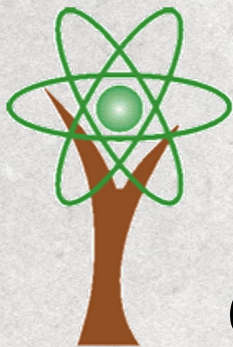


И.В. Володяев, МГУ им. М.В. Ломоносова

Е.В. Наумова, ИФП СО РАН, Новосибирский Академгородок

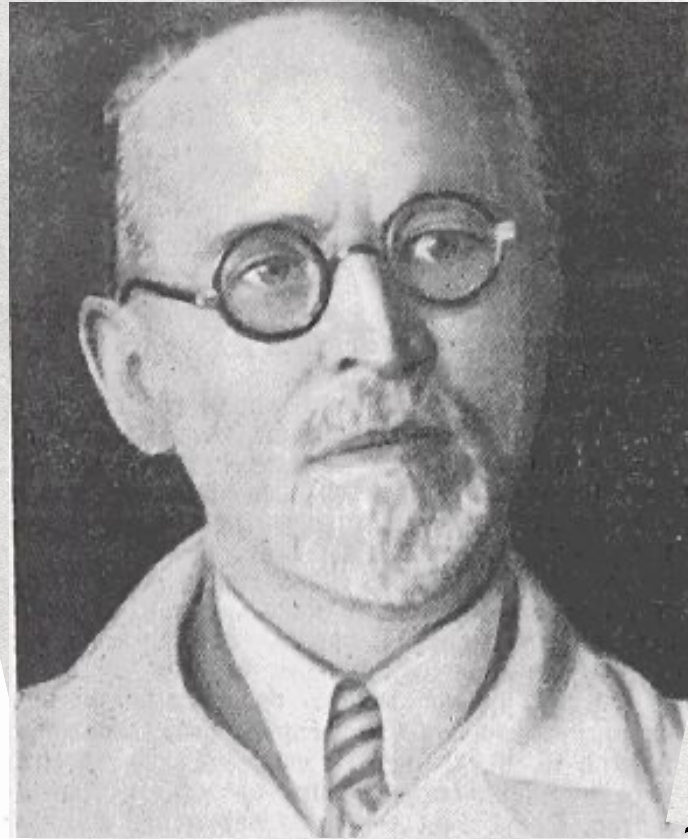
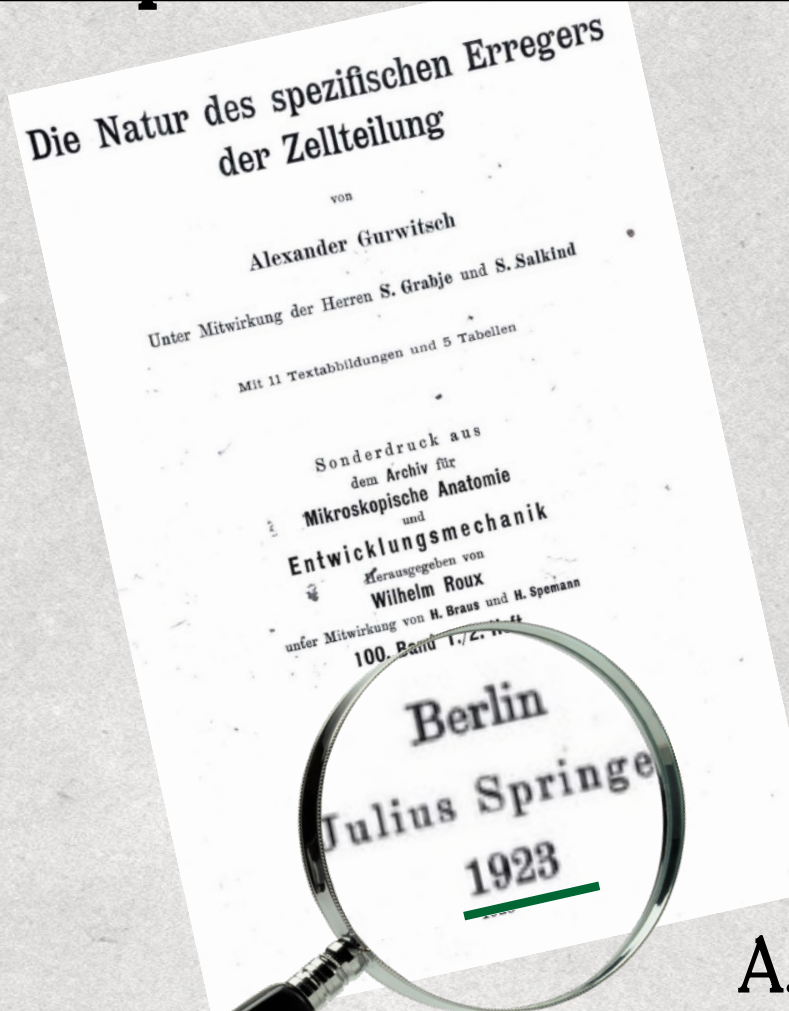
Посвящается 100-летию открытия  
сверхслабого свечения биообъектов

