
В истории наук имеются эпохи, отмеченные плодотворными открытиями, влекущими за собой множество других новых открытий. Таковой была, например, эпоха в конце предыдущего века, когда Вольта изобрел прибор, который справедливая признательность ученого мира посвятила его автору, присвоив ему название вольтова столба.



Почему Вольт пытался сделать источник электричества путем простого контакта разных металлов?

Он взял эту идею из экспериментов Гальвани.

**Обратите внимание: в лягушке нет разных металлов.
Разные металлы были в методике эксперимента Гальвани.**



26 сентября 1786 г.
Гальвани впервые
обнаружил
сокращение лапки
лягушки под
действием
разнородных
металлов

«Если вся дуга железная или крючок железный и если также проводящая пластина железная, то чаще всего сокращения либо отсутствуют, либо весьма незначительны. Если, однако, один из этих предметов железный, а другой - медный или же, что гораздо лучше, серебряный, то сокращения немедленно становились гораздо больше и гораздо продолжительнее»

Л.Гальвани «Трактат о силах электричества при мышечном движении»



Лючия Галеацци

Quella, non tu, che novo ardor vitale
In rana ignuda a disvelar pur giunse.

«Не тебе, а ей в препарированной лягушке
Удалось открыть новый жанр жизни»



"...гальваническое электричество и основанный на нем электромагнетизм настолько чужды прежней физике, что даже самый восторженный поклонник старой науки не мог бы указать в работах греческих или римских физиков какого-либо намека на представление о гальваническом элементе или об электромагните. Но еще важнее то обстоятельство что гальваническое электричество все сильнее влияло преобразующим образом на все остальные части физики, между тем как первый восторг, с которым были встречены в физике действия электричества от трения, испарился, как дым. ... То мировоззрение, которое мы считаем наиболее характерным и плодотворным для физики современности, учение о единстве сил природы, нашло в гальванизме наиболее сильную и наглядную поддержку ...»

Ф.Розенбергер История физики

“Тогда я зажегся невероятным усердием и страстным желанием исследовать это явление и вынести на свет то, что было в нем скрытого”
Л.Гальвани “Трактат о животном электричестве”



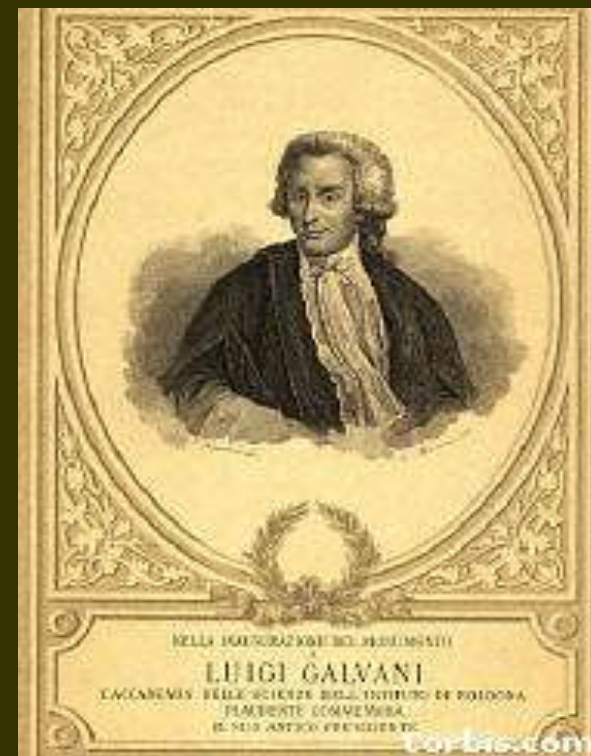
Трактат Л.Гальвани

Почему Гальвани не изобрел
«Вольтов столб»
или «Гальванический элемент»,
если он первый обнаружил
действие контакта двух металлов?

Гальвани интересовало нечто гораздо
большее, чем изобретение полезных
устройств – тайна жизненных сил.

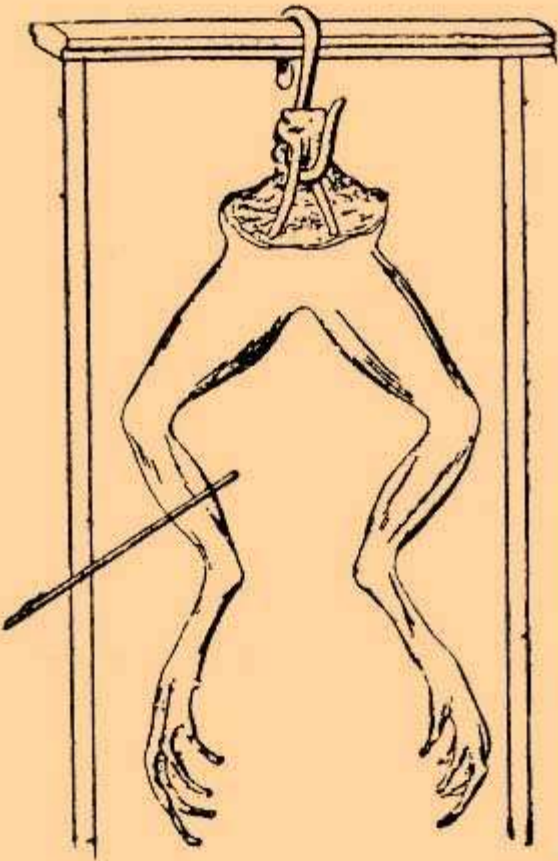
Благодаря Гальвани мир убедился в том,
что в любой клеточке, в любом органе чувств
любого живого существа есть электрические
явления и они играют существенную роль.

А контакт двух металлов всего лишь был
одним из факторов, влияющих на результаты.
Этот фактор Гальвани выявил, описал, и
продолжил свою основную работу.



Трактат Л.Гальвани

Важный момент: Вольтта сам непосредственно выполнил множество экспериментов над живыми организмами, повторяя и модифицируя опыты Гальвани



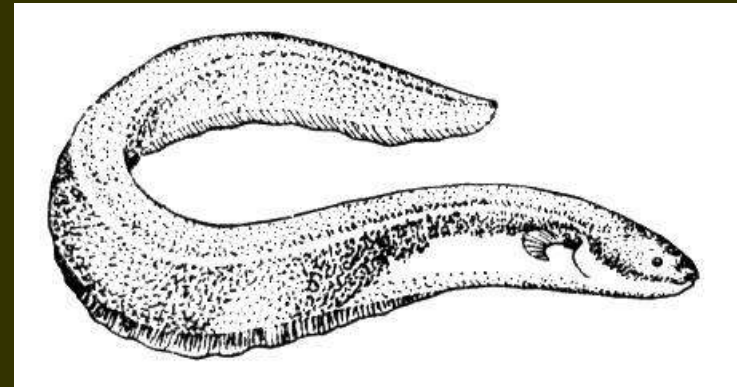
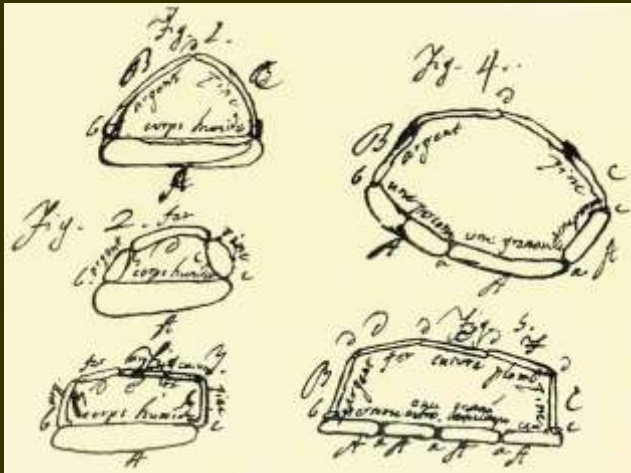
«Я делал их не только над лягушками, но и над угрями и над другими рыбами, над ящерицами, саламандрами, змеями и, что важнее, над мелкими теплокровными животными, именно над мышами и птицами»

А.Вольтта

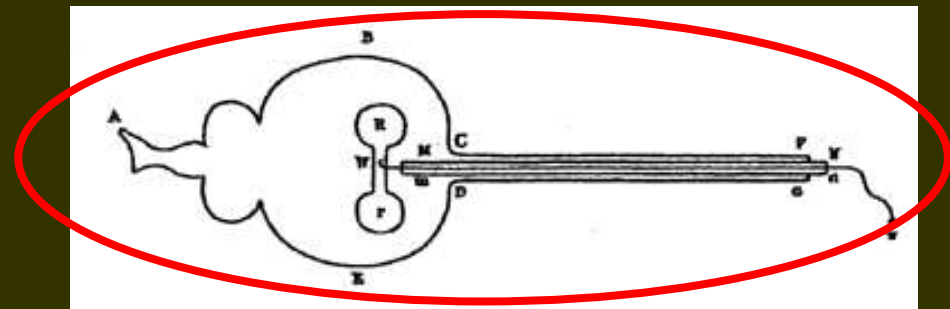
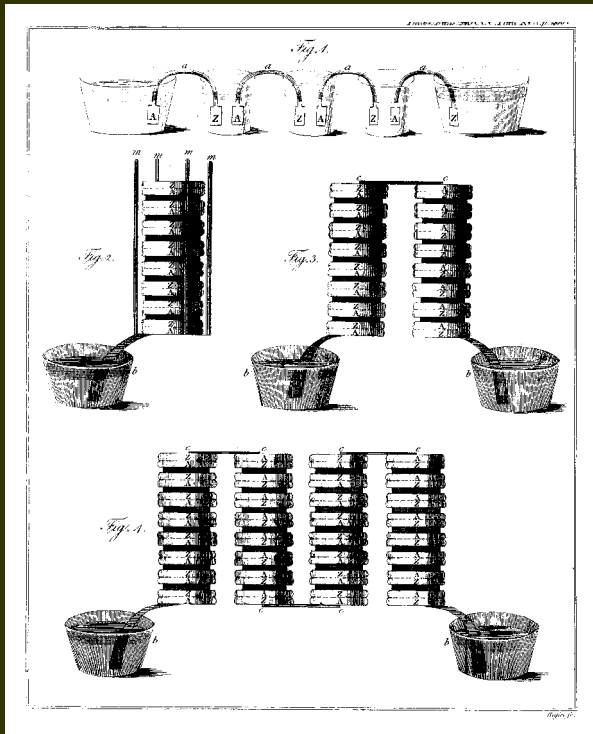
Фиг. 1. Опыт Гальвани.

Какую идею Вольты взял у электрических угрей?

металлические пары надо прокладывать мокрыми дисками



«Известно из анатомии, что электрический орган ската и электрического угря состоит из нескольких перепончатых столбов, наполненных от начала до конца большим количеством пластинок или пленок в виде **очень тонких дисков**, положенных один на другой с очень малыми промежутками между ними, где протекает, по-видимому, какая-то жидкость.»





Джон Уолш
(1726-1795)

Marco Piccolino

The Taming of the Ray

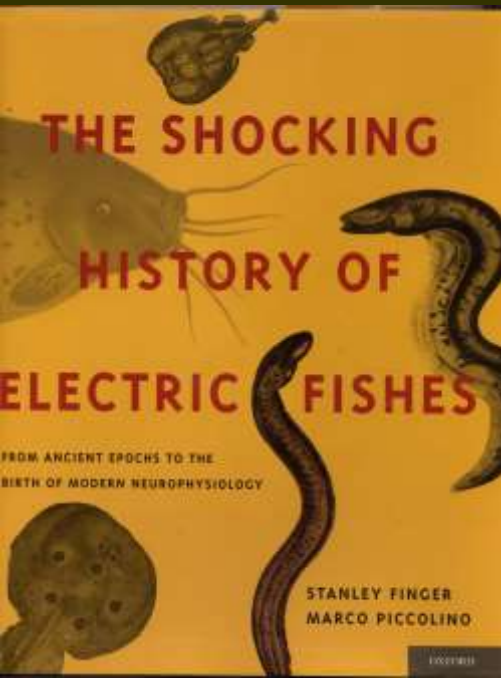
Electric Fish Research in the Enlightenment, from Walsh to Volta



Marco Piccolino

В XVIII веке было
высказано
предположение, что
Gymnotus и Torpedo –
электрические рыбы
и остро обсуждался
вопрос:

А могут ли рыбы быть
электрическими?



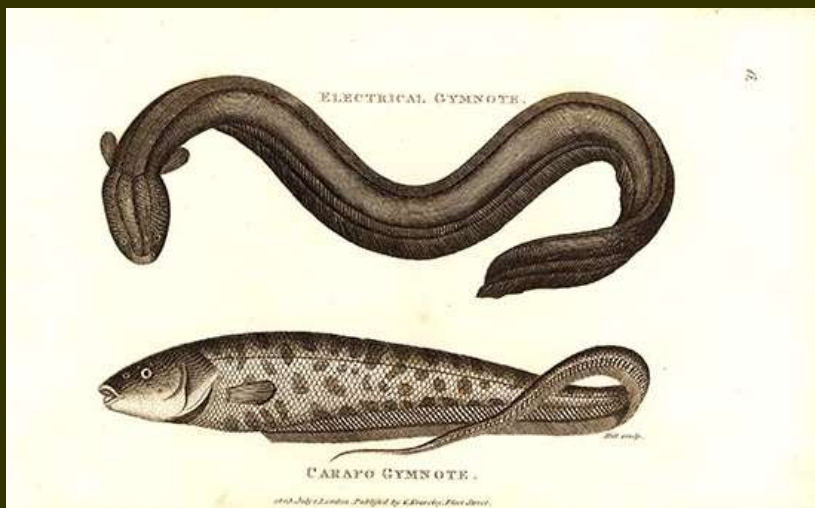


Шок от ската или от суринамского угря
очень похож по ощущениям
на шок от лейденской банки.



Достаточно ли этого, чтобы утверждать
об электрической природе воздействия угря или ската?

Угри и скаты обитают в воде. Вода - проводник.
Внутри проводников электрических явлений быть не может!



Electrical Eel (Gymnote) and Carapo
Gymnote (George Shaw (1808).

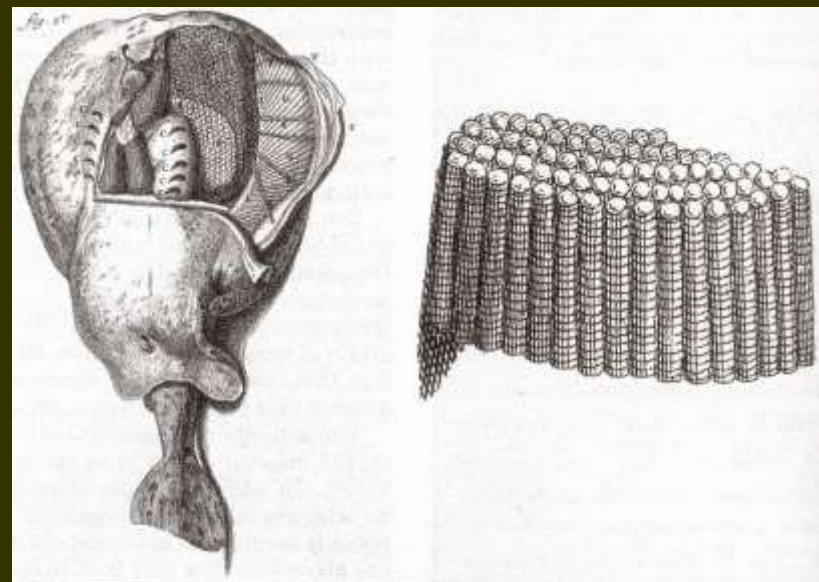
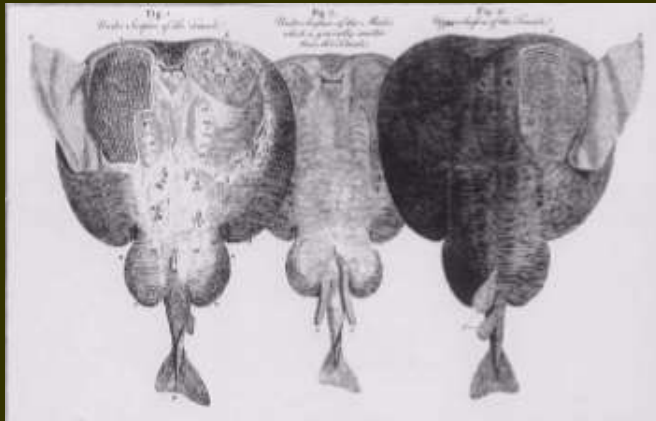


Иллюстрация Реомюра (1717) строения
электрического органа ската.

Генри Кавендиш

Отчет о попытках имитации воздействий Torpedo
с помощью электричества
Phil. Trans. Royal Soc., 1775, P.196-225



196 *Mr. CAVENDISH on the Torpedo.*

XII. *An Account of some Attempts to imitate the Effects of the Torpedo by Electricity.* By the Hon. Henry Cavendish, F. R. S.

R. Jan. 18,
1775. **A**LTHOUGH the proofs brought by Mr. WALSH, that the phenomena of the torpedo are produced by electricity, are such as leave little room for doubt; yet it must be confessed, that there are some circumstances, which at first sight seem scarcely to be reconciled with this supposition. I propose, therefore, to examine whether these circumstances are really incompatible with such an opinion; and to give an account of some attempts to imitate the effects of this animal by electricity.

It appears from Mr. WALSH's experiments, that the torpedo is not constantly electrical, but hath a power of throwing at pleasure a great quantity of electric fluid from one surface of those parts which he calls the electrical organs to the other; that is, from the upper surface to the lower, or from the lower to the upper, the experiments do not determine which; by which means a shock is produced in the body of a person who makes any part of the circuit which the fluid takes in its motion to restore the equilibrium.

One

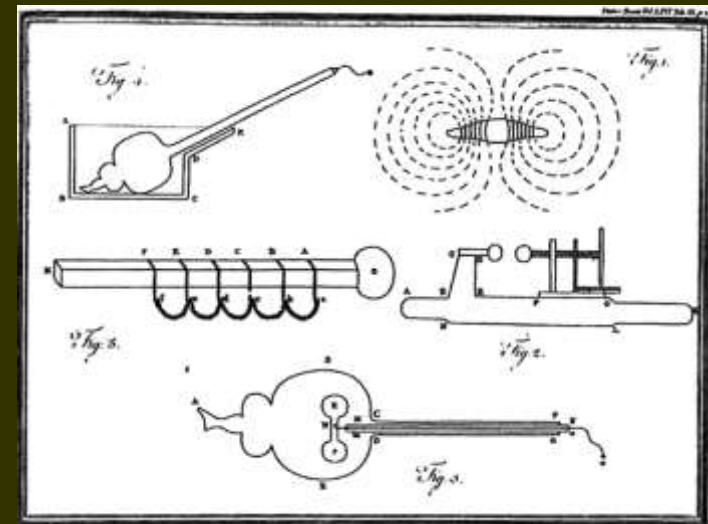
«Хотя доказательства Mr. Уолша, что воздействие Torpedo вызывается электричеством таковы, что оставляют мало места сомнениям, пока следует сознаться, что имеются некоторые обстоятельства, которые на первый взгляд кажутся с трудом согласовываются с такой гипотезой. Я предлагаю поэтому исследовать действительно ли эти обстоятельства реально несовместимы с таким взглядом и дать отчет о некоторых попытках имитировать действия этих животных электричеством.»

The second difficulty is, that no one hath ever perceived the shock to be accompanied with any spark or light, or with the least degree of attraction or repulsion.

- Почему ток от ската протекает через тело человека, если гораздо легче ему протечь через воду?
- Почему во время разряда рыб не наблюдаются искры, свечение, притяжения и отталкивания?
- Можно ли сделать такую модель ската, от которой мы будем чувствовать электрические разряды в воде?
- Чей разряд сильнее – натурального ската или лейденской банки, заряженной от электрофорной машины и соединенной с моделью ската?



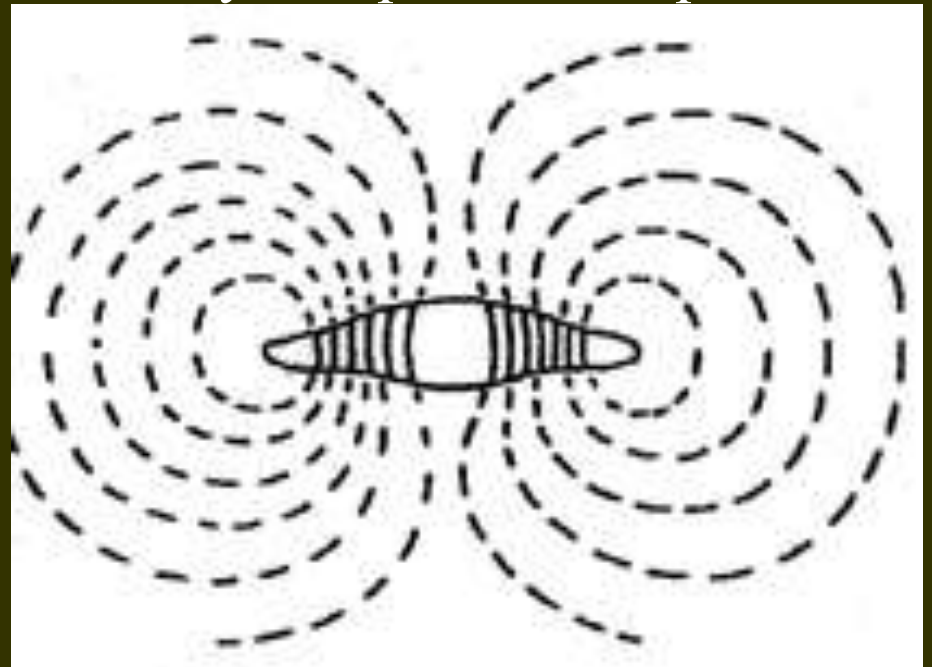
It appears from some experiments, of which I propose shortly to lay an account before this Society, that iron wire conducts about 400 million times better than rain or distilled water; that is, the electricity meets with no more resistance in passing through a piece of iron wire 400,000,000 inches long, than through a column of water of the same diameter only one inch long. Sea-water, or a solution of one part of salt in 30 of water, conducts 100 times, and a saturated solution of sea salt about 720 times better than rain water.

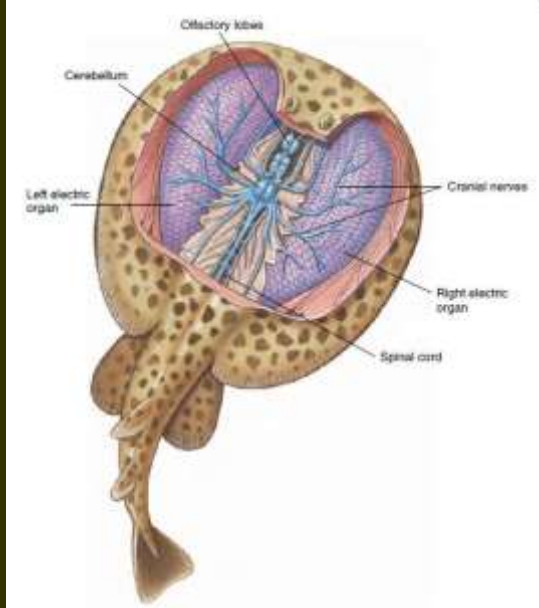


Как течет электрический ток?

organs than the other. On the same principle, if the torpedo is immersed in water, the fluid will pass through the water in all directions, and that even to great distances from its body, as is represented in fig. 1. where the full lines represent the section of its body, and the dotted lines the direction of the electric fluid; but it must be observed,

«По тому же принципу, если скат помещен в воду, электрический флюид будет протекать во всех направлениях и даже на большие расстояния от тела ската, как это показано на рис. 1, где сплошные линии означают сечение тела ската, а пунктирные – направления электрической жидкости.»





Электрический скат:

ток – 30А,

напряжение **50 В**,

длительность разряда – **3 мс.**

$R = U/I = 1.5 \text{ Ом}$,

$C = RC/R = 2000 \text{ мкФ}$

$Q = CU = \mathbf{0.1 \text{ Кл}}$



Лейденская банка:

Емкость одной банки $10\,000 \text{ пФ} = 10 \text{ нФ}$

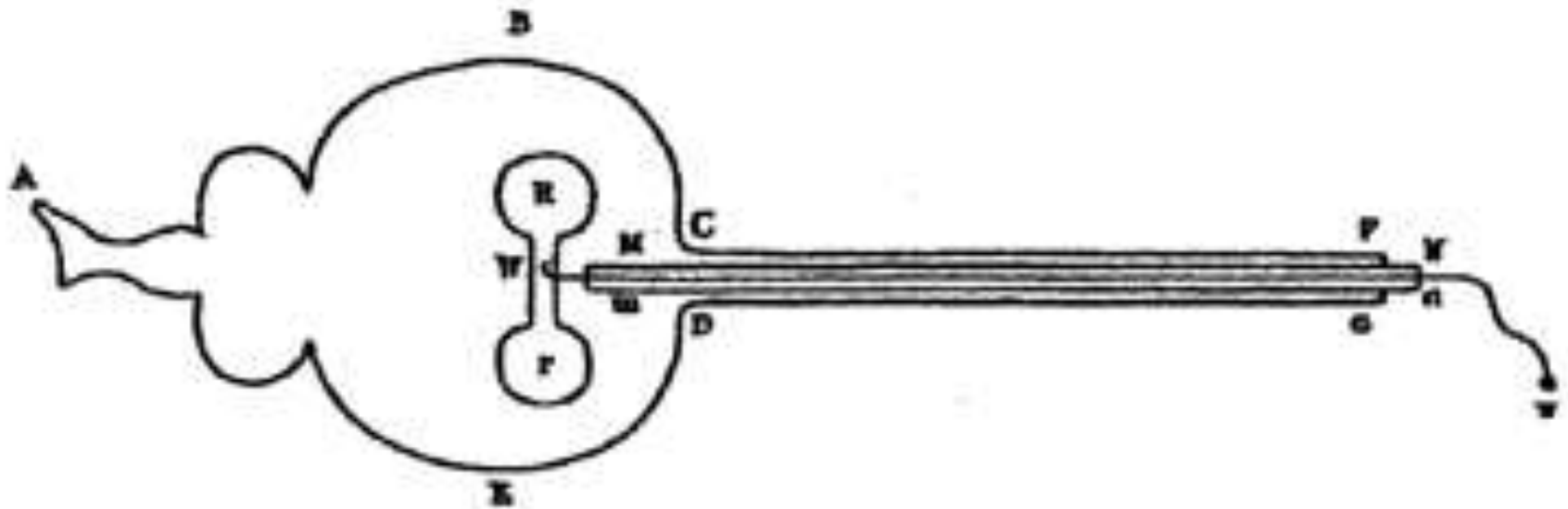
Емкость батареи из 50 банок – 500 нФ

Заряд при напряжении **20 кВ – 0.1 Кл**

Время разряда батареи из 50 банок

на нагрузку 1.5 Ом – **0.75 микросекунды**

Разница емкостей 4 000 раз!



Физическая модель ската, изготовленная Кавендишем.
Электроды сделаны из сплава свинца и олова (pewter).

Первая модель сделана из дерева.

Во второй **более удачной** модели
«тело» ската сделано из слоев кожи,
вымоченных в морской воде.

**Могла ли эта модель представлять конденсатор
с требуемой емкостью порядка 2000 мкФ?**

МИХАИЛ ФАРАДЕЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

ТОМ II
ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
А. В. ЯКОБОВОЙ
КОММЕНТАРИИ И РЕДАКЦИЯ
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АКАДЕМИИ НАУК СССР
ПРОФ. Т. П. КРАВЦА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СС
1954

*Раздел 23. Заключение о характере направления электрической
силы у электрического угля.*

Поступило 15 ноября. Доложено 6 декабря 1838 г.

Эксперименты М. Фарадея
с электрическим углем

1838

ПЯТНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

*Раздел 23. Заключение о характере направления электрической
силы у электрического угля.*

Поступило 15 ноября. Доложено 6 декабря 1838 г.

РАЗДЕЛ 23

Заключение о характере направления электрической силы
у электрического угля

1749. Как ни удивительны законы и явления электриче-
ства, когда они открываются нам в неорганической, или
мертвой, материи, интерес их едва ли может идти в срав-
нение с тем, который присущ той же силе, когда она
связана с нервной системой и с жизнью; и хотя мрак, кото-
рый в настоящее время окружает вопрос, может пока что

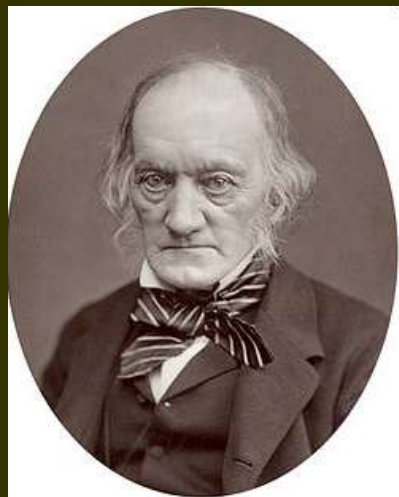
1749. Как ни удивительны законы и явления электриче-
ства, когда они открываются нам в неорганической, или
мертвой, материи, интерес их едва ли может идти в срав-
нение с тем, который присущ той же силе, когда она
связана с нервной системой и с жизнью; и хотя мрак, кото-
рый в настоящее время окружает вопрос, может пока что
затмить и его значение, всякое продвижение в нашем зна-
нии об этой могущественной силе в ее отношении к инерт-
ным предметам помогает нам рассеять этот мрак и выявить
более ощутимо чрезвычайный интерес этой важнейшей отрасли
физической науки. В самом деле, мы находимся только на
пороге того, что человеку дозволено знать об этом пред-
мете; и те многие выдающиеся ученые, которые помогли
выяснению этого вопроса, до самого последнего момента
чувствовали, как это весьма очевидно по их высказываниям,
что дело обстоит именно так.

ПОМОЩНИКИ:

«С этим угрем при любезной помощи г. Брэдли из указанной Галлерей, г. Гассио, а иногда и других господ, как-то профессоров **Даниеля, Оуена и Уитстона**, я получил полное доказательство тождественности его силы с обычным электричеством»



Джон Фредерик
Даниэль

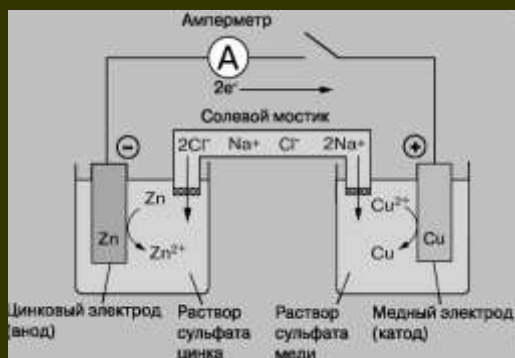


Ричард Оуэн — английский
зоолог и палеонтолог.

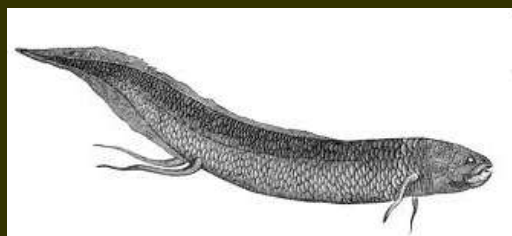


Чарльз Уитстон

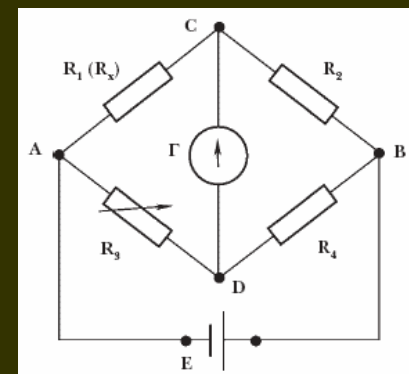
Рыцарь-командор ордена Бани.
В 1888 году награждён почетной
Медалью Карла Линнея.



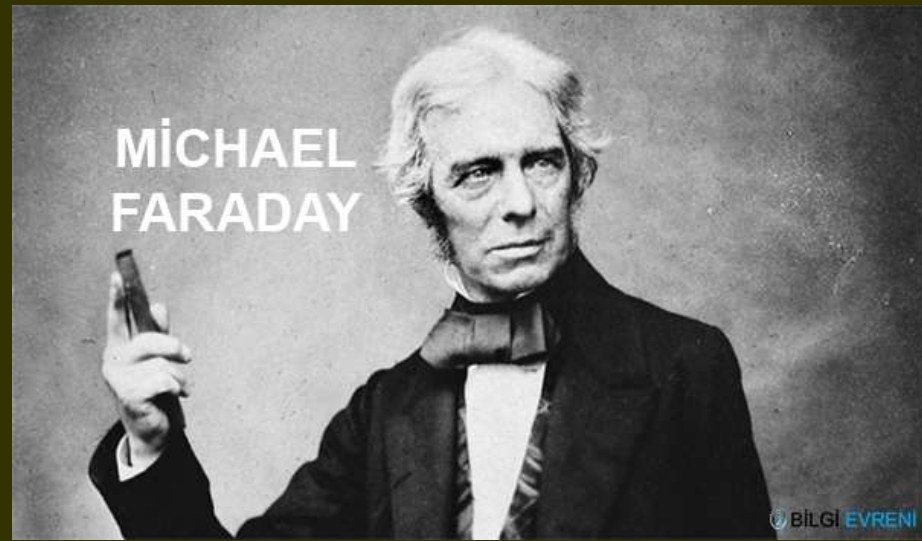
Гальванический
элемент Даниэля



Protopterus



мост Уитстона



1792. Опыт, который я имею смелость предложить, состоит в следующем: если угорь или скат был утомлен частым действием своего электрического органа, то можно ли, пропуская через него токи, по силе подобные тем, которые он сам испускает, или другой степени силы, постоянные или прерывные и в том же направлении, как и те, которые он испускает, восстановить его способность и силы быстрее, чем если предоставить его естественному отдыху?

М.Фарадей



ШЕСТНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

Раздел 24. Об источнике мощности гальванического элемента
Глава I. Возбуждающие электролиты и т. д. — проводники термо- и вообще слабых токов. Глава II. Неактивные проводящие цепи, содержащие жидкость или электролит. Глава III. Активные цепи, возбуждаемые раствором сернистого калия.

Поступило 23 января. Положено 6 февраля 1840 г.

РАЗДЕЛ 24

Об источнике мощности гальванического элемента

1796. Что является источником мощности в гальваническом элементе? — Этот вопрос в настоящее время имеет чрезвычайное значение для теории и для развития электрической науки. Мнения относительно этого различны, но самыми значительными являются два, из которых первое находит источник мощности в контакте, а второе — в химической силе. Спор между ними касается самых основных принципов электрического действия, ибо мнения настолько различны, что два человека, соответственно принявшие их, принуждены в дальнейшем расходиться по всем пунктам, относящимся к возможной и глубокой природе агента, или силы, от которой зависит явление гальванического элемента.

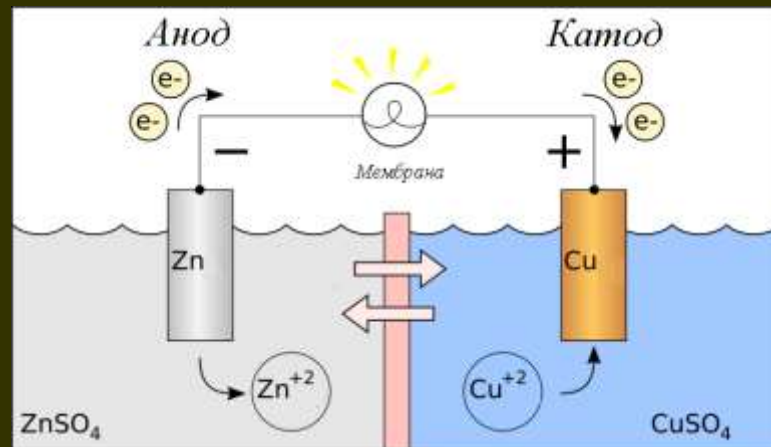
1797. Теория контакта принадлежит Вольте, великому изобретателю самого элемента; с его времени она поддерживалась целым сонмом ученых, среди которых в последнее время стоят такие люди, как Пфафф, Марианини, Фехнер, Замбони, Маттеуччи, Карстен, Бушарда, а в отношении воз-



1837



Джон Фредерик
Даниэль



Almapater44

Гальванический элемент Даниэля

Торжество бионического моделирования электрических рыб



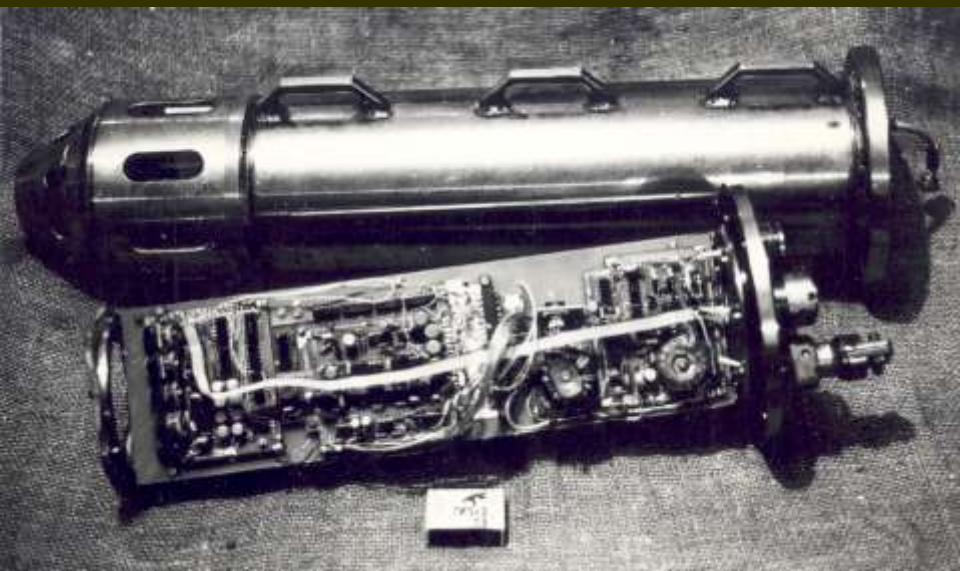
А. Вольт



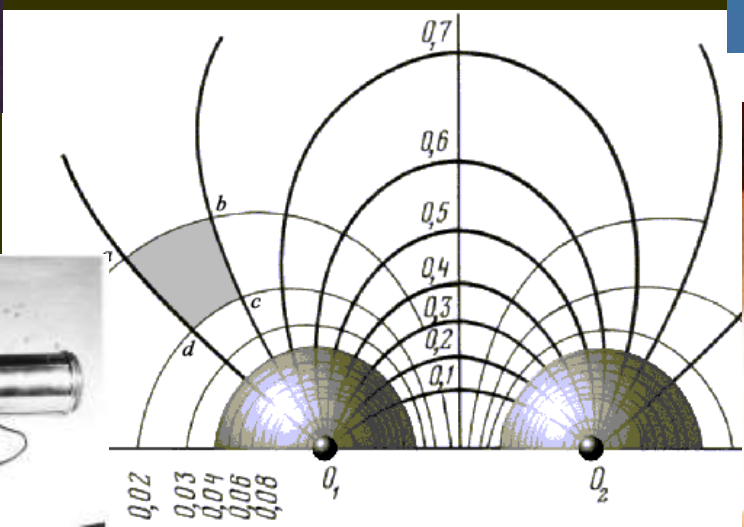
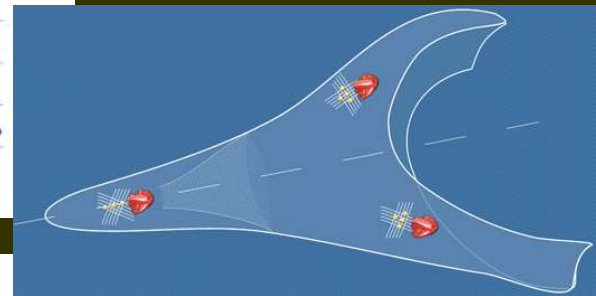
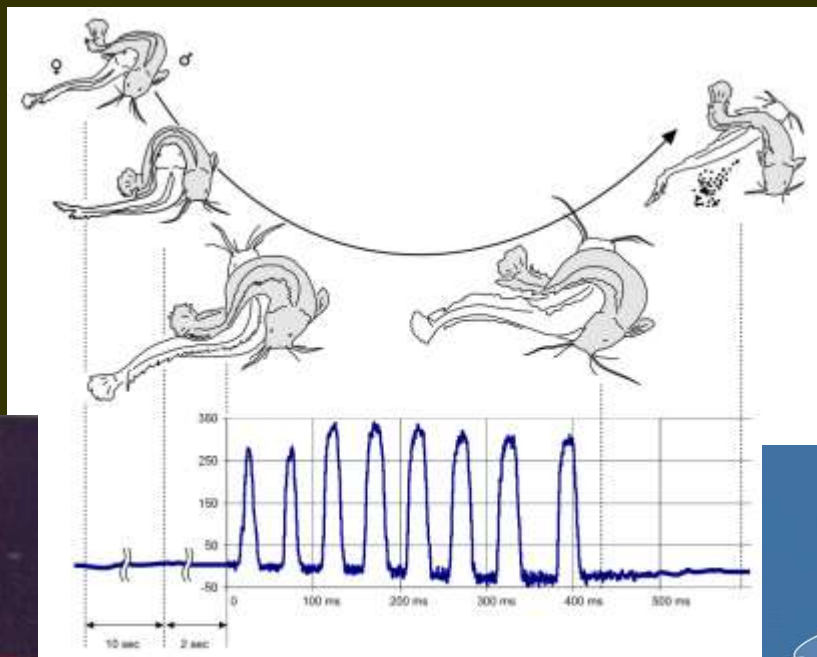
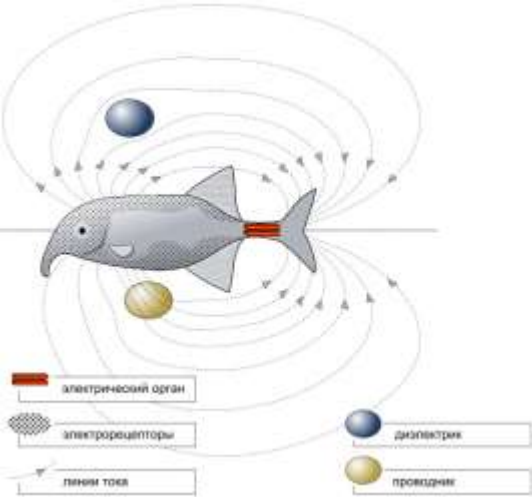
«Этот прибор, более сходный по существу, как я покажу дальше, с естественным электрическим органом электрического ската или электрического угря и т. п., чем с лейденской банкой и известными электрическими батареями, я назову искусственным электрическим органом.»