# Исторический обзор физических исследований сверхслабого свечения биообъектов в среднем ультрафиолетовом диапазоне (митогенетического излучения)



Пятая международная конференция «Физика — наукам о жизни»  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 17–19 октября 2023 г.

# Открытие митогенетического эффекта (МГЭ): Кто? Где? Когда?



*А.Г. Гурвич и его научный коллектив,  
Таврический университет, Симферополь,  
1924*

А.Г.Гурвич (1874-1954), биолог-гистолог.

Лауреат Сталинской премии (1940) за работы по МГЭ и онкодиагностике.

11 раз номинировался на Нобелевскую премию:

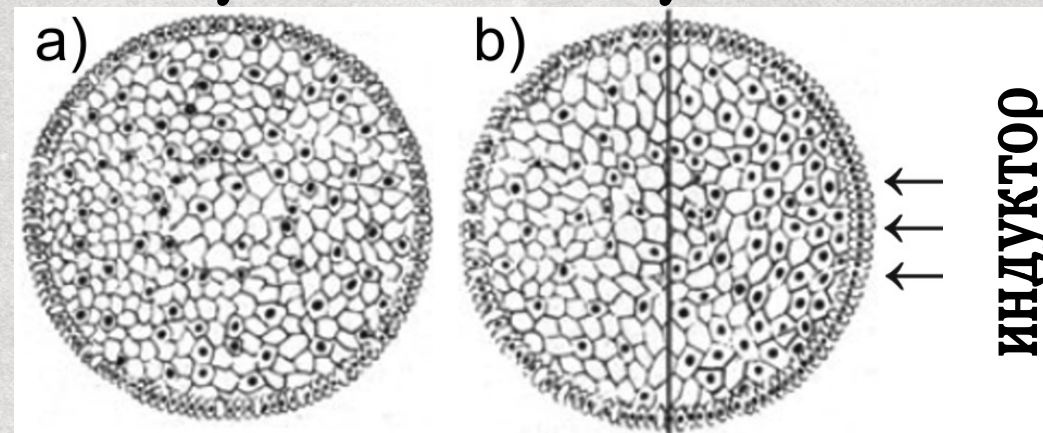
1 раз по физике, 10 раз по физиологии и медицине (до лауреата не хватило 2 голосов).<sup>2</sup>

# Открытие МГЭ: "луковый" эксперимент

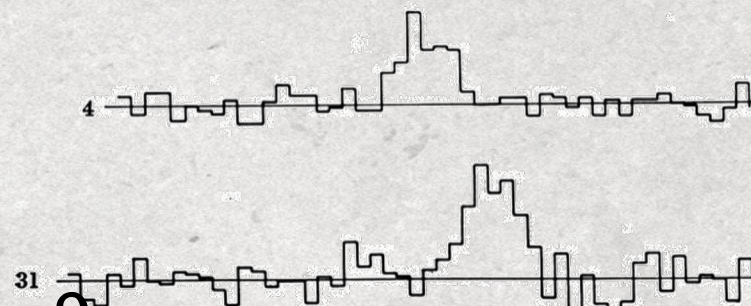
Схема эксперимента



Схема поперечных срезов корней:  
необлученного и облученного



*T. Reiter, and D. Gabor, Zellteilung und Strahlung (1928)*



**Разница количества митозов между  
половинами**

в серии последовательных продольных срезов  
*A. G. Gurwitsch, "Die Natur des spezifischen Erregers der Zellteilung,"*

*Arch. Mikr. Anat. Emb. 100(1), (1922)*

*A. G. Gurwitch, Das Problem der Zellteilung physiologisch betrachtet, Berlin (1926).*