Бионическое моделирование электрических рыб
(рыба как электрический диполь)



Бионика – это не наука и не техника.
 Бионика – это методология экспорта
 идей из биологии в технику





БИОНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСИСТЕМ СЛАБОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЫБ



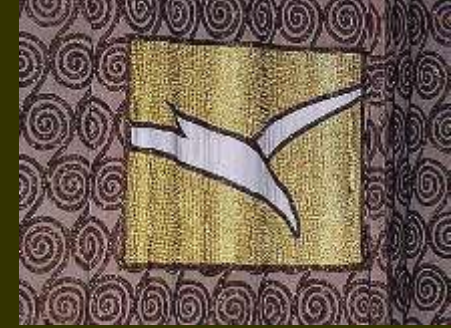
Лауреат Государственной премии СССР,
д.б.н., проф. В.Р.Протасов

The collage features several key elements:

- Top Left:** A book cover with a blue and black abstract pattern, titled "ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОКОЛОГИЮ" (Introduction to Electroecology) by V.R. Protasov, A.I. Bondaruk, and V.M. Opytsanskiy.
- Top Right:** A book cover titled "Бионическое моделирование электросистем слабоэлектрических рыб" (Bio-inspired modeling of electrical systems of weakly electric fish) by V.M. Opytsanskiy, featuring an illustration of a fish.
- Center:** A photograph of a computer monitor displaying a waveform, with two red plastic fish heads connected to it by thin wires, illustrating the experimental setup.
- Background:** Multiple copies of Soviet-era "АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО" (Author's Certificate) and "ПАТЕНТ" (Patent) documents, each with a red starburst seal, indicating the intellectual property of the research.
- Bottom Right:** A technical diagram showing a circular component with internal wiring and connections, likely a schematic of the modeled electroreceptive organ.



Очевидная с виду идея
«взять из природы и сделать также» -
при более внимательном рассмотрении
часто оказывается ложной.
В большинстве случаев мы ищем не
прямую метафору, а обратную.

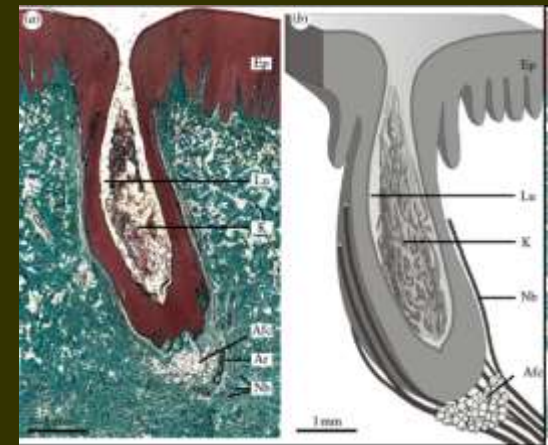


К природным объектам не прилагается
«техническая документация».

Чтобы распознать какую-либо особенность
надо общаться со специалистами по данному объекту .

Далеко не факт, что специалисты захотят общаться.

Далеко не факт, что Вы их поймете —
они все говорят на своих языках.



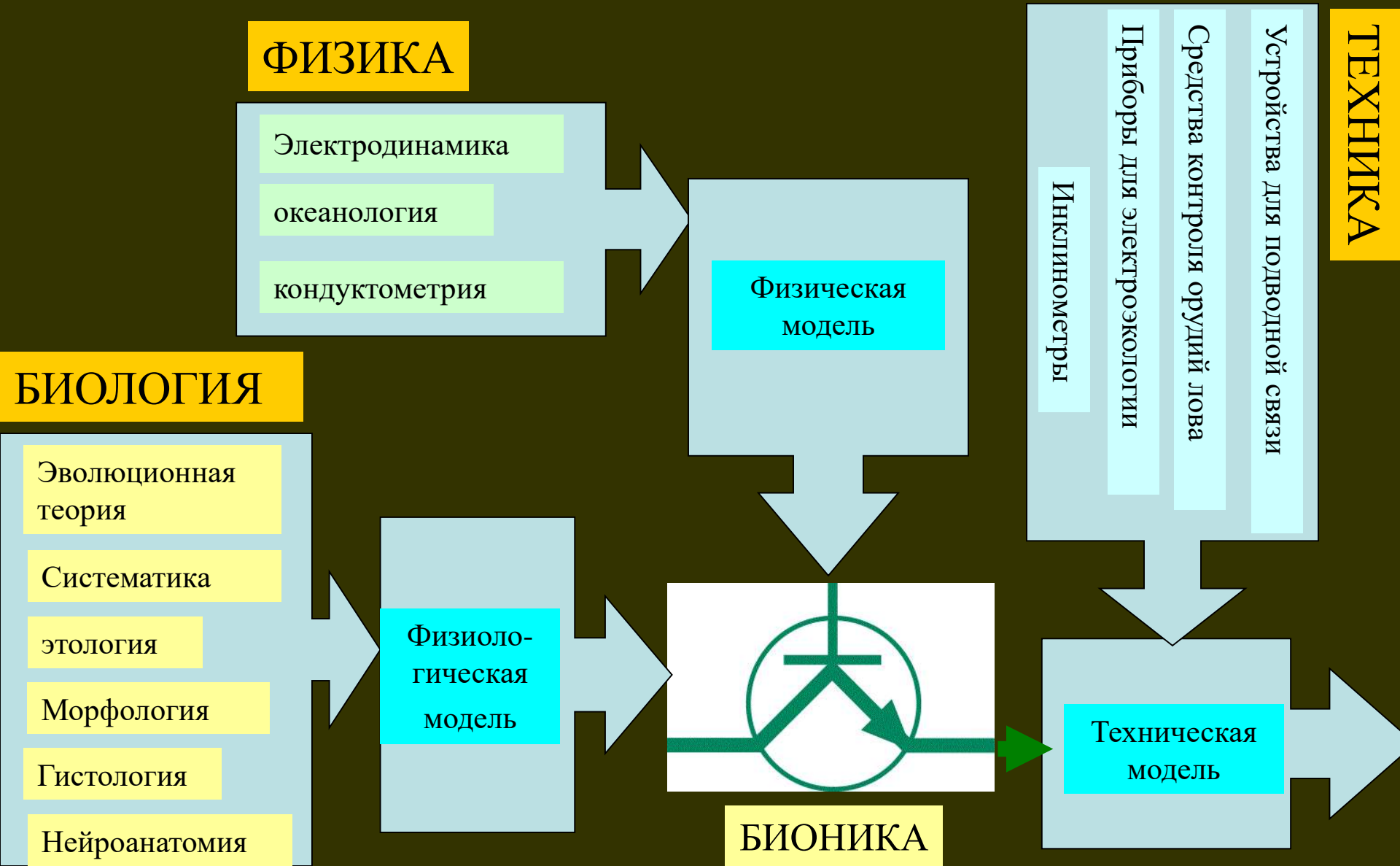
baryglobo.ru

Как правило у практической задачи и природного аналога
разные масштабы.

Для согласования масштабов надо пропустить идею через физико-
математический анализ. Ответ может оказаться отрицательным:

Даже очень точная модель мухи,
выполненная в масштабе слона,
обладает плохими летными качествами.

Длинные дороги бионики проходят по чужим огородам,
причем поперек заборов.
Хозяева огородов далеко не всегда вам рады.



ДИНАМИКА

ПОЛЕ

$$E_r = [I/2\pi(\sigma + j\omega\epsilon)] \times (1/r^3) \times \cos\theta \times (1 + \gamma r) e^{-\gamma r}$$

КОРОТКОГО

$$E_\theta = [I/4\pi(\sigma + j\omega\epsilon)] \times (1/r^3) \times \sin\theta \times [1 + \gamma r + (\gamma r)^2] e^{-\gamma r}$$

ДИПОЛЯ

$$H_\varphi = (I/4\pi) \times (1/r^2) \times \sin\theta \times (1 + \gamma r) e^{-\gamma r}$$

КОНСТАНТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ

$$\gamma = \sqrt{-\epsilon\mu\omega^2 + i\omega\mu\sigma}$$

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СРЕДА

Токи проводимости ($j_{\text{пр}} = \sigma E$) пренебрежимо малы по сравнению с токами смещения, т.е. $\omega \epsilon \gg \sigma$ или $\omega \gg 1/\tau$, $\tau = \epsilon/\sigma$ - время релаксации.

$$\gamma \approx i\omega \sqrt{\epsilon\mu} = i(2\pi/\lambda)$$

Характерный масштаб – длина волны (λ). На расстоянии λ индуктивные и емкостные свойства среды проявляются в равной мере. Резистивные свойства среды на расстоянии одной длины волны не сказываются.

Существует волновая зона, в которой перенос энергии определяется потоком вектора Пойнтинга.

Рост частоты может существенно улучшить распространение сигнала. Возможно существование узких диаграмм направленности и использование очень высоких частот. Целесообразно применение несущей частоты и квазигармонических сигналов.

ПРОВОДЯЩАЯ СРЕДА

Токи смещения ($j_{\text{см}} = dD/dt = i\omega \epsilon E$) пренебрежимо малы по сравнению с токами проводимости, т.е. $\omega \ll 1/\tau$

$$\gamma \approx \sqrt{i\omega\mu\sigma} = (1+i) \sqrt{i\omega\mu\sigma} = (1+i)/\delta$$

Характерный масштаб – толщина скин-слоя (δ). На расстоянии δ резистивные и индуктивные свойства среды проявляются в соизмеримой степени, а емкостные – не сказываются.

Не существует волновой зоны. На любых расстояниях от источника поток вектора Пойнтинга меньше Джоулевых потерь.

Рост частоты существенно ухудшает распространение сигнала. Невозможно существование узких диаграмм направленности и использование очень высоких частот. Нецелесообразно применение несущей частоты и квазигармонических сигналов.

Поле в безграничной среде

Уравнения Зоммерфельда:

ПОЛЕ

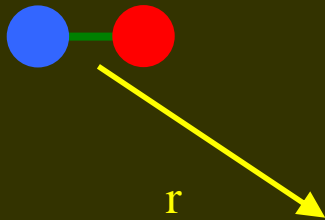
$$E_r = [I l / 2 \pi (\sigma + j \omega \epsilon)] \times (1/r^3) \times \cos \theta \times (1 + \gamma r) e^{-\gamma r}$$

КОРОТКОГО

$$E_\theta = [I l / 4 \pi (\sigma + j \omega \epsilon)] \times (1/r^3) \times \sin \theta \times [1 + \gamma r + (\gamma r)^2] e^{-\gamma r}$$

ДИПОЛЯ

$$H_\phi = (I l / 4 \pi) \times (1/r^2) \times \sin \theta \times (1 + \gamma r) e^{-\gamma r}$$



КОНСТАНТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ $\gamma = \sqrt{-\epsilon \mu \omega^2 + i \omega \mu \sigma}$

Статика ($\omega = 0$):

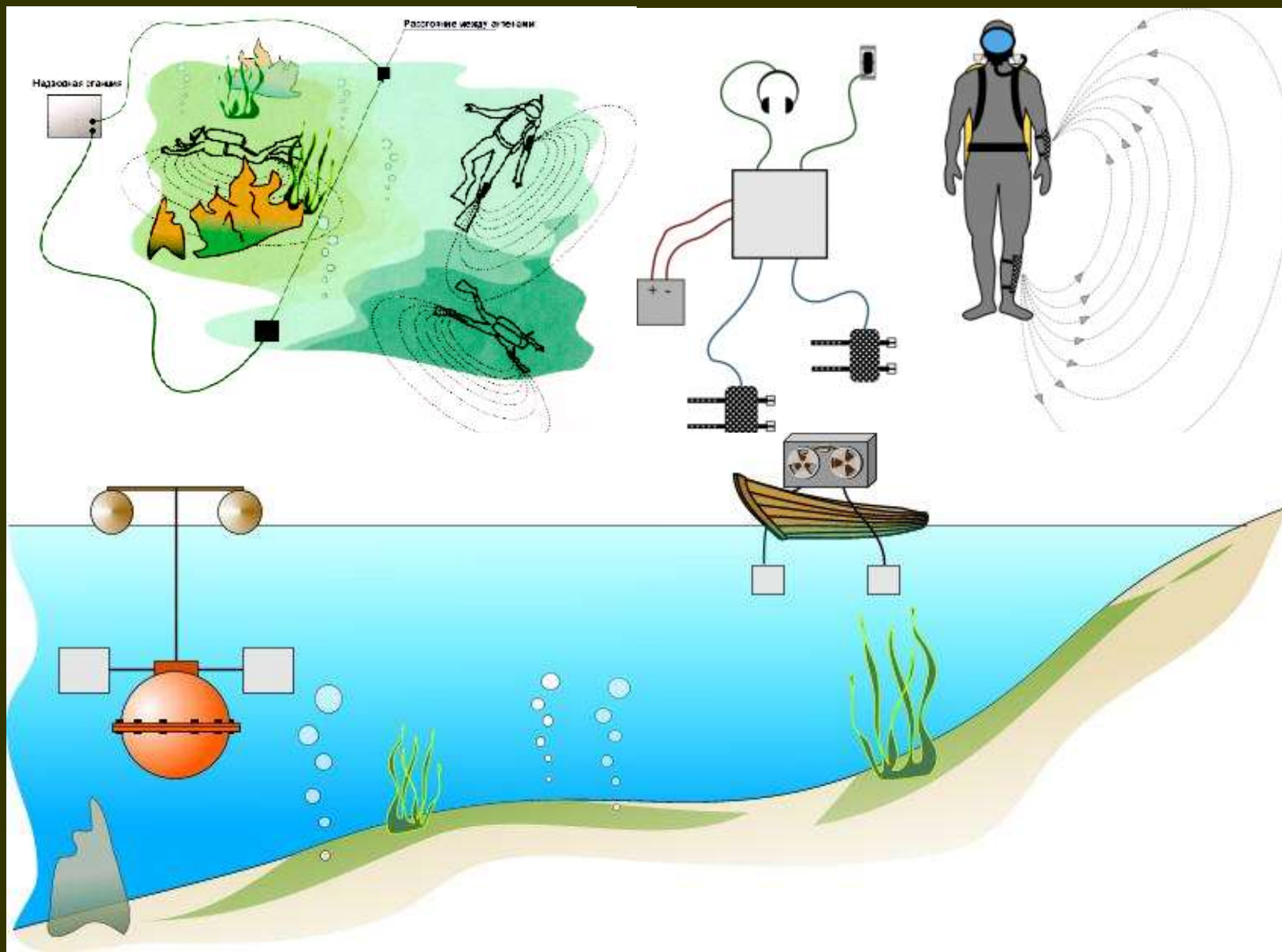
$$E = (I l / 2 \pi \sigma) / r^3$$

Пример: $I = 1 \text{ A}$, $l = 1 \text{ м}$, $\sigma = 4 \text{ См/м}$

E (мкВ/м)

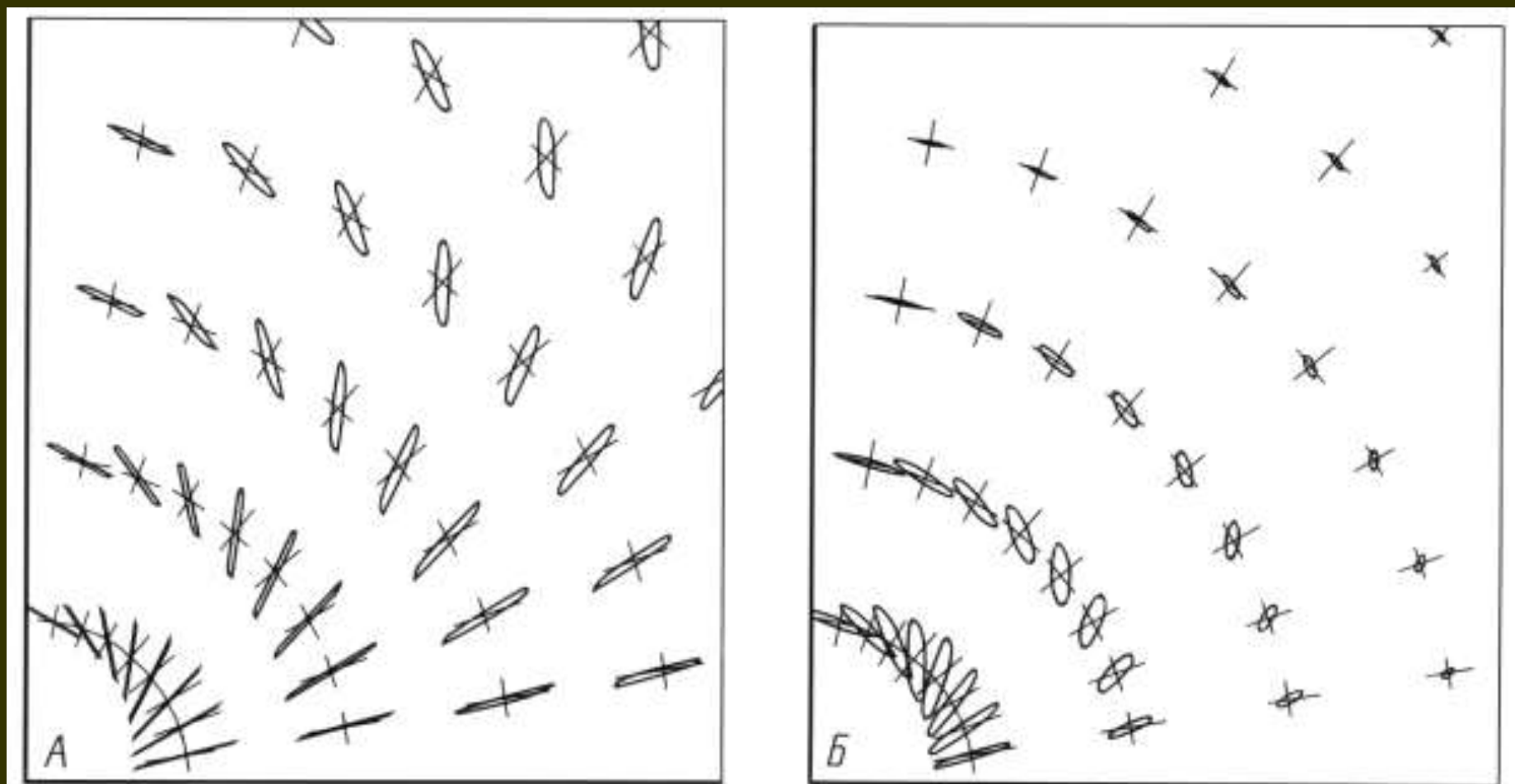
5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
318,31	39,79	11,79	4,97	2,55	1,47	0,62	0,32	0,18	0,12	0,08	0,05	0,04

В 70-х – начале 80-х гг. были разработаны, изготовлены и испытаны действующие макеты для связи между водолазами.

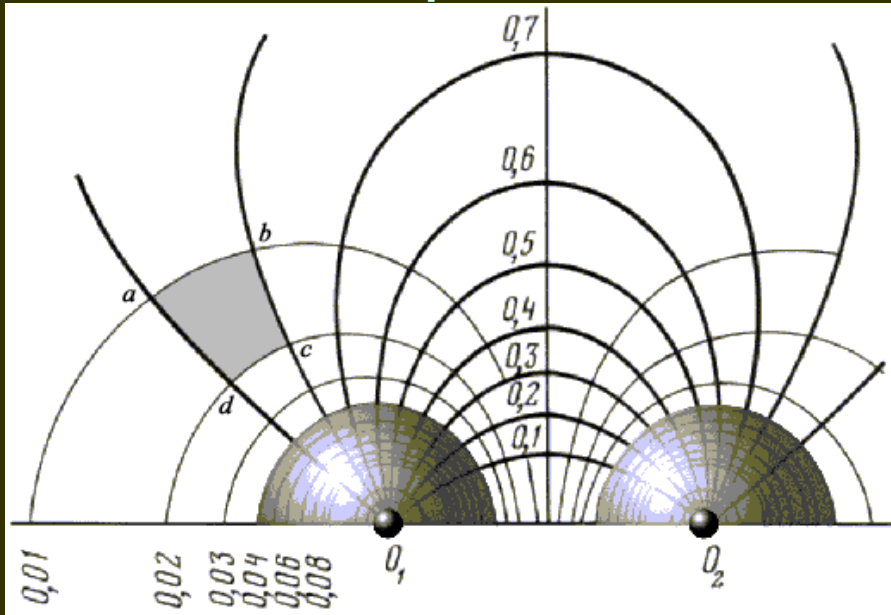


Инженерные разработки сопровождались исследованиями физической специфики электродинамики проводящих сред

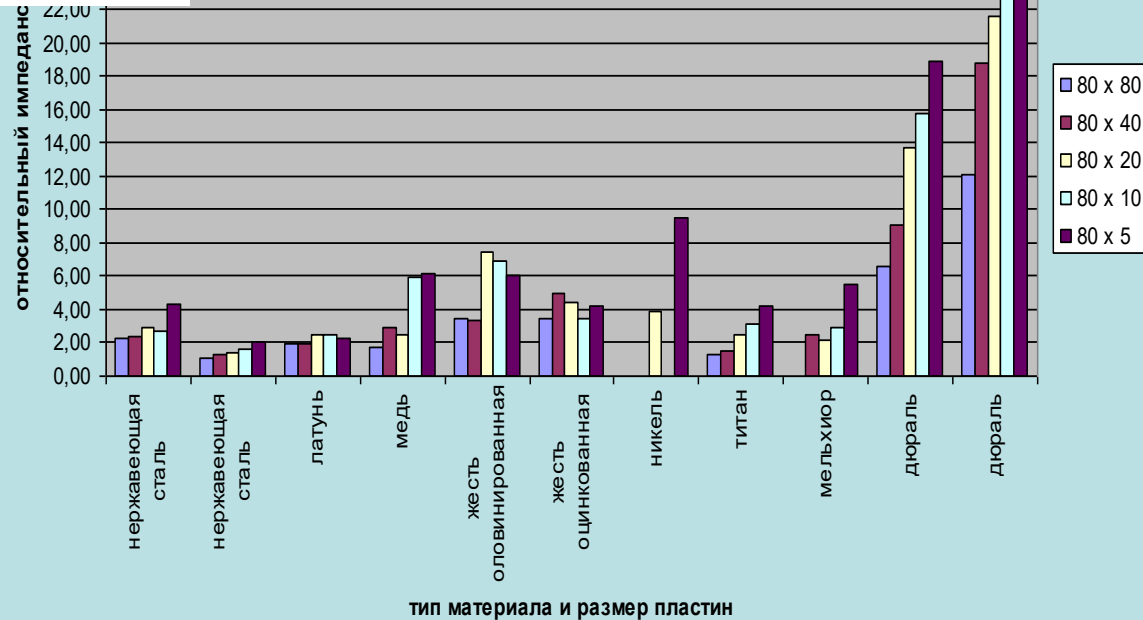
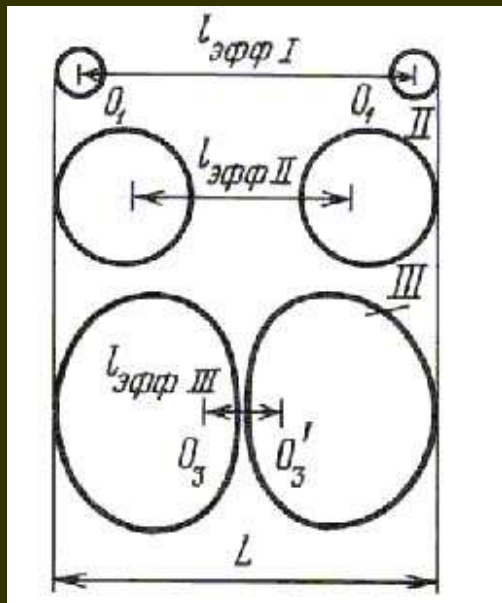
Структура ЭМП на расстояниях, соизмеримых со скин-слоем, диаграммы направленности, всенаправленность, влияние границ, зависимость соотношения сигнал/шум и дальности связи от величины электропроводности.