# Отсутствие видоспецифичности, разнообразие биологических

## *Индукторы*

- Злокачественные опухоли
- Быстро размножающиеся микроорганизмы, растущие культуры тканей
- Меристемы растений
- Работающие мышцы, включая сердце, возбужденные нейроны
- Кровь молодых здоровых людей
- Резорбционные и регенерирующие ткани
- Большинство биообъектов в стрессовых условиях

## объектов

## *Реципиенты (=детекторы)*

- Бактериальные, дрожжевые, тканевые культуры
- Меристема растений
- Роговица глаза лягушки
- Делящиеся эмбриональные клетки

## *Не являются индукторами*

Не растущие или медленно растущие культуры клеток

- Кровь при ряде заболеваний
- Внутренние органы и др.

Расстояние индуктор-детектор: от мм до десятка см

Время облучения: от секунд до часа

# “Золотой век” исследований митогенетического эффекта: 1923-

1948 г.  
“Среди биологических работ, которые публикуются из Вашей страны, ничто так не привлекает внимание научного мира, как Ваши работы.”

*Из письма Альбрехта Бете от 8.01.1930 к А.Г. Гурвичу*

## Исследователи митогенетического эффекта



Д.Габор    Н.Н.Семенов    Ю.Б.Харитон    Я.Б.Зельдович    Г.М.Франк    В.Герлах

>100 ученых из разных стран подтвердили митогенетический эффект

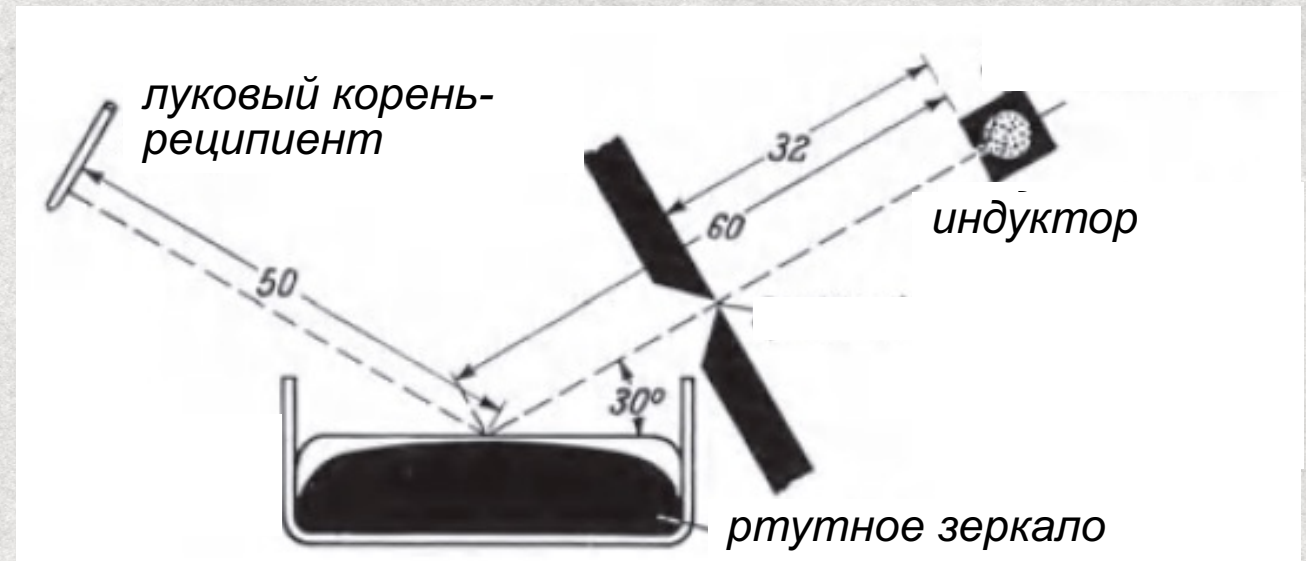
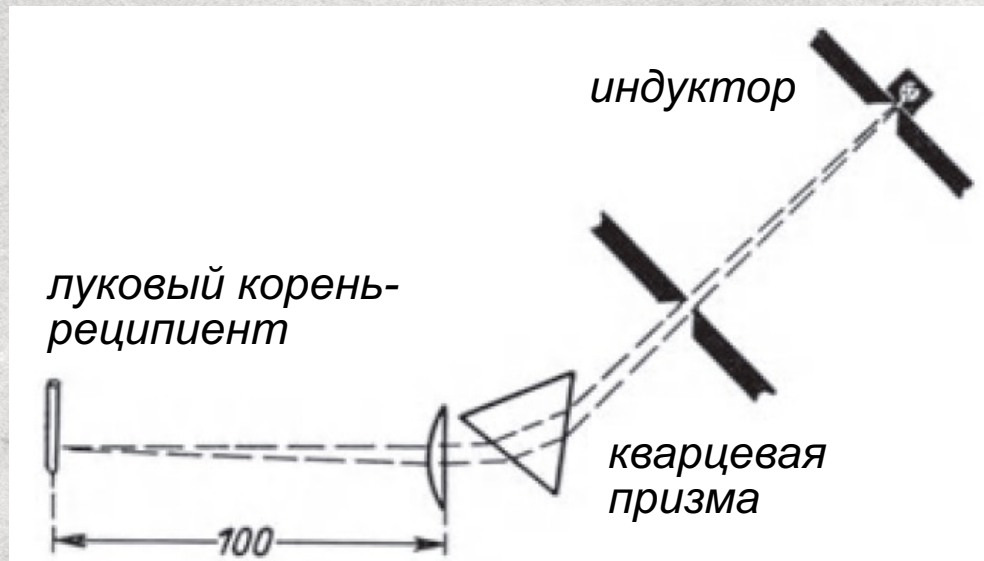
>1000 публикаций по исследованиям митогенетического эффекта, из них >50 в “топовых журналах”

*см монографии и обзоры O. Rahn, Invisible radiations of organisms, Gebruder Borntraeger, Berlin (1936), А. Г. Гурвич, and Л. Д. Гурвич, Митогенетическое излучение. Изд. ВИЭМ. Ленинград (1934). I. V. Volodvaev, and L. V. Belousov. "Revisiting the mitogenetic effect of ultra-*

# Митогенетический фактор: УФ-излучение

- Химическая изоляция не влияет -> не химический фактор
- Распространяется прямолинейно, отражается, преломляется в кварцевой призме ->

электромагнитное излучение



*T. Reiter, and D. Gabor, Zellteilung und Strahlung (1928)*

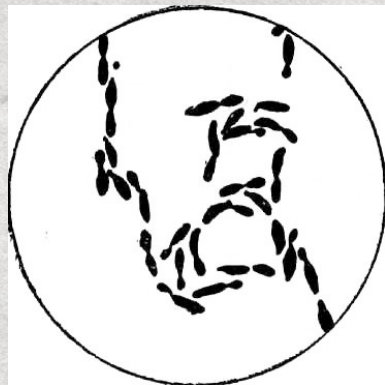
- При размещении кварцевой пластинки между индуктором и детектором эффект наблюдается, со стеклянной пластинкой - исчезает -> ультрафиолет.

*A Gurwitsch, "Physikalisches über mitogenetische Strahlen," Arch Anat. Ent. 103(3), (1924), T. Reiter, and D. Gabor, Zellteilung und Strahlung, Springer-Verlag, Berlin (1928)*