Были предложены критерии количественной оценки эффективности дипольных антенн, экспериментально исследованы компоненты импеданса, предложены способы оптимизация антенн.



$$\alpha_e = l_{эфф}^2 / |Z|$$

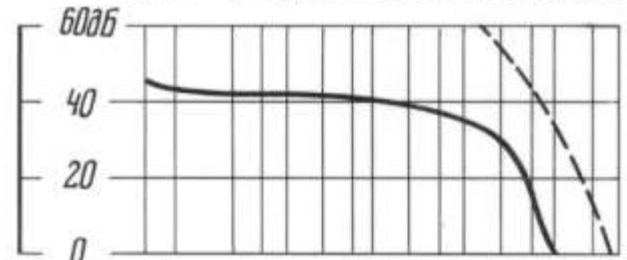
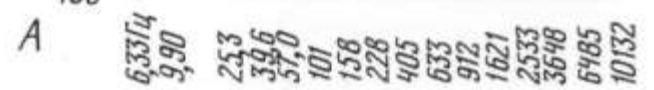
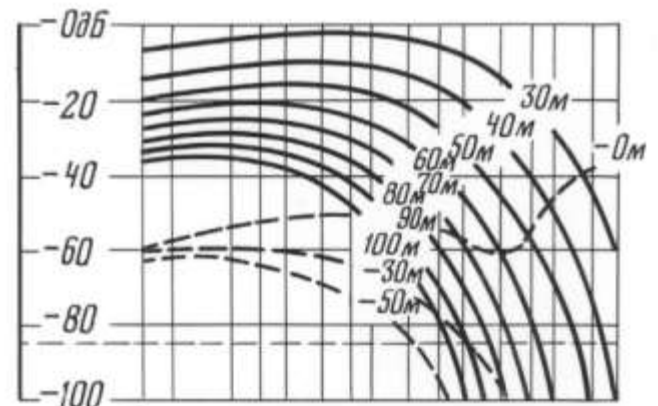
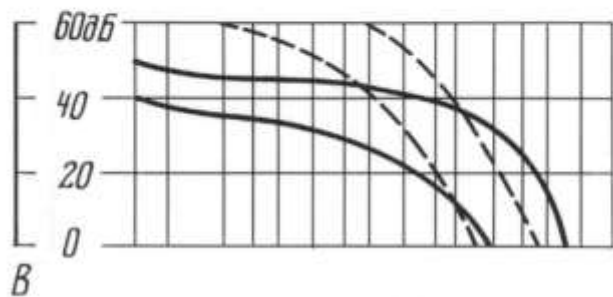
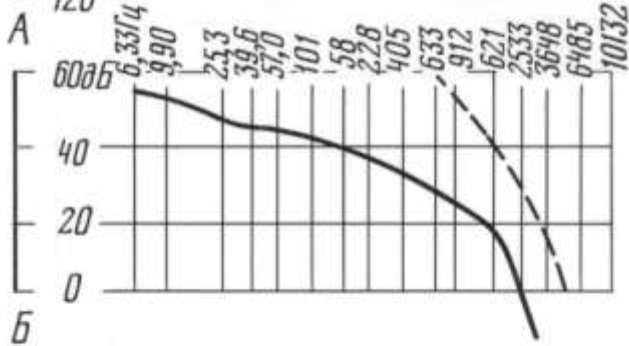
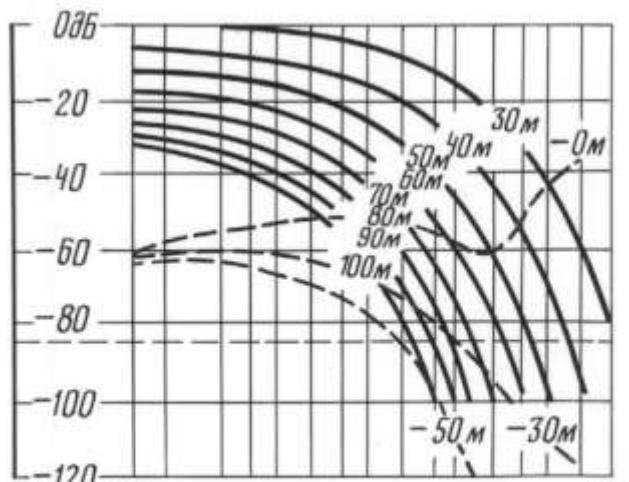


Подробно исследовалось влияние взаимной ориентации антенн на уровни сигналов.

Взаимная ориентация диполей		Вид диаграммы направленности	
Словесное описание	Графическое изображение	Математическое описание (уравнение в полярных координатах)	Графическое изображение
Ось регистрирующего диполя направлена на центр излучающего диполя (ридиальная компонента)		$k(\theta) = \cos \theta$	
Ось регистрирующего диполя перпендикулярна направлению на центр излучающего диполя		$k(\theta) = \frac{1}{2} \sin \theta$	
Регистрирующий диполь ориентирован по максимуму регистрируемого сигнала (модуль сигнала)		$k(\theta) = \frac{1}{2} \sqrt{1 + 3\cos^2 \theta}$	
Оси регистрирующего и излучающего диполей параллельны		$k(\theta) = \frac{1}{2} (3\cos^2 \theta - 1)$	
Оси регистрирующего и излучающего диполей перпендикулярны		$k(\theta) = \frac{1}{2} \sin 2\theta$	

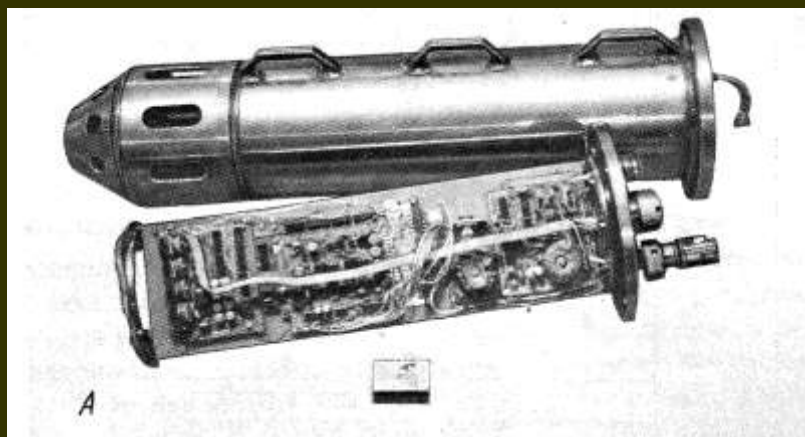
Была предложена методика энергетического расчета предельных возможностей подводной связи на токах проводимости и проиллюстрирована на примере системы для передачи речи и данных.





Уровни сигналов для разных расстояний и уровни шумов для разных глубин

В 80-х были изготовлены и испытаны в море действующие макеты устройств контроля орудий лова



В 70-х – 80-х годах мы плотно сотрудничали с прикладными организациями от Калининграда до Владивостока и Петропавловска-Камчатского.

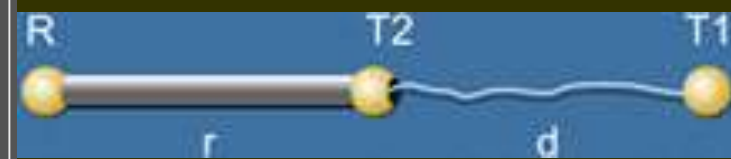
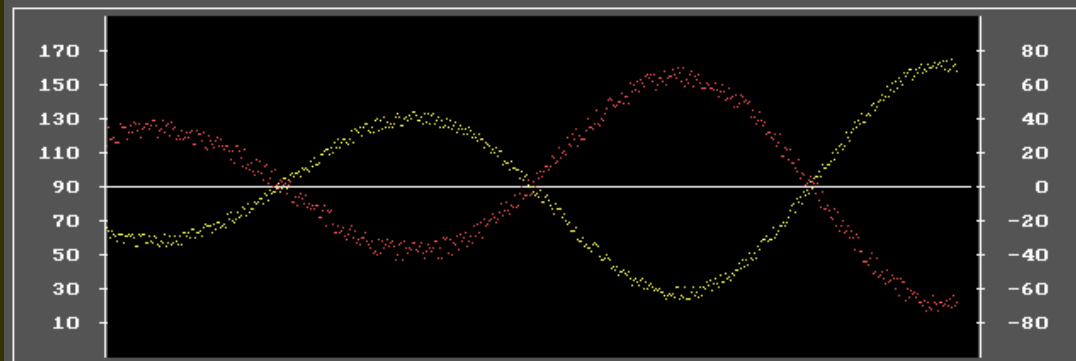
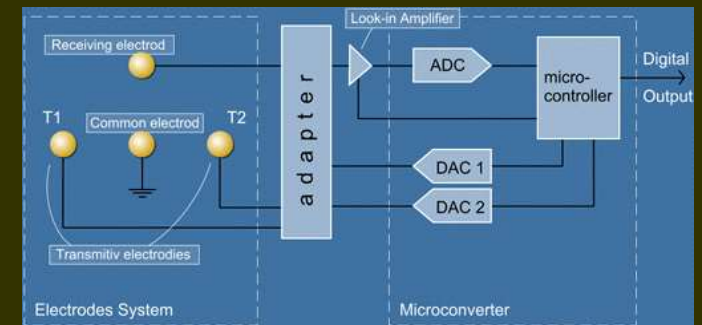
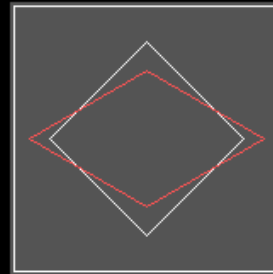
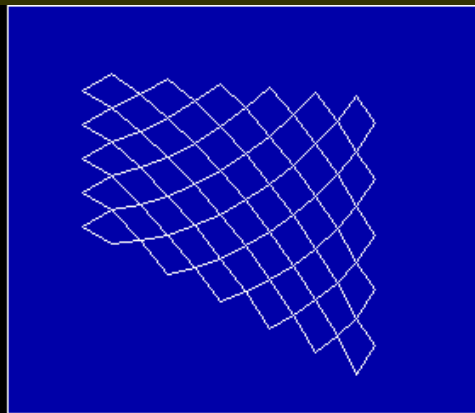
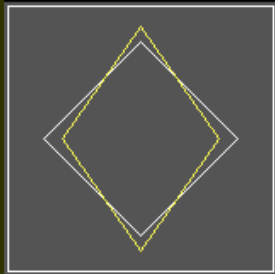
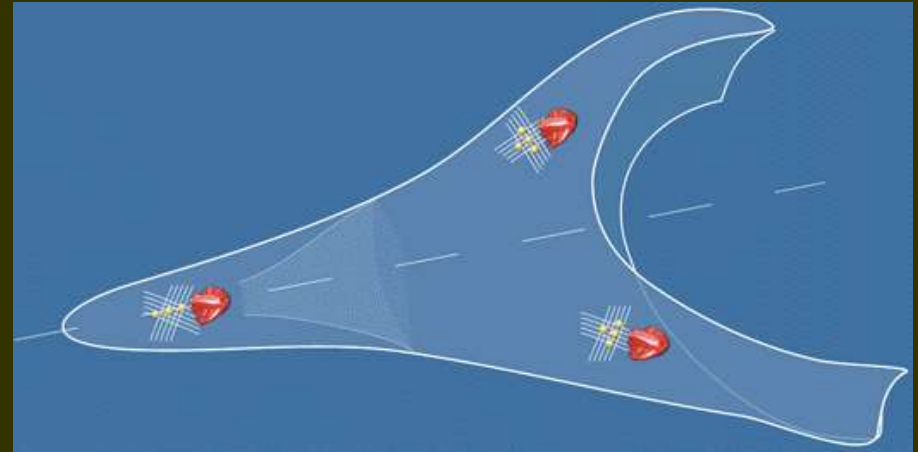
Но к концу 80-х у всех этих организаций начались большие трудности

**к.т.н. Рублёв Виктор Петрович,
доцент кафедры
Приборостроения ДВФУ**



Комплект переговорного устройства для аквалангистов

Из сделанных тогда разработок наиболее интересной представляется система контроля перекосов трала



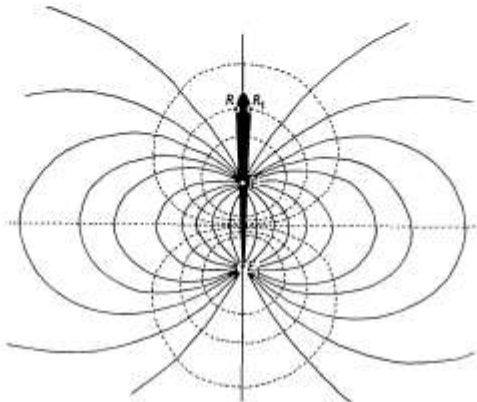
Простейшая система контроля симметрии в однородной воде с прямой связью между источником и приемником.

178

H. W. LISSMANN

Nevertheless, it is useful to keep this model in mind when considering the possible anatomical and physiological counterparts in the fish body and the history of their origin.

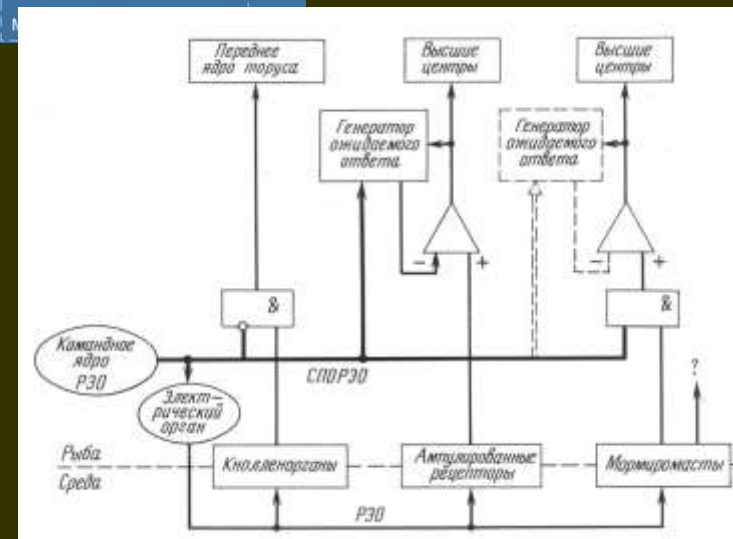
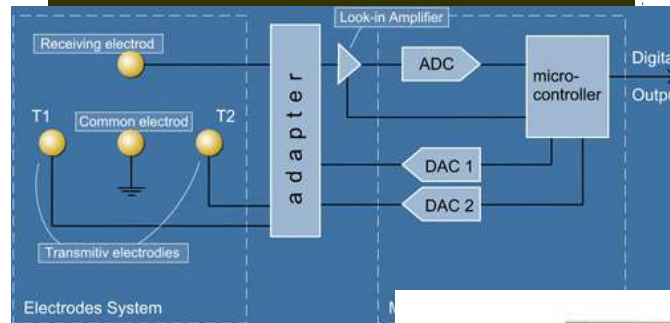
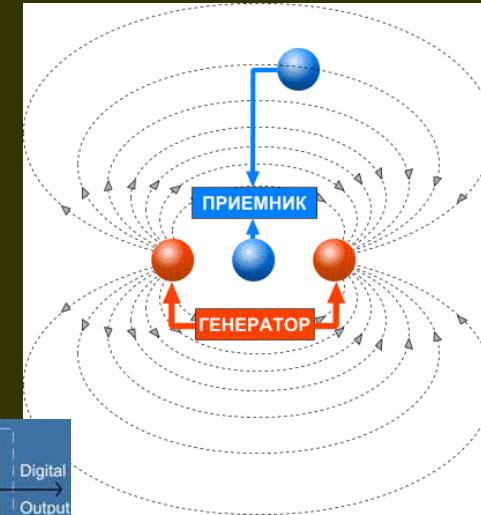
While there may not be a single simple answer to the problem of the evolution of all electric organs, a number of unrelated forms have striking similarities in common. A comparative survey may, therefore, yield valuable information.

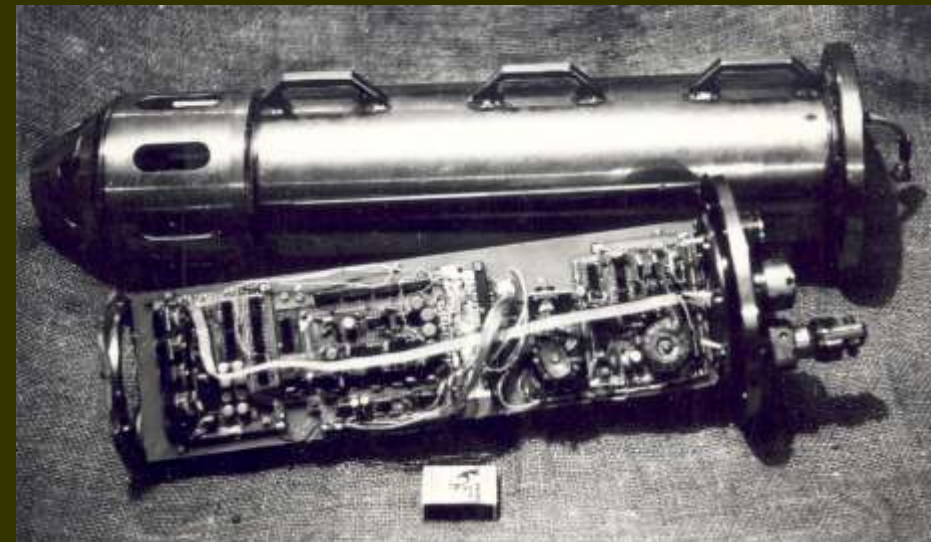


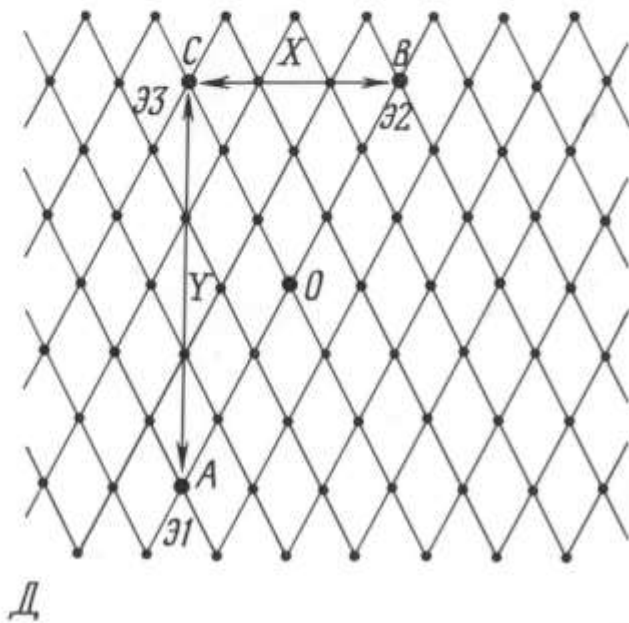
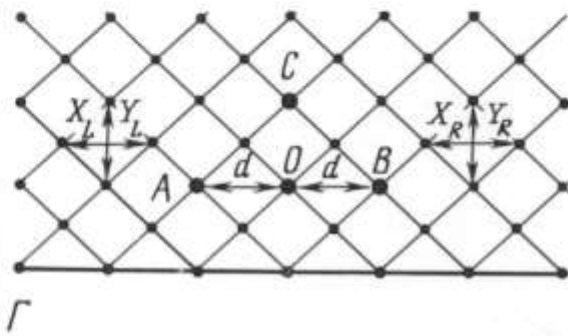
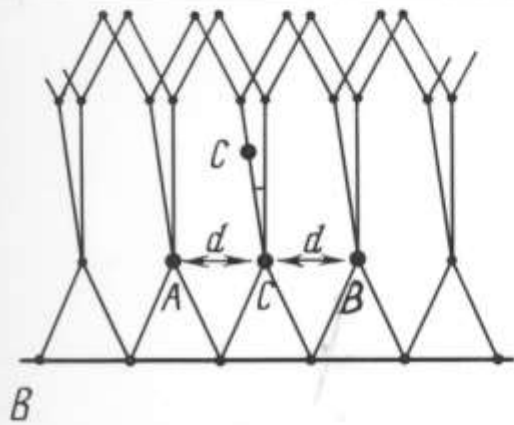
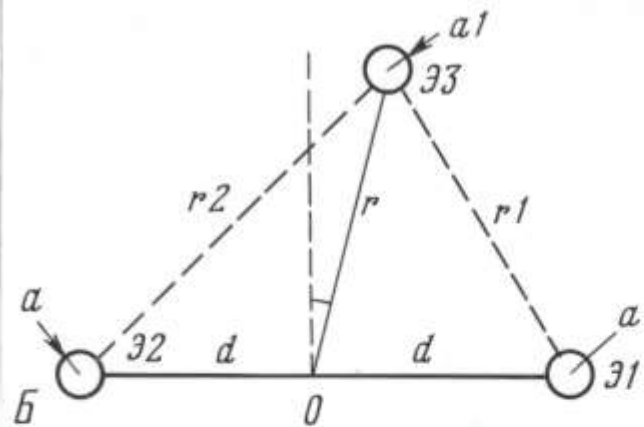
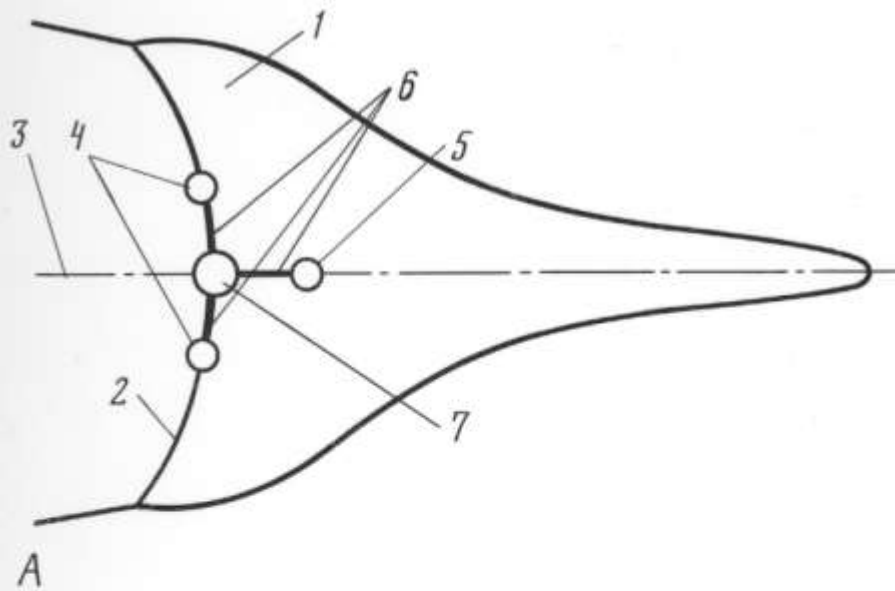
Text-fig. 11. Diagram of the electric field about equal charges of opposite sign. The lines of force (solid lines) and the lines of equipotential (dotted lines) are indicated. E_1 and E_2 correspond to the discharging electrodes in the model or the electric organ of a fish; R and R_1 represent the recording electrodes or the hypothetical receptors.