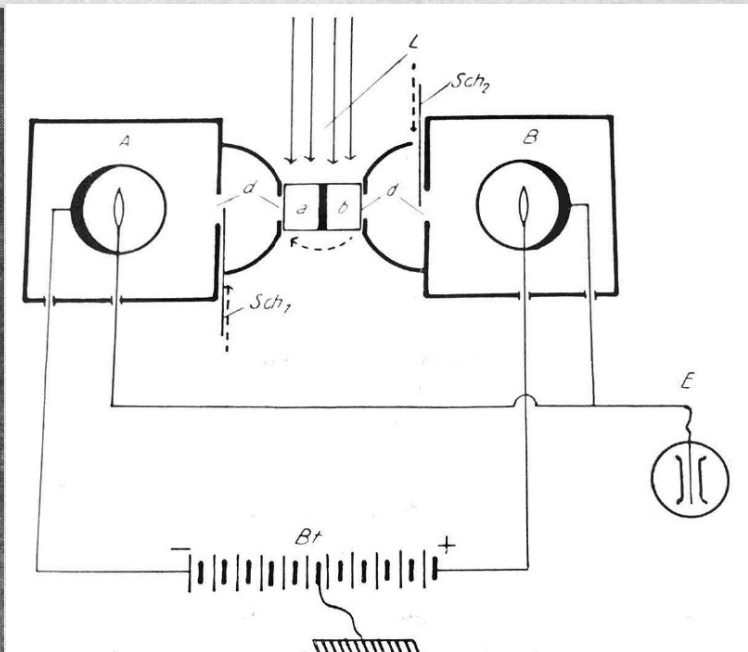
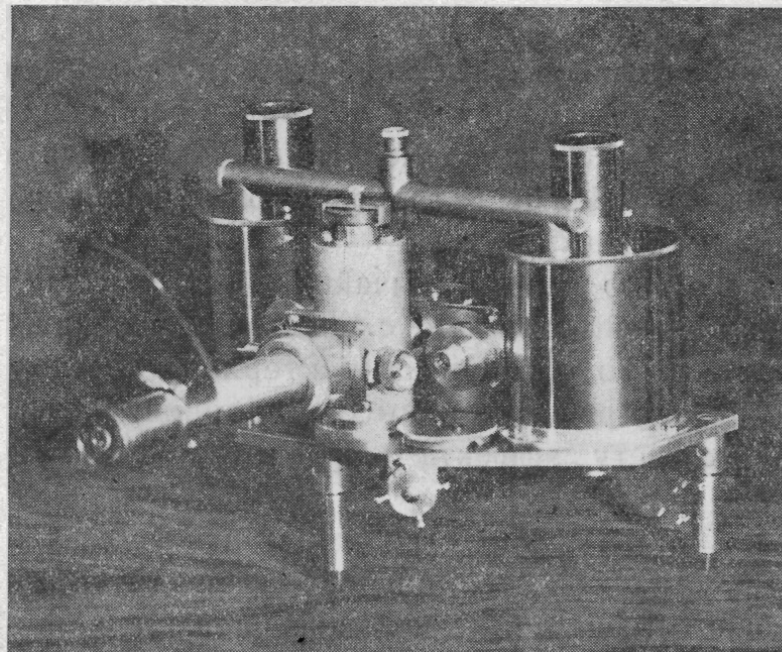
# Биологическое детектирование



Лук



Дрожжи  
и бактерии



Нефелометр Г.М. Франка

*А. Г. Гурвич and Л. Д. Гурвич, Митогенетическое излучение. Изд. ВИЭМ, Ленинград, 1934*

*G. Frank, "Über die Erforschung mitogenetischer Strahlung mittels einer neuen nephelometrischen Methode," Biologisches Zentralblatt, vol. 52, no. 1, pp. 1-12, 1932.*

## Недостатки биологических детекторов:

- трудоемкость методик,
- влияние многочисленных внешних факторов,
- естественная вариабельность



НУЖНЫ НЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ

# Физико-химические (неудачные) подходы к детектированию митогенетического излучения (МГИ)

Фотопластинки и фотоэлектрические элементы- отрицательные и ложноположительные результаты

Влияние на кольца Лизеганга, ускорение разложения перекиси водорода, ускорение флокуляции нестабильных коллоидных растворов — много влияющих факторов, не получили распространения

Влияние на кольца Лизеганга: облучение через щель



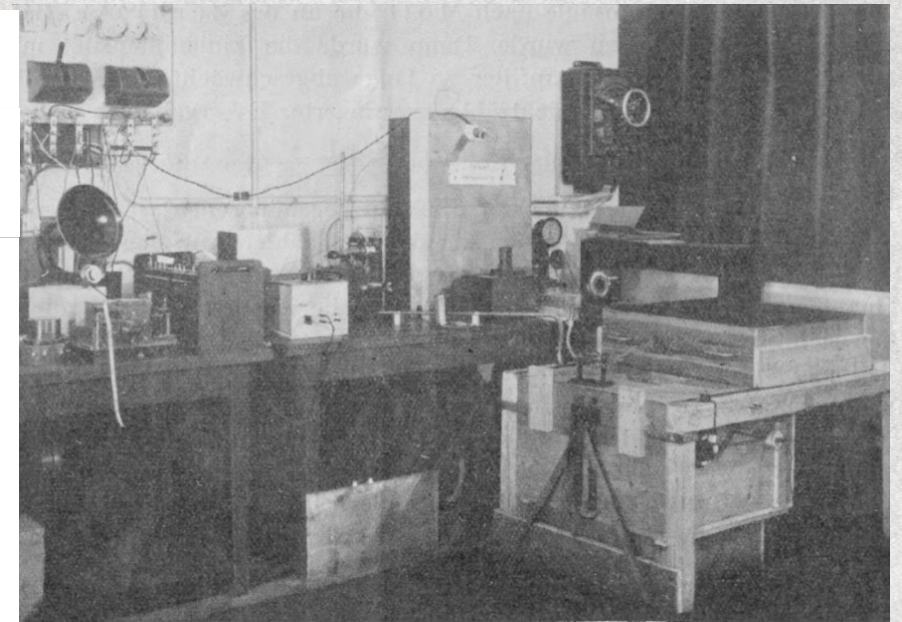
через непрозрачный целлофан

через кварц

Stempell, W., *Die unsichtbare Strahlung der Lebewesen*, Jena, 1932.



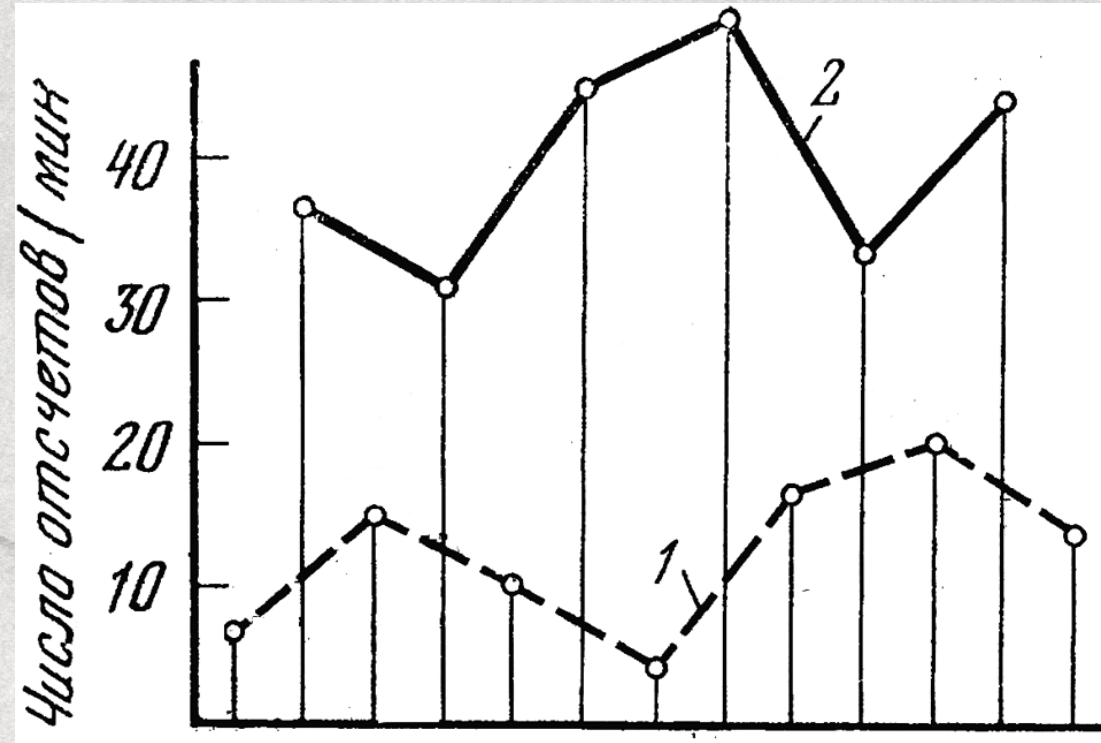
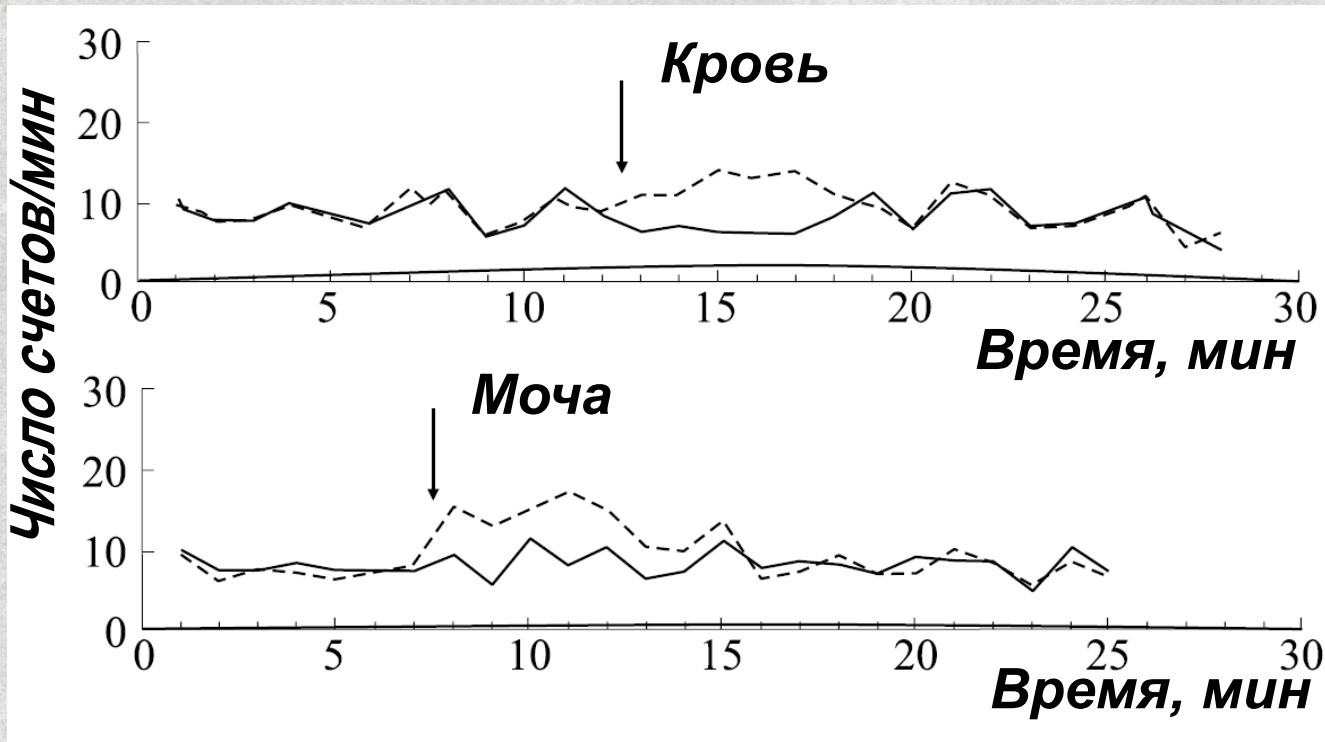
# Счетчик Гейгера-Мюллера с фоточувствительным катодом