(a) The discharge mechanism

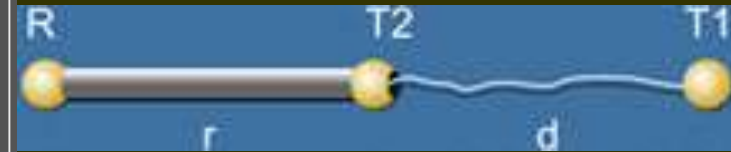
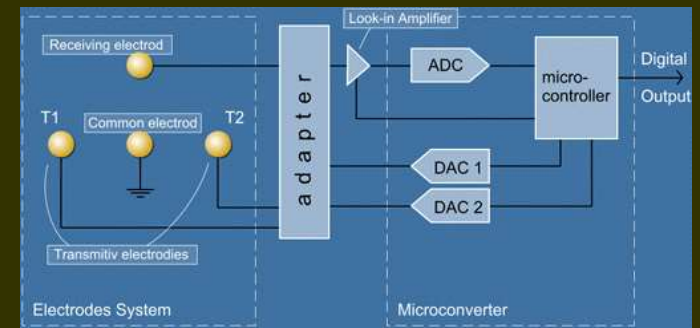
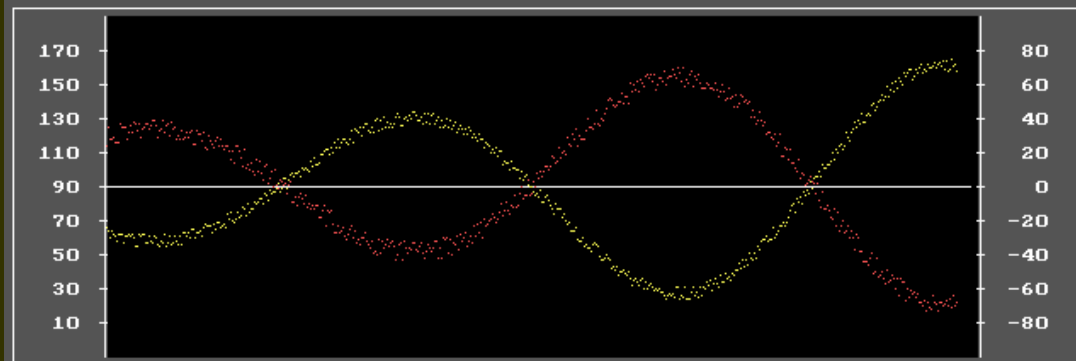
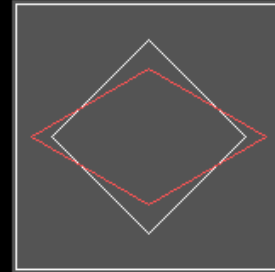
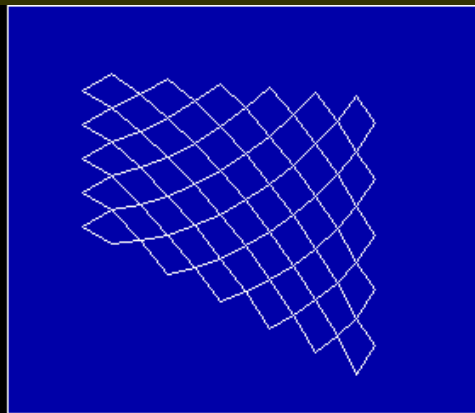
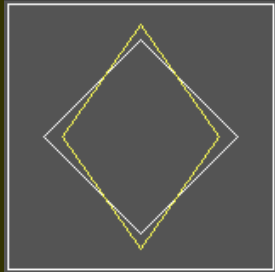
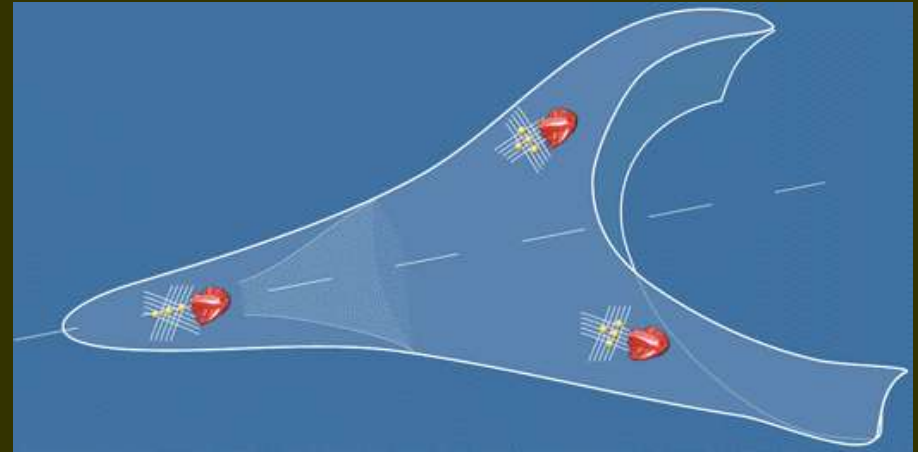
All available evidence suggests that independent evolution of electric organs in fish has taken place at least seven times. In the majority of cases embryology and innervation indicate clearly that the origin is from muscular tissue. As far as is known there is nothing in fish muscles which may point to the reason why in this class of animals alone muscle should be particularly predisposed to such a specialization. Although the regularity of myotomic arrangement should make a reconstruction into serial electroplates perhaps more feasible, it must be remembered that not only tail and trunk muscles have been incorporated into electric organs—as in the case of Rajidae, Mormyridae, *Gymnarchus*, the Gymnotidae, and probably also in *Malapterurus* (Johnels, 1956)—but also hypobranchial muscles (Torpedinae) and even eye muscles (*Astroscopus*) (Dahlgren, 1927). The origin and significance of the electric organs in the submental filaments of *Staetogenes elegans* (Ellis, 1913; Lowrey, 1914) remains obscure. In an inquiry about the causes of the evolution of electric organs it appears more profitable to consider the whole functional complex

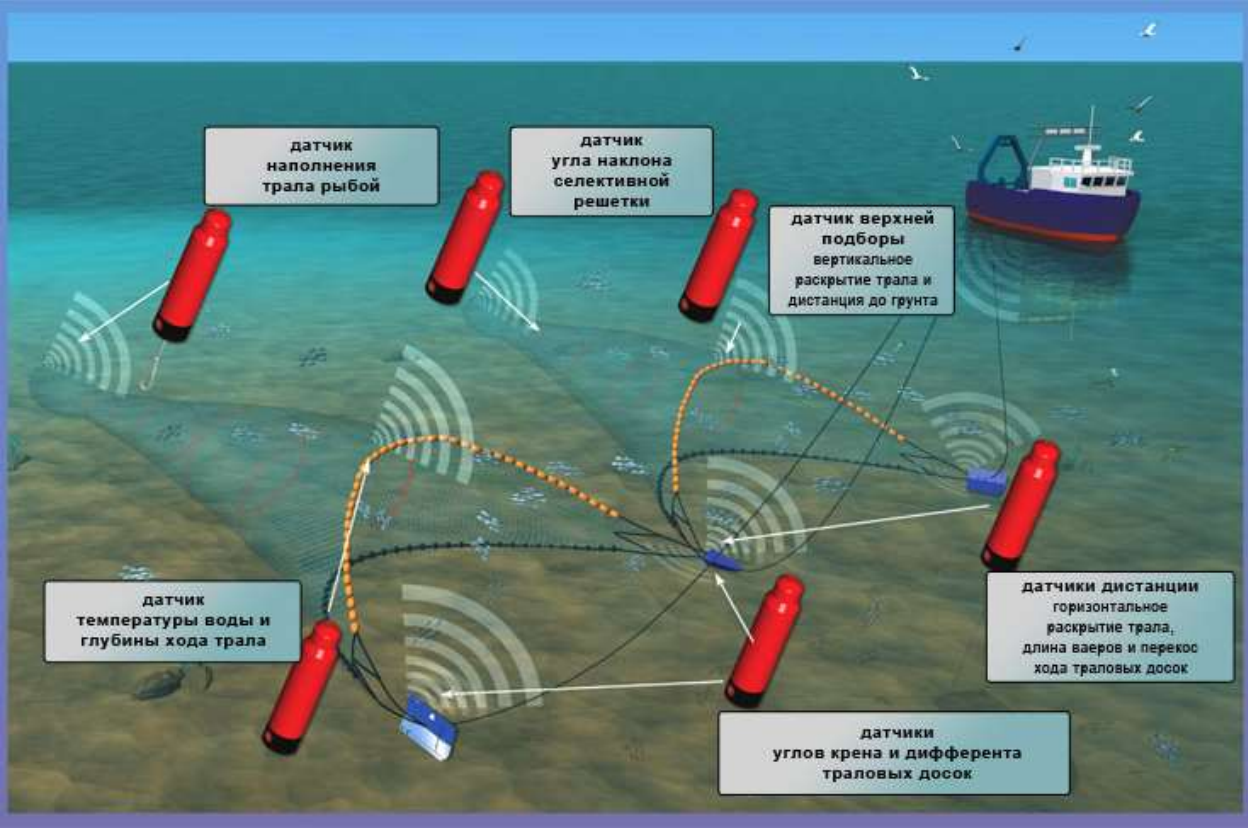






Система контроля перекосов трапа позволяет фиксировать угол раскрытия ячеи с чувствительностью 0.01°

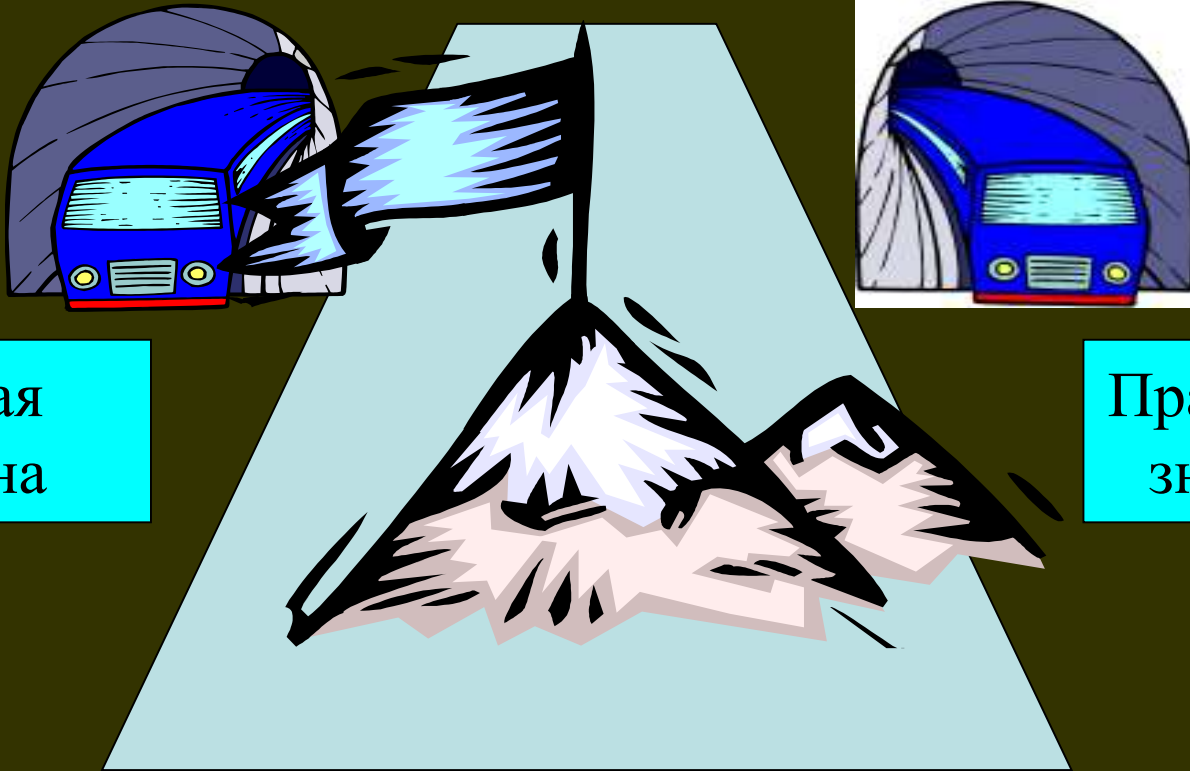




ФИЗИКА

БИОЛОГИЯ

ТЕХНИКА



Научная
новизна

Практическая
значимость

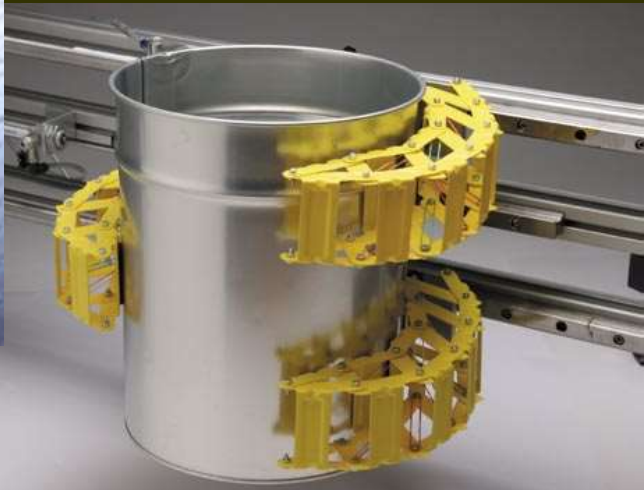
Пытаясь проложить туннель из науки в практику бионик сталкивается с конфликтом целей:
наука ищет неприступные вершины, чтобы покорять их,
а техника пытается проложить ровные пути.

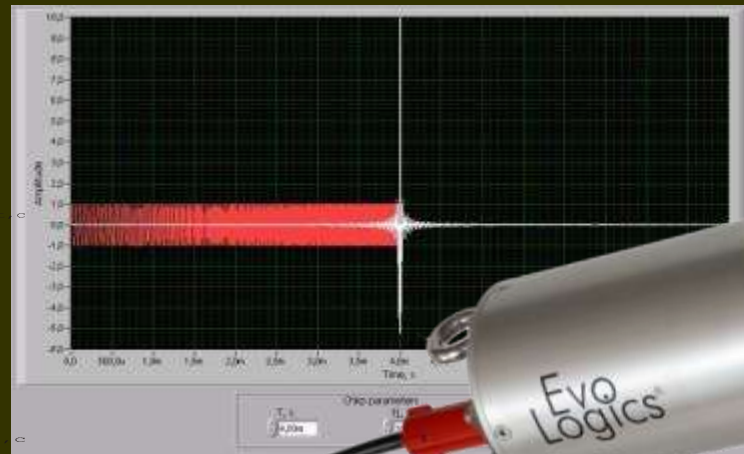
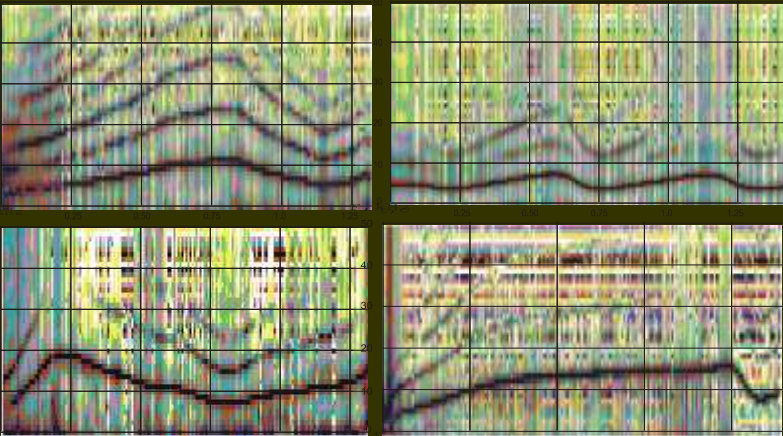
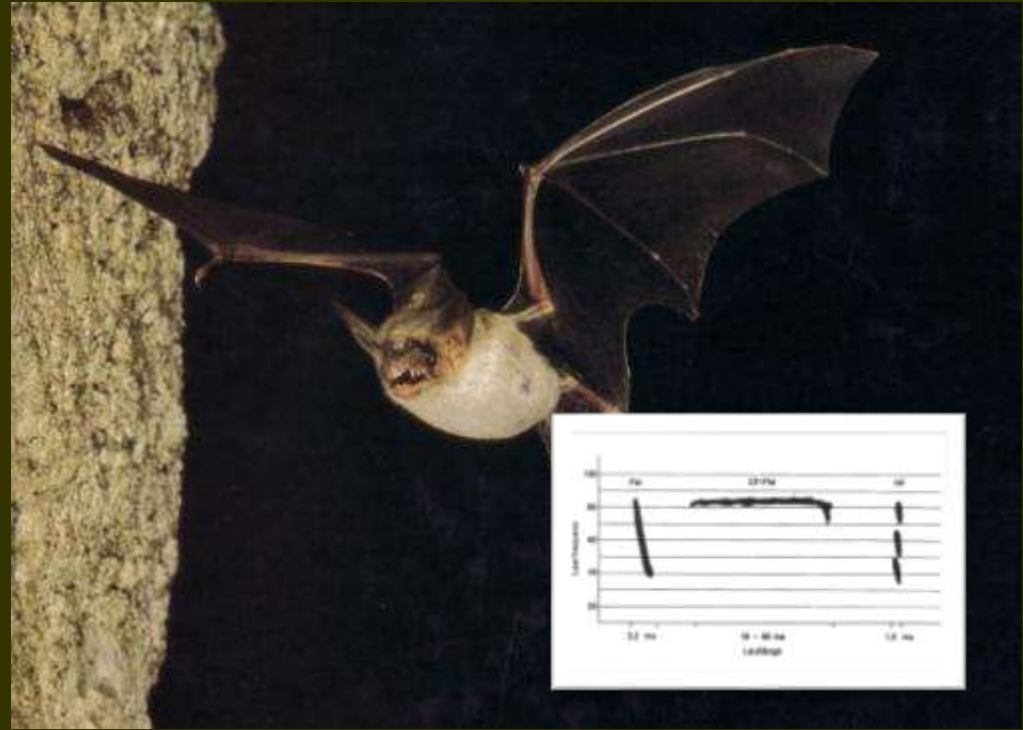
У науки и техники разные системы оценки эффективности.