## Первый счетчик Гейгера-Мюллера с фоточувствительным катодом для исследований митогенетического излучения (Rajewsky В 1931)

*B. Rajewsky, "Anordnung zur Messung kleinster Lichtintensitäten," Z. Physik, vol. 63, p. 576, 1930; B. Rajewsky, "Zur Frage des physikalischen Nachweises der Gurwitsch-Strahlung," in Zehn Jahre Forschung auf dem physikalisch-medizinischen Grenzgebiet, F. Dessauer, Ed., ed Leipzig: Georg Thieme Verlag, 1931, 244-257; B. Rajewsky, "Ultraviolett-Strahlung des Eiweiss," Klinische Wochenschrift, vol. 10, 1672-1673, 1931; G. Frank and S. Rodionow, "Uber den physikalischen Nachweis mitogenetischer Strahlung und die Intensitat der Muskelstrahlung," Die Naturwissenschaften, vol. 19, 659-659, 1931; W. W. Siebert and H. Seffert, "Physikalischer Nachweis der Gurwitsch-Strahlung mit Hilfe eines Differenzverfahrens," Naturwissenschaften, vol. 21, 193-194, 1933; O. Rahn, Invisible radiations of organisms. Berlin, 1936; А. Г. Гурвич and Л. Д. Гурвич, Митогенетическое излучение. Ленинград: Изд. ВИЭМ, 1934; W. W. Siebert and H. Seffert, "Zur Frage des Physikalischen Nachweis der Gurwitsch-Strahlung (Mitogenetic rays Measurement and demonstration)," Naturwissenschaften, vol. 9, p. 193, 1933; H. Barth, "Versuche zum physikalischen Nachweis von mitogenetischer Strahlung // . 1934 T. 35 Сер. Б, вып. 1 С 29-35.," Архив биологических наук, Сер. Б, vol. 35, 29-35, 1934; O. Glasser and H. Barth, "Studies on the Problem of Mitogenetic Radiation," Radiology, vol. 30, 62-67, 1938.*