Пример разработок компании EvoLogics
наглядно демонстрирует
эффективность бионического подхода
к созданию новых технических систем









Advanced Sweep Technology for Communication and 3D Navigation

Baikal Deep Underwater Neutrino Telescope (BDUNT) at a depth of 1200 m in the Baikal lake

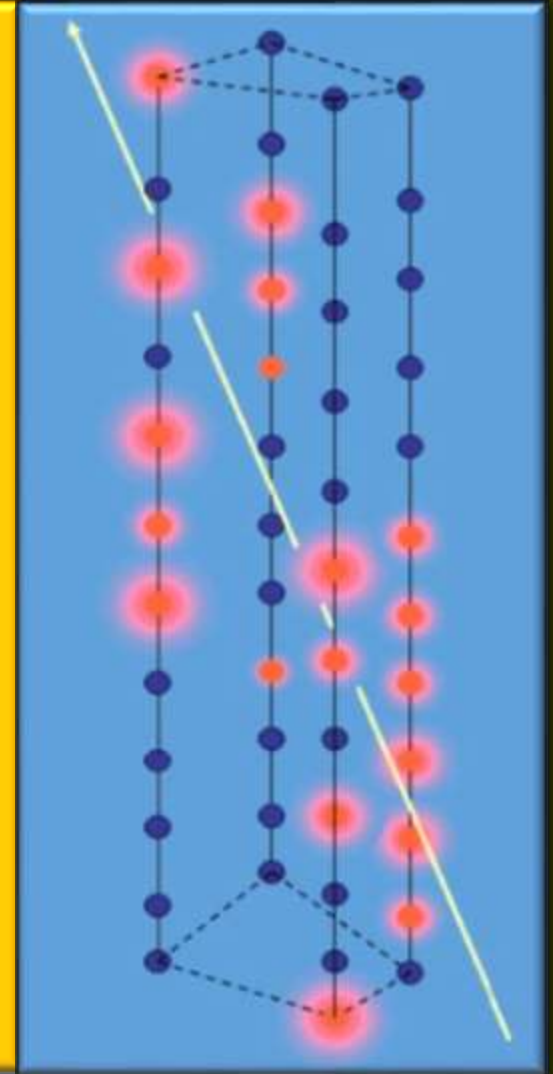


Requires
careful Calibration
of the
Sensor positions

2010 by using
S2C Technology:

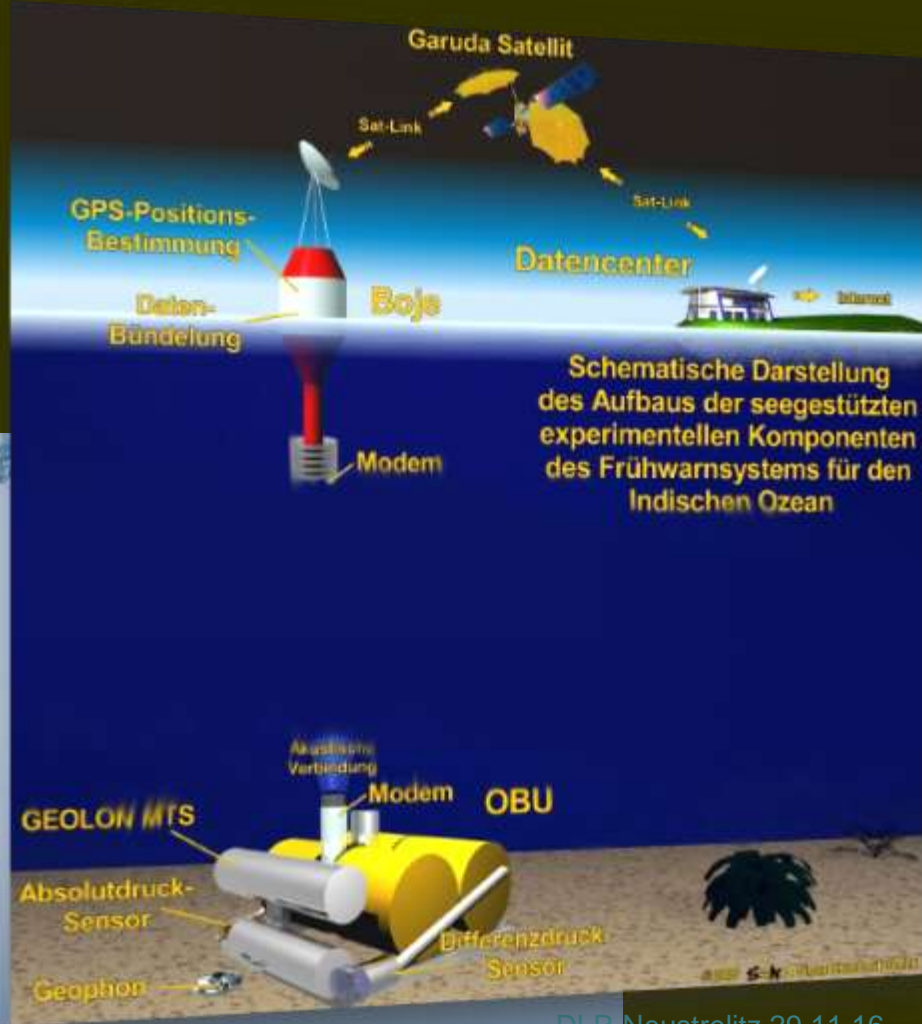
Accuracy achieved:

5 mm






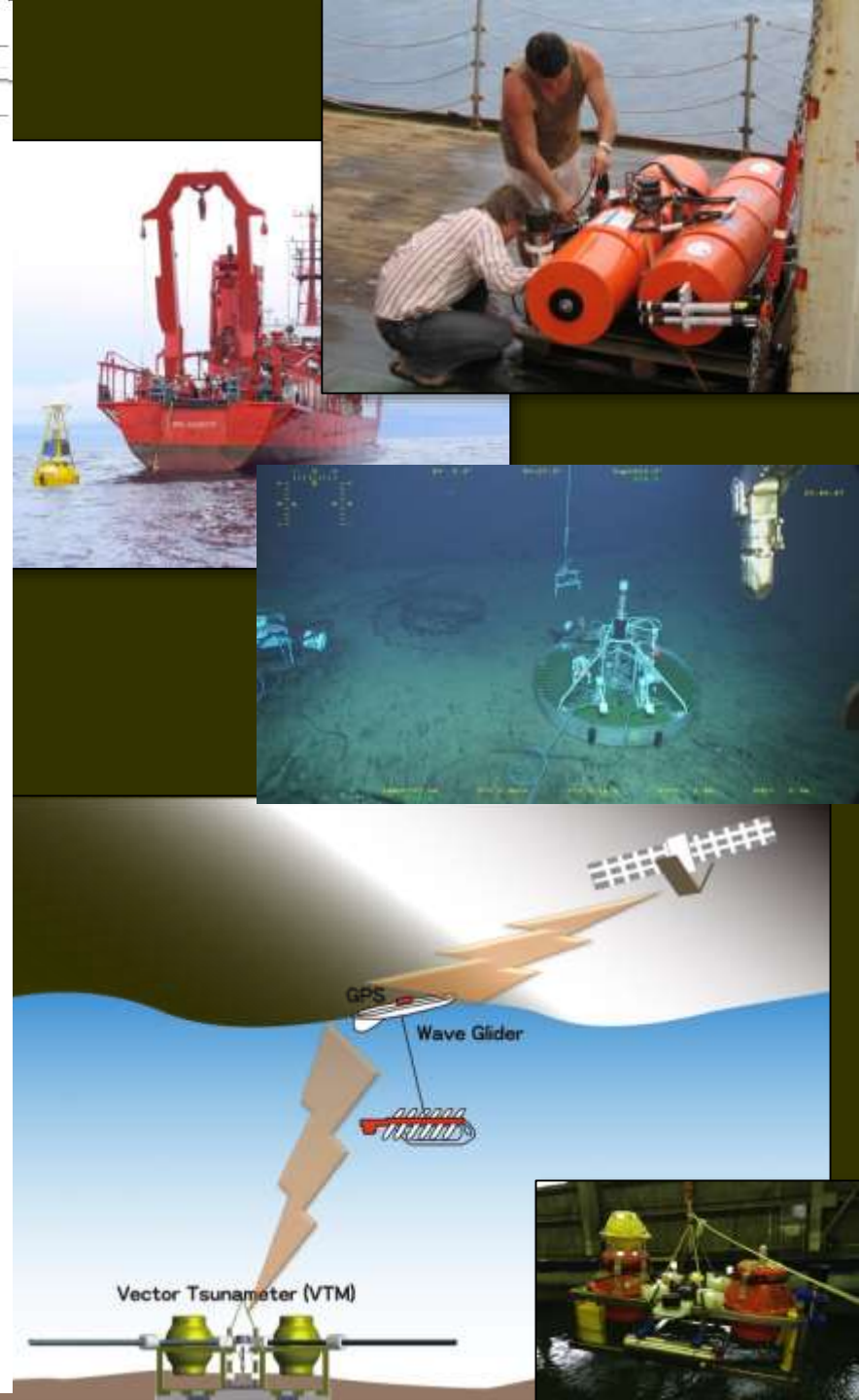
Elektronik von der Biologie zur Technik am Beispiel der Fernerkundung

Elektronik von der Biologie zur Technik am Beispiel der Fernerkundung



Partners

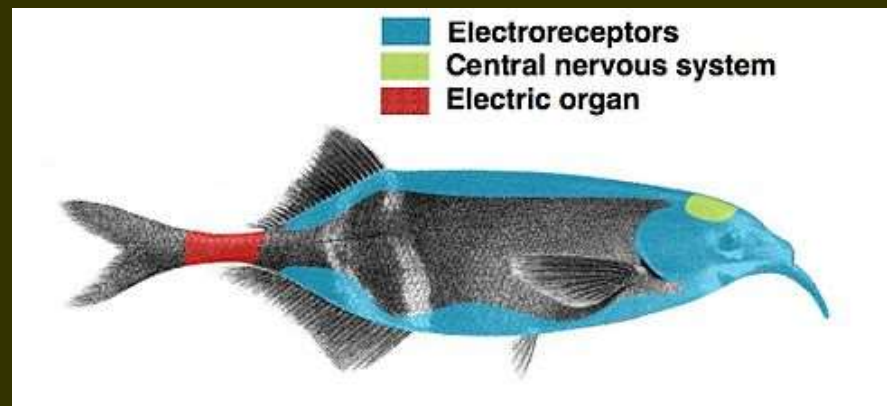
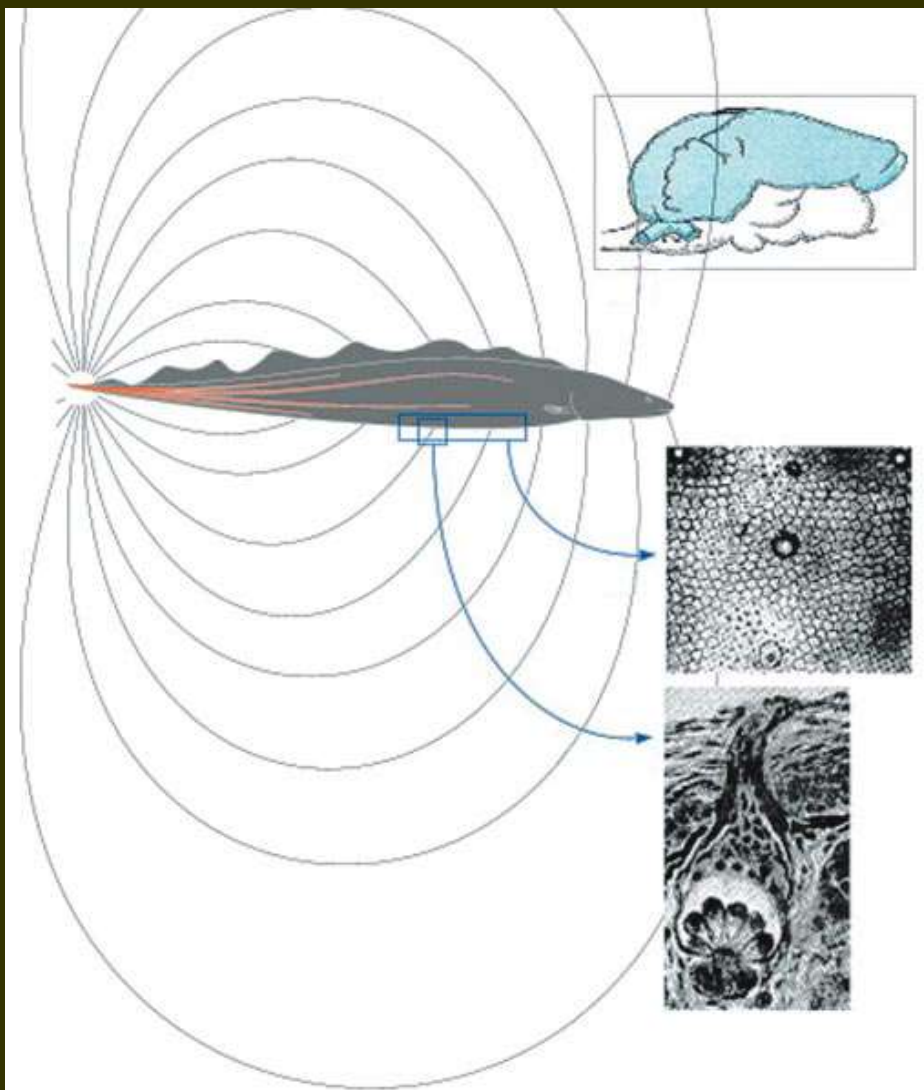
- | | | | |
|---|---|---|---|
|  | Bionic Competence Network
www.bionik-netz.de |  | Potsdam Model Basin Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH
www.sva-potsdam.de |
|  | Technical University Berlin
www.tu-berlin.de |  | VG Kunststofftechnik GmbH
www.vg-kunst.de |
|  | Alma Mater Consulting Berlin GmbH
www.almamaterconsulting.de |  | Atlas Elektronik
http://www.atlas-elektronik.com/ |
|  | Kompetenznetzwerk für den Einsatz der Computergraphik in der maritimen Wirtschaft
www.3dmaritim.de |  | Kongsberg Maritime AS
www.km.kongsberg.com |
|  | FESTO
www.festo.com |  | National University of Singapore (NUS)
www.nus.edu.sg |
|  | GEO-DV GmbH
www.geo-dv.de |  | Codevintec
www.codevintec.it |
|  | Fraunhofer Institut Zerstörungsfreie Prüfverfahren
www.izfp.fraunhofer.de |  | SIDMAR Oceanographic Studies and Services
www.sidmaces.com |
|  | Fraunhofer Institut Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe
www.ikts.fraunhofer.de |  | Unternehmensgruppe Freudenberg
www.freudenberg.de |
|  | MMG Mecklenburger Metallguss GmbH
www.mmgprop.de |  | Baker Hughes Inc
www.bakerhughes.com |
|  | Technische Universität Bergakademie Freiberg Gießerei-Institut
www.tu-freiberg.de |  | National Technical University of Ukraine "KPI"
www.ntu-kpi.kiev.ua |
|  | Keramik-Institut Meissen GmbH
www.keramikinstitut.de |  | Precision Technologies Pte Ltd
www.pretech.com.sg |
|  | Blacknoise Deutschland GmbH
www.blacknoise.de |  | iRov Underwater Services
www.irov.it |
|  | WEDirekt - der Online-Shop für Leiterplatten und Schablonen von Würth Elektronik GmbH & Co. KG
www.wedirekt.de |  | Eye Remote Solutions S.A.
www.eyeremotesolutions.com |
|  | Maritimes Cluster Norddeutschland
www.maritimes-cluster-nord.de |  | Gesellschaft für Maritime Technik e.V.
www.maritime-technik.de |
|  | DeepSea Mining Alliance
www.deepsea-mining-alliance.com |  | Subsea Monitoring Network
www.subsea-monitoring.net |
| | |  | Azov Cable Company
www.azovcc.eu/en |



Чем бионическая манта Рудольфа Банноша
отличается от настоящей манти?

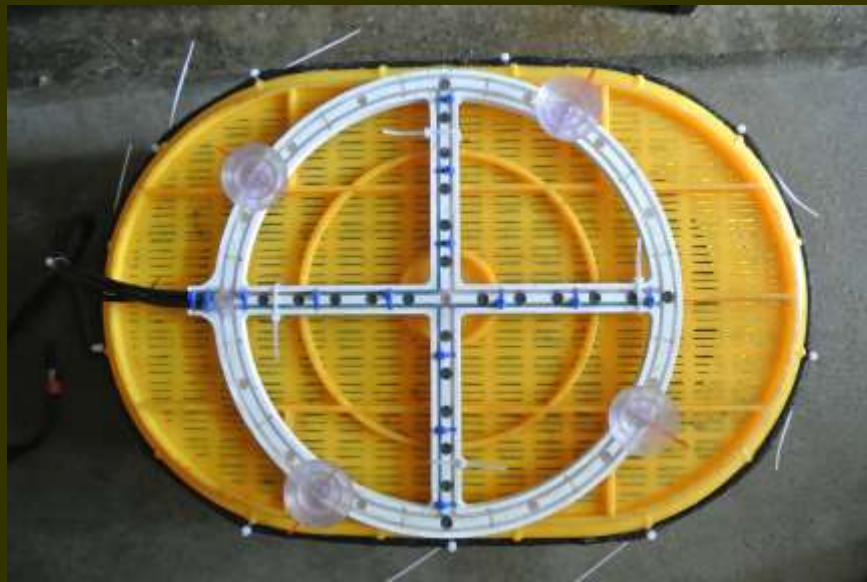
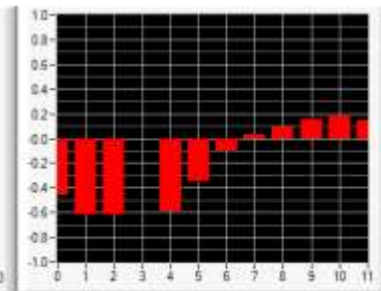
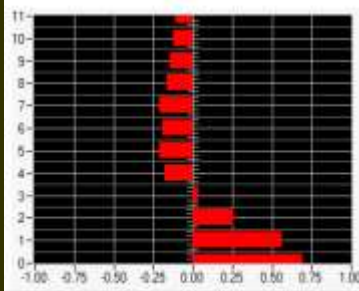
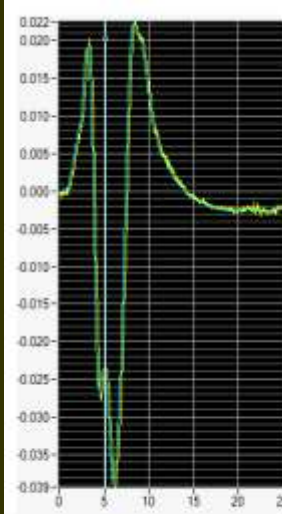


Многоэлектродность – очень важная особенность моделей электрических рыб.
Большое количество электрорецепторов превращает тело рыбы
в «электрический глаз»

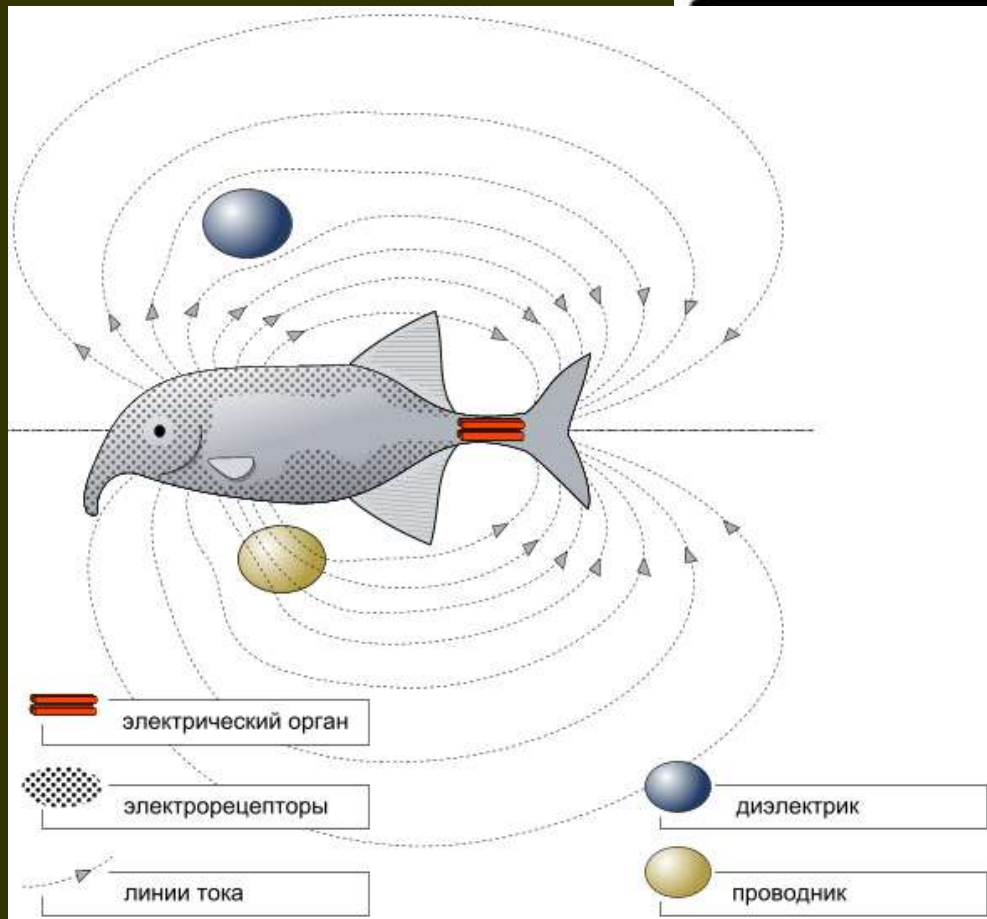
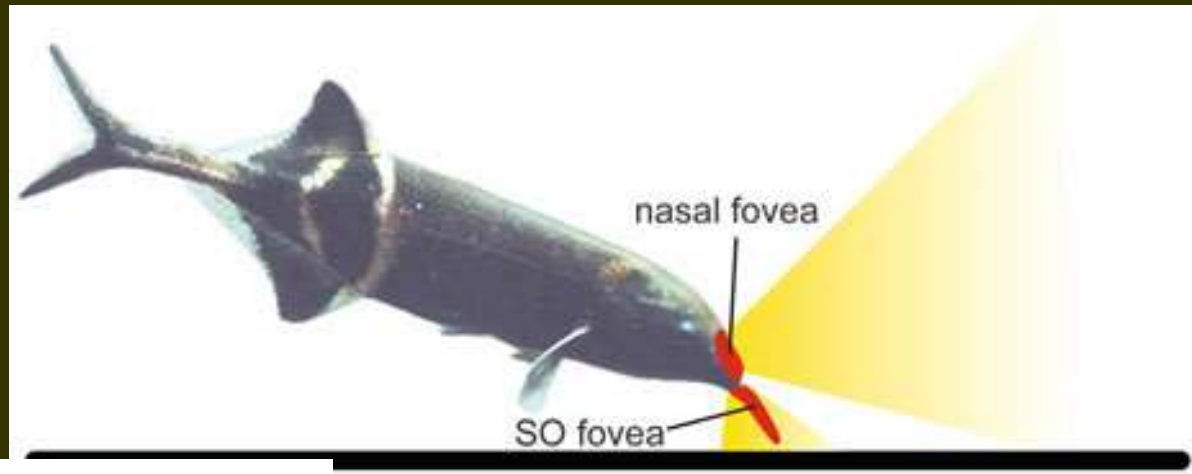




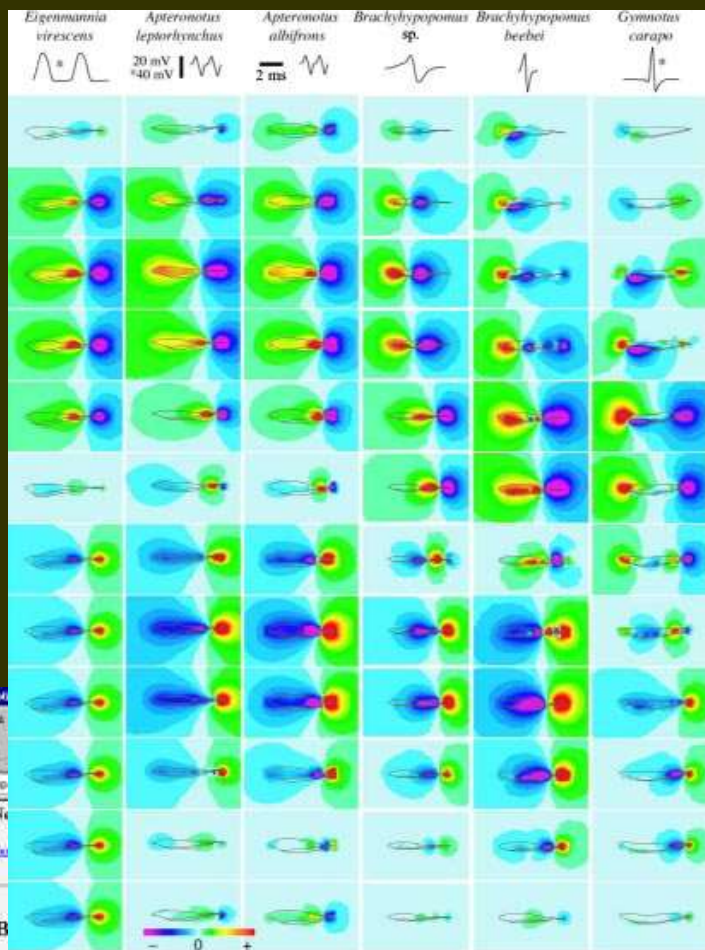
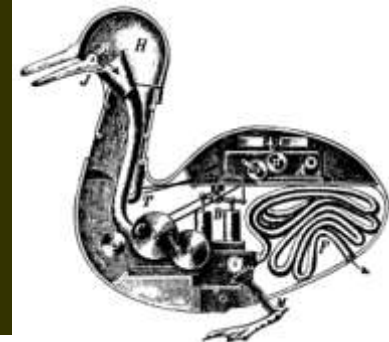
Для регистрации и локализации источников разрядов у гигантской китайской саламандры мы использовали многоэлектродные регистрирующие комплексы.





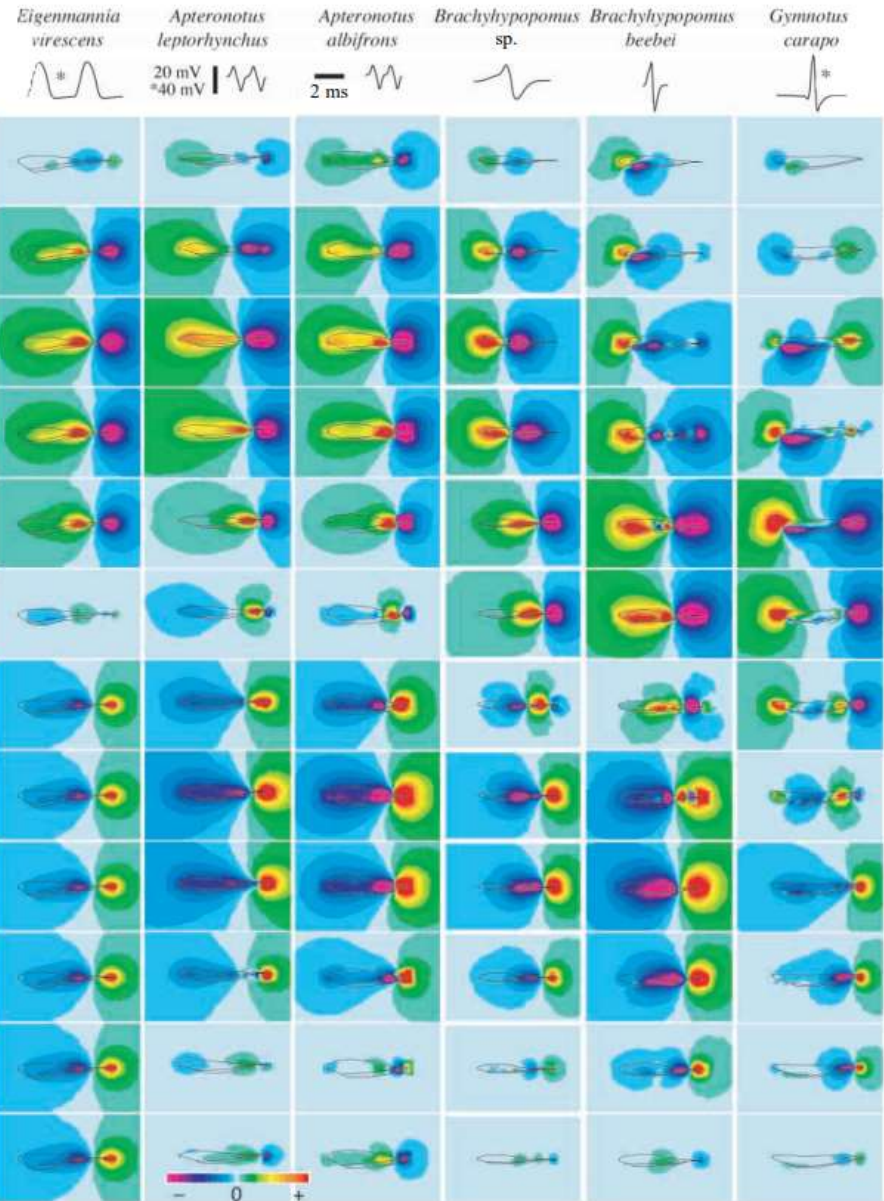


Бионическое и компьютерное моделирование электроориентационных систем рыб в США.



ELECTRIC ORGAN DISCHARGES AND ELECTRIC IMAGES DURING ELECTROLOCATION

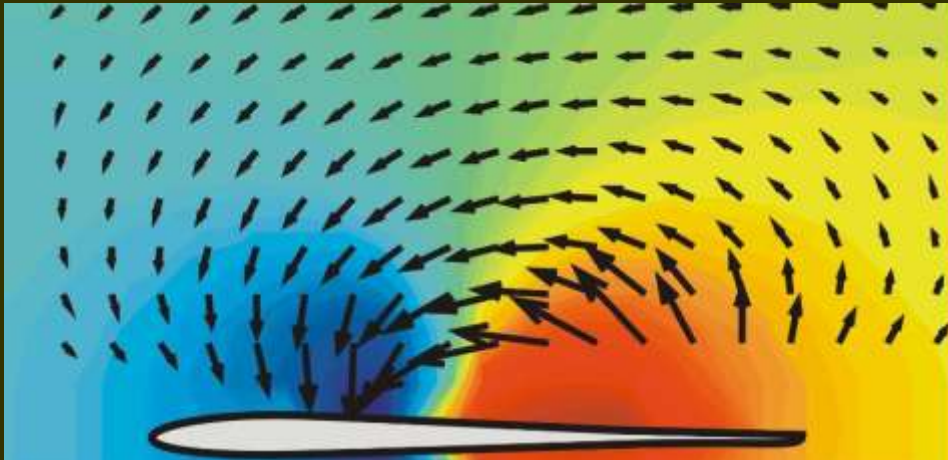
CHRISTOPHER ASSAD^{1,*}, BRIAN RASNOW^{2,†} AND PHILIP K. STODDARD³

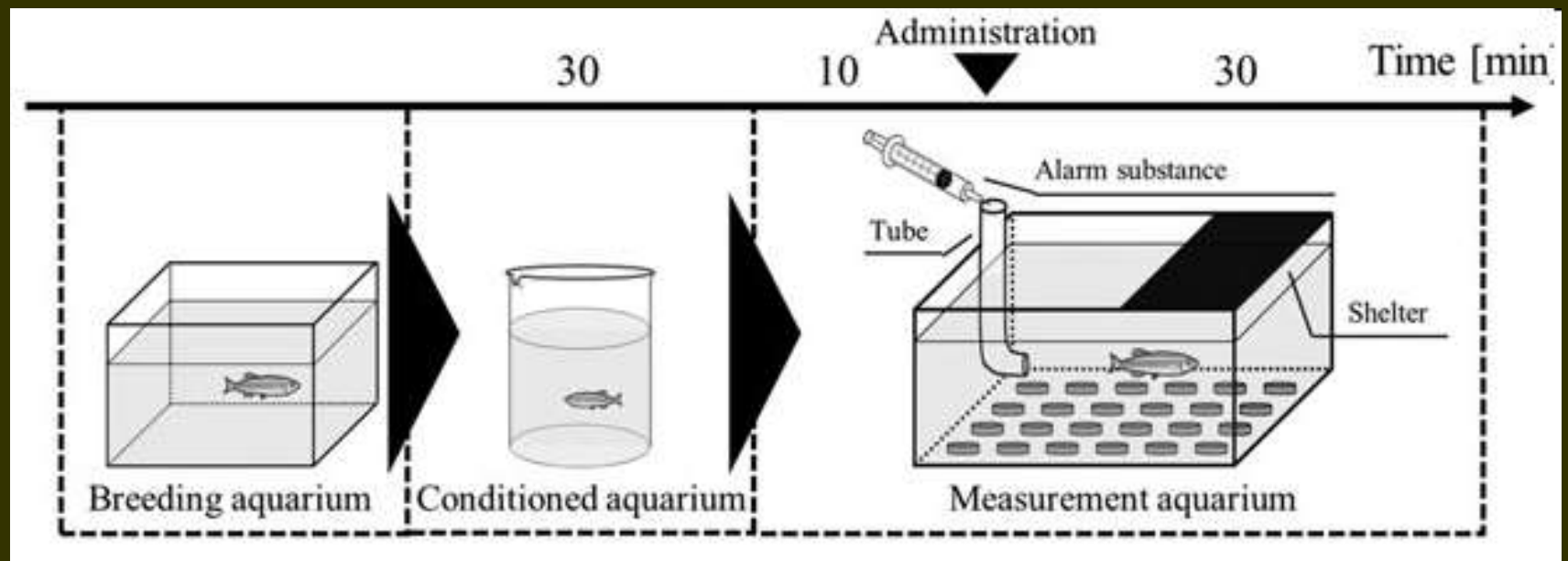
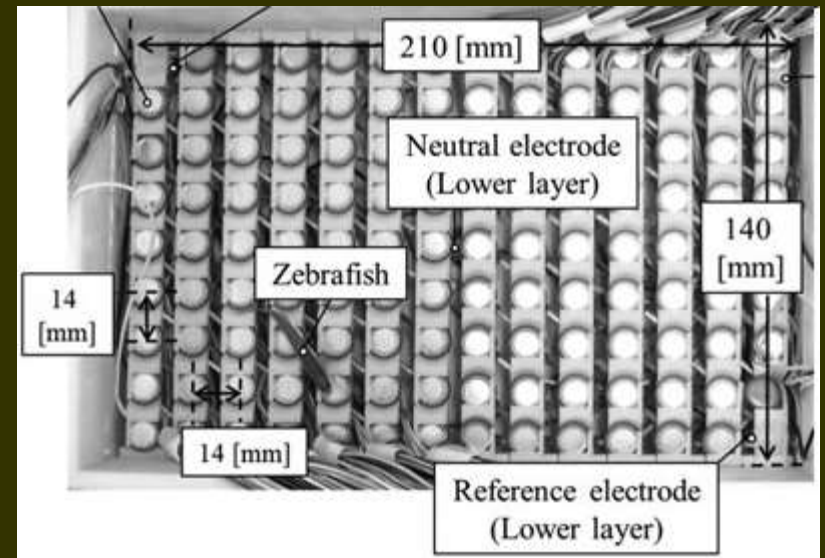
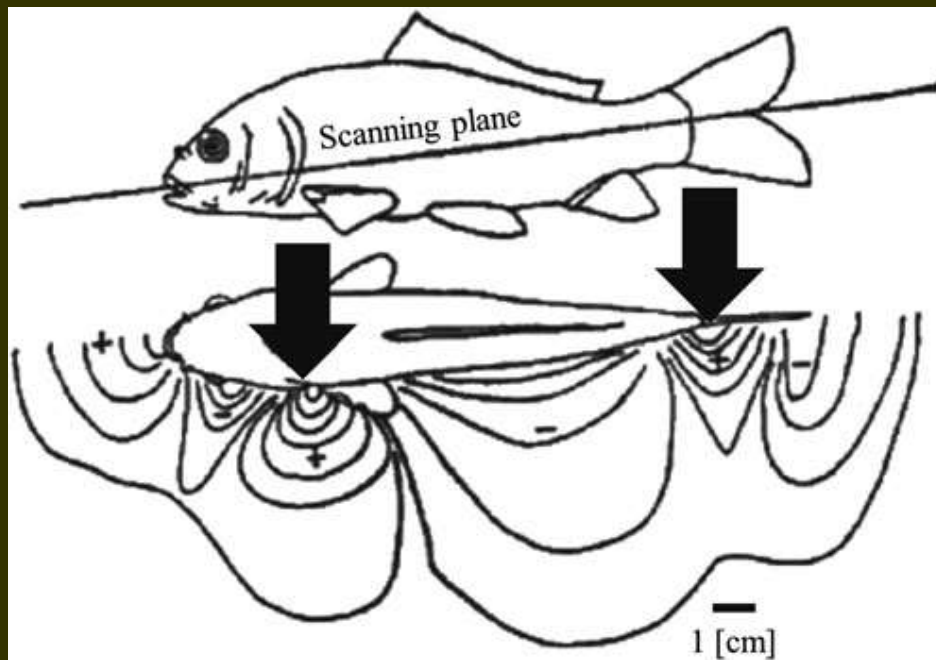


The electric organ discharge of pulse gymnotiforms: the transformation of a simple impulse into a complex spatio-temporal electromotor pattern

A.A. Caputi

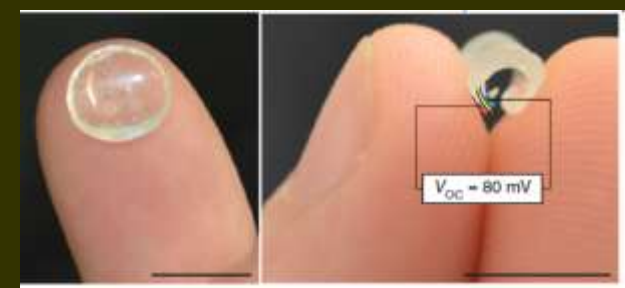
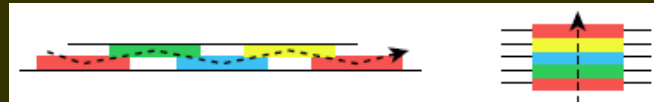
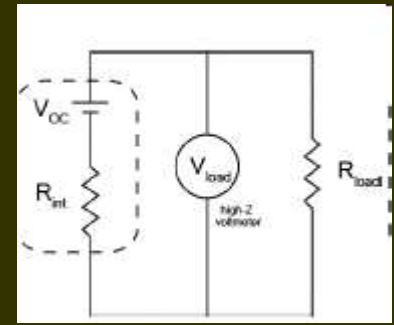
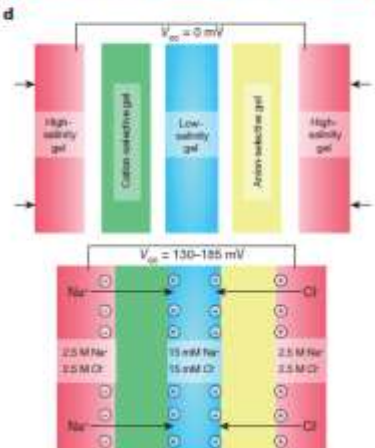
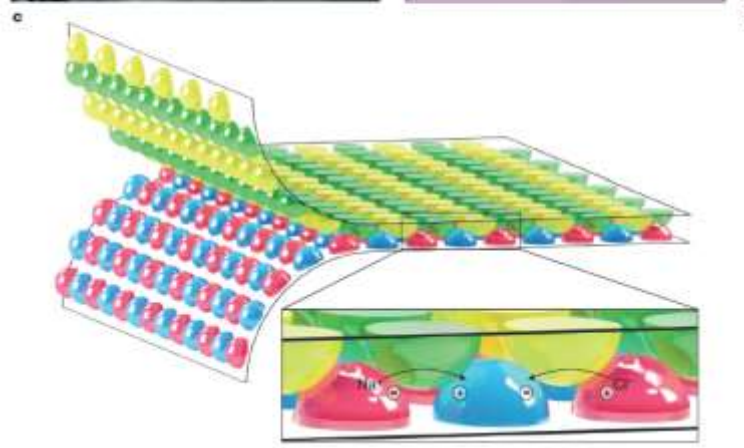
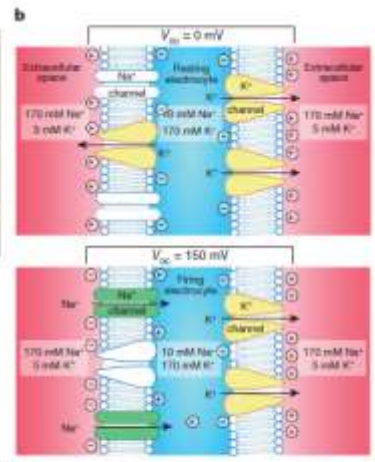
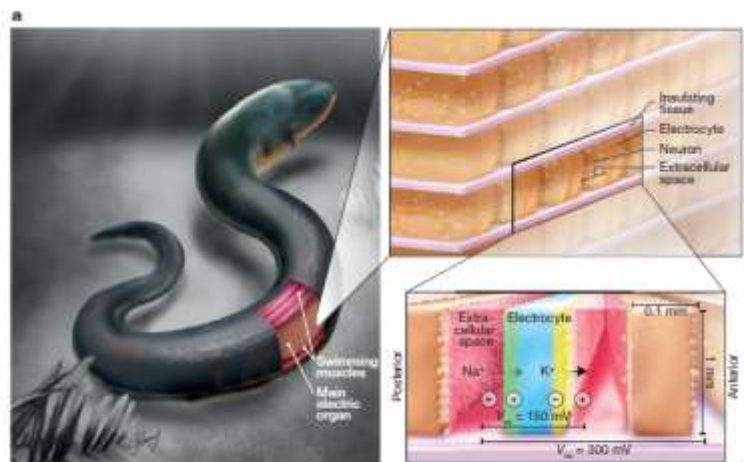
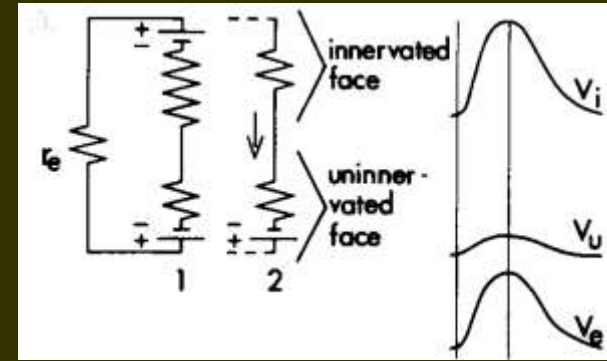
Journal of Experimental Biology 1999 202: 1229–1241;





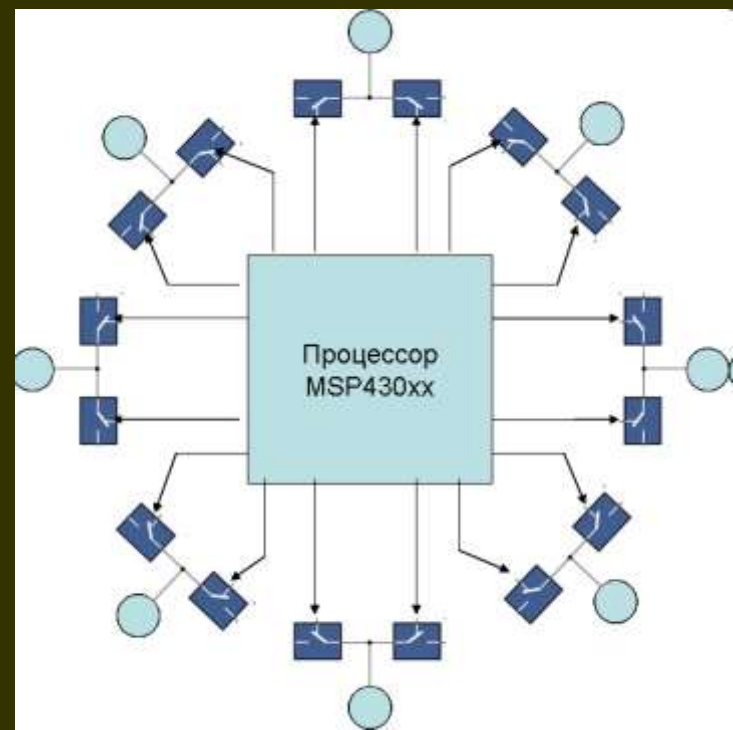
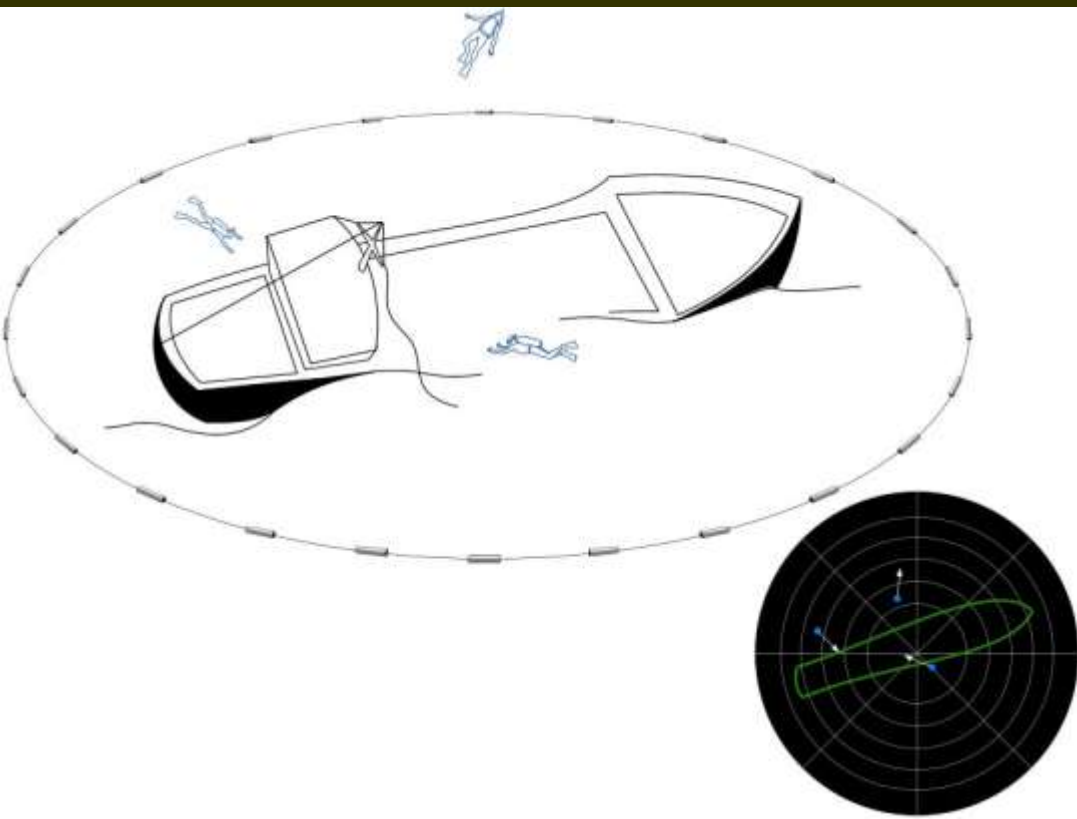
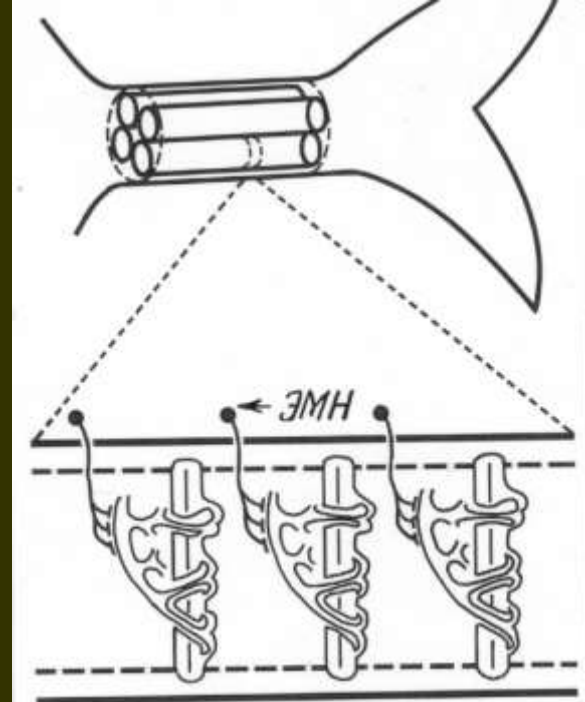
An electric-eel-inspired soft power source from stacked hydrogels

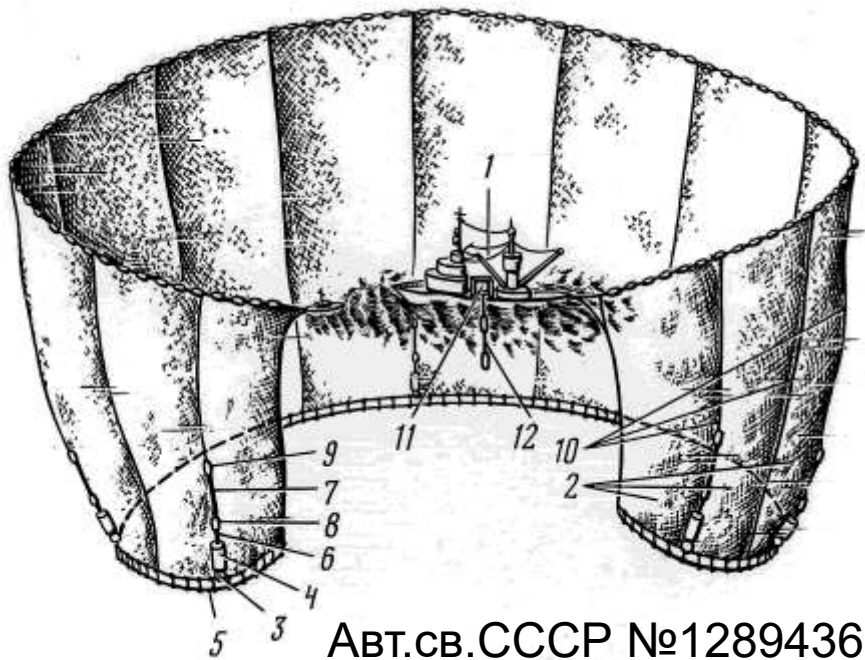
Thomas B. H. Schroeder^{1,2*}, Anirvan Guha^{2*}, Aaron Lamoureux³, Gloria VanRenterghem³, David Sept^{4,5}, Max Shtein³, Jerry Yang⁶ & Michael Mayer^{2,4}





Многоэлектродные системы позволяют формировать динамическую круговую диаграмму направленности, что полезно как для связи, так и для ориентации.





Авт.св.СССР №1289436

Организация систем гальванической подводной связи на базе ретрансляторов предлагалась нами еще в 80-х годах. Сегодня такие системы все чаще обсуждаются в научно-технической литературе.

Аналогичный подход организации связанных и ориентационных подводных акустических систем практикует компания EvoLogics



Пример разработок компании
EvoLogics наглядно демонстрирует
эффективность бионики





В.М. Ахутин

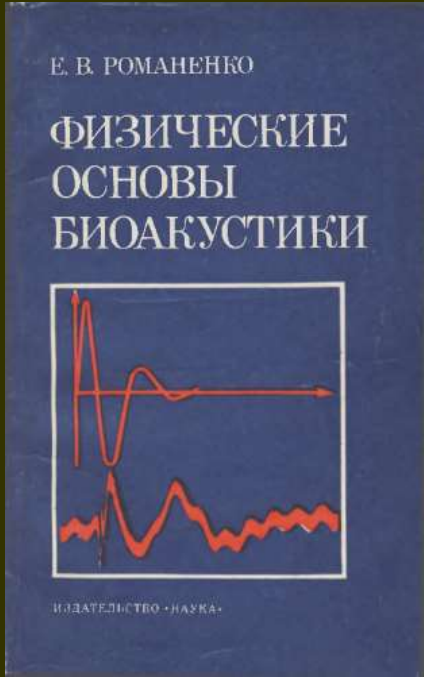
В.Р. Протасов

Dr. Rudolf Bannasch

Geboren 1952 in Berlin, 1971 Abitur mit Auszeichnung, 1971-1976 Studium Biologie, Tier- und Humanphysiologie in Donezk, Kiew u. St. Petersburg. 1976 Diplomarbeit: Neuronale Verschaltung und Signalverarbeitung im motorischen System höherer Wirbeltiere.



Евгений Васильевич Романенко
Доктор биологических наук,
кандидат физико-математических наук,
профессор.





На правах рукописи

Рублев Виктор Петрович

СИСТЕМЫ МНОГОБОНЕНТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СВЯЗИ И
УПРАВЛЕНИЯ БИОБЪЕКТАМИ В ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ СРЕДАХ

Специальность 05.08.06. – Физические поля корабля, океана и
атмосферы и их взаимодействие

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владивосток 2007



Про англичан, которые ружья кирпичом не чистят

THE
ROYAL
SOCIETY



1794



Джон Уолш



1773



Чарльз Дарвин



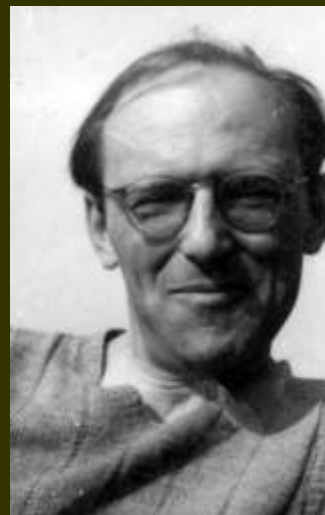
1864



Алессандро Вольт



1766

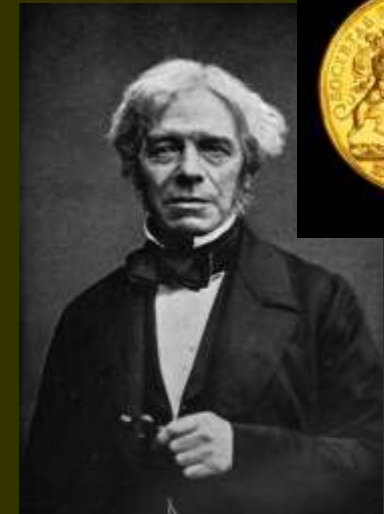


Ганс Лиссманн



1832

1838



Майкл Фарадей



Генри Кавендиш



Несколько слов о жизни и судьбе Ганса Лиссмана

HANS WERNER LISSMANN

30 April 1909–21 April 1995

Elected F.R.S. 1954

BY R.McN. ALEXANDER, F.R.S.

Department of Biology, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK

Hans Lissmann overcame extraordinary difficulties to become one of the pioneers of experiments on animal locomotion and the discoverer of the electric sense of fishes.

THE RUSSIAN EMPIRE

He was born on 30 April 1909 at Nikolayev, a Black Sea port near Odessa. Most of what we know of his early life comes from two typewritten memoirs, written in 1944 when he was interned. He was the younger of the two sons of German parents, Robert Lissmann, an exporter of grain, and his wife Ebba. A photograph taken in 1913 or 1914 shows a prosperous family formally posed with the boys dressed immaculately and impractically, entirely in white.

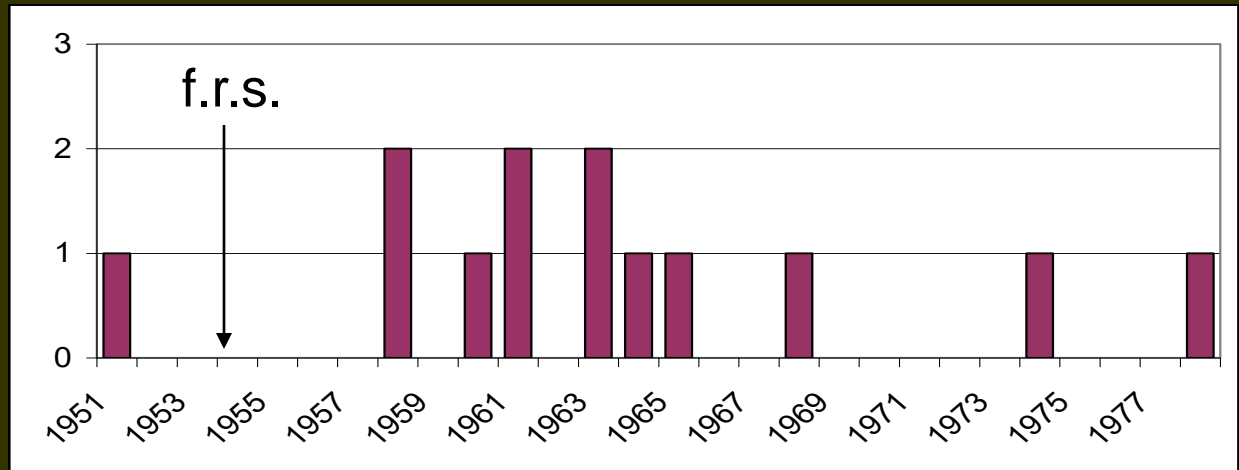
Until Hans was five the family lived in Nikolayev and in Novorossiysk, another port on the northern shore of the Black Sea. He spoke Russian with his parents and French with his grandparents. Then, after the outbreak of the First World War in 1914, the family was sent to Kargala, a village near Orenburg on the edge of the Urals, 1100 miles north-east of Nikolayev. There they were interned as aliens among a population of Tartars, Bashkirs and Kirghis. Hans learned some Tartar, and was also taught German. Drawings that he made there show a village of log buildings inhabited by men in turbans, and a rider on a Bactrian camel.

Their mother taught the boys arithmetic and languages, and arranged for them to be introduced to biology by an interned zoologist and a botanist who took them into the surrounding countryside on summer afternoons. She supported the family by teaching in the village school when her husband was arrested and taken away for several months. The Russian Revolution came, and Kargala was captured and recaptured several times by the Reds and Whites.

In 1919, while fighting was still in progress, the family decided to try to return to Germany.



Смог ли бы Ганс Лиссманн пройти переаттестацию по правилам ФАНО?



Публикации Ганса Вернера Лиссманна
с 1951 по 1978 г.
13 статей за 28 лет

BIOGRAPHICAL MEMOIRS

**Hans Werner Lissmann, 30 April 1909 - 21
April 1995**

R. McN. Alexander, F. R. S.

Biogr. Mem. Fell. R. Soc. 1996 **42**, 235-245, published 1 November 1996

- 1951 Continuous electrical signals from the tail of a fish, *Gymnarchus niloticus* Cav. *Nature, Lond.* **167**, 201.
- 1958 On the function and evolution of electric organs in fish. *J. exp. Biol.* **35**, 156-191. (with K.E. Machin) The mechanism of object location in *Gymnarchus niloticus* and similar fish. *J. exp. Biol.* **35**, 451-486.
- 1960 (with K.E. Machin) The mode of operation of electric receptors in *Gymnarchus niloticus*. *J. exp. Biol.* **37**, 801-811.
- 1961 Zoology, locomotory adaptations and the problem of electric fish. In *The cell and the organism* (ed. J.A. Ramsay & V.B. Wigglesworth), pp. 301-317. Cambridge University Press.
Ecological studies on gymnotids. In *Bioelectrogenesis* (ed. C. Chagas & A. Paes de Carvalho), pp. 215-226. Amsterdam: Elsevier.
- 1964 (with J. Gray) The locomotion of nematodes. *J. exp. Biol.* **41**, 135-154.
- 1965 (with H.O. Schwassmann) Activity rhythm of an electric fish, *Gynnorhamphichtrys hypostomus* Ellis. *Z. vergl. Physiol.* **51**, 153-171.
- 1968 (with A.M. Mullinger). Organization of ampullary electric receptors in Gymnotidae (Pisces). *Proc. R. Soc Lond.* **B169**, 345-378.
- 1978 James Gray. *Biogr. Mem. Fell. R. Soc. Lond.* **24**, 55-70.

Кто такой Мэтью Болтон?



Что хуже?

Не понимать, что англичане ружья кирпичом не чистят или не знать кто такой Мэтью Болтон?



Скажите государю, что у англичан ружья кирпичом не чистят: пусть чтобы и у нас не чистили, а то, храни бог войны, они стрелять не годятся.



Паровая машина



И. И. Ползунов



Первые универсальные действующие паровые машины были построены английским изобретателем Джеймсом Уаттом и русским изобретателем Иваном Ивановичем Ползуновым.





1956



1978

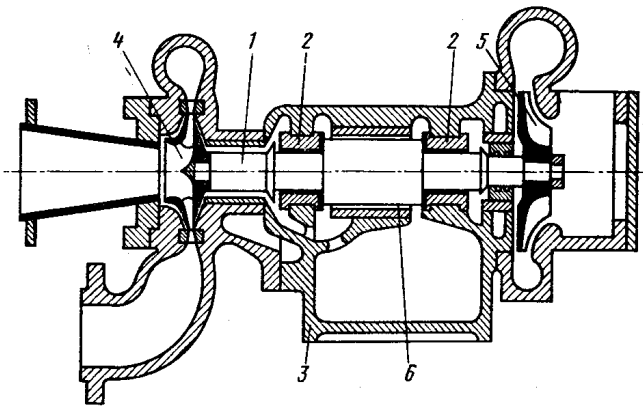
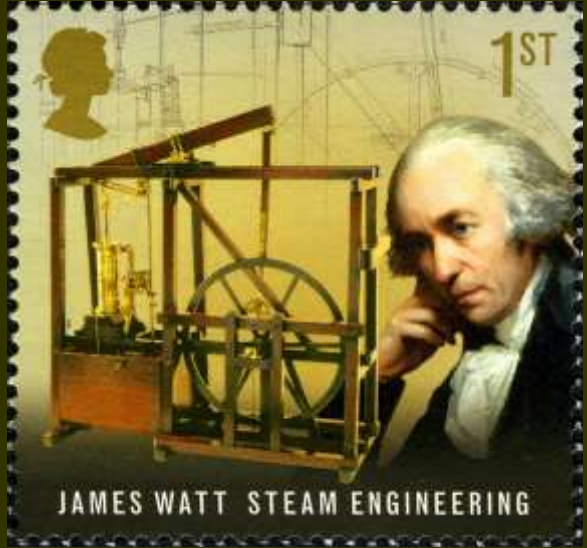
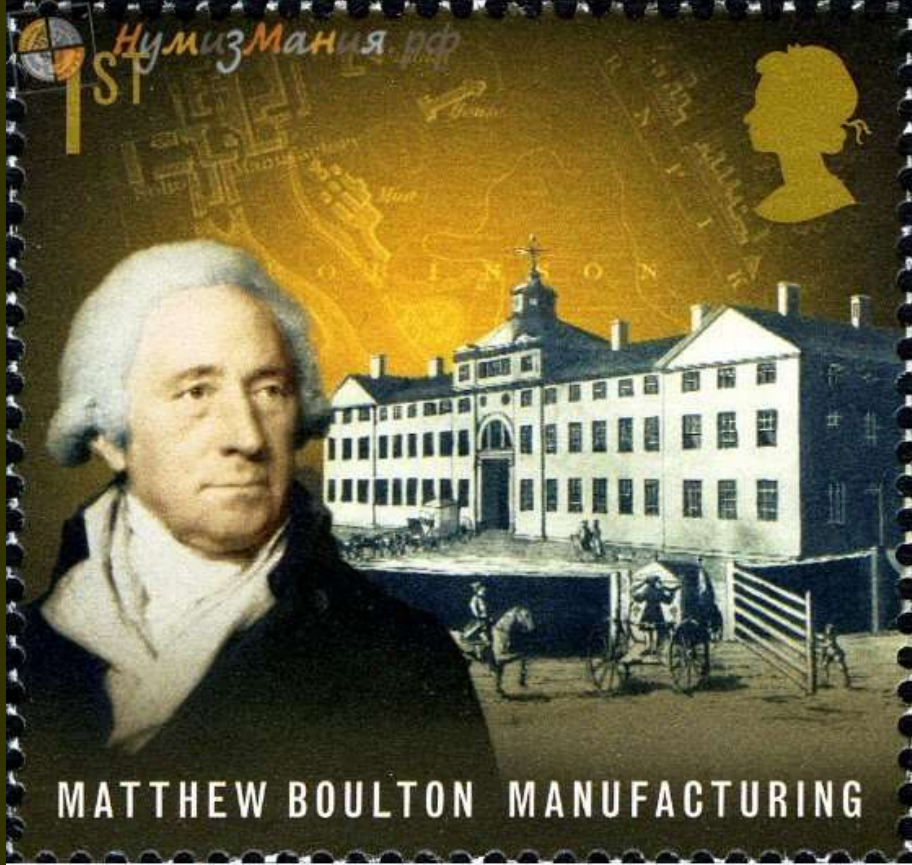


Рис. 1. Быстроходный турбодетандер (схема):
1 — ротор; 2 — подшипники; 3 — корпус; 4 — рабочее колесо;
5 — тормоз-крыльчатка; 6 — масляный тормоз-подшипник

В разработке детандеров ведущую роль в СССР с 1936 года играл академик Капица, в частности предложивший усовершенствованную конструкцию турбодетандера, позволившую поднять его КПД с 0,52—0,58 до 0,79—0,83, то есть в 3 раза снизить потери по сравнению с лучшими до того в мире турбодетандерами немецкой фирмы Линде).





БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!

Ольшанский В.М., Сюэ Вэй