# Измерения на газоразрядных счетчиках



> 2 000 экспериментов в клинике Шарите (Берлин):  
МГИ крови и мочи здоровых людей, крови онкобольных,  
крови кроликов и некоторых окислительных модельных  
систем (дифференциальный метод)

*W. W. Siebert and H. Seffert, "Zur Frage des Physikalischen Nachweis der Curwitsch-Strahlung,"  
Archive of Biological Sciences. Ser B., vol. 35, no. 1, pp. 177-181, 1934.*

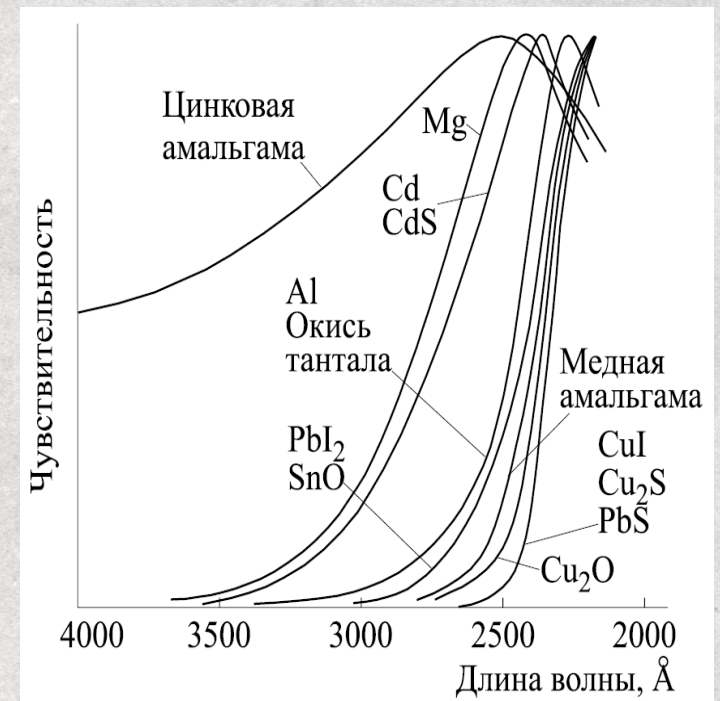
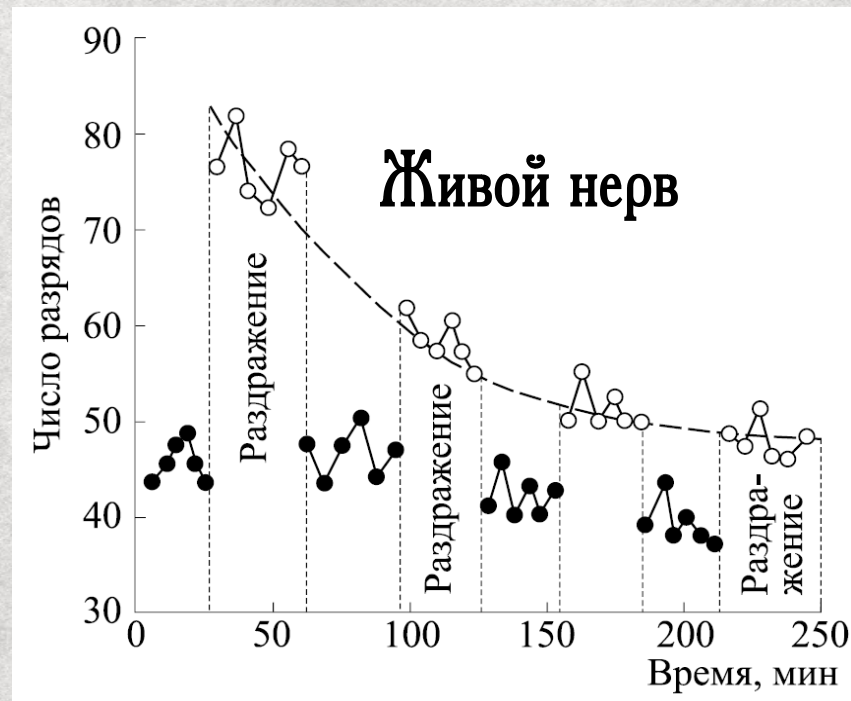
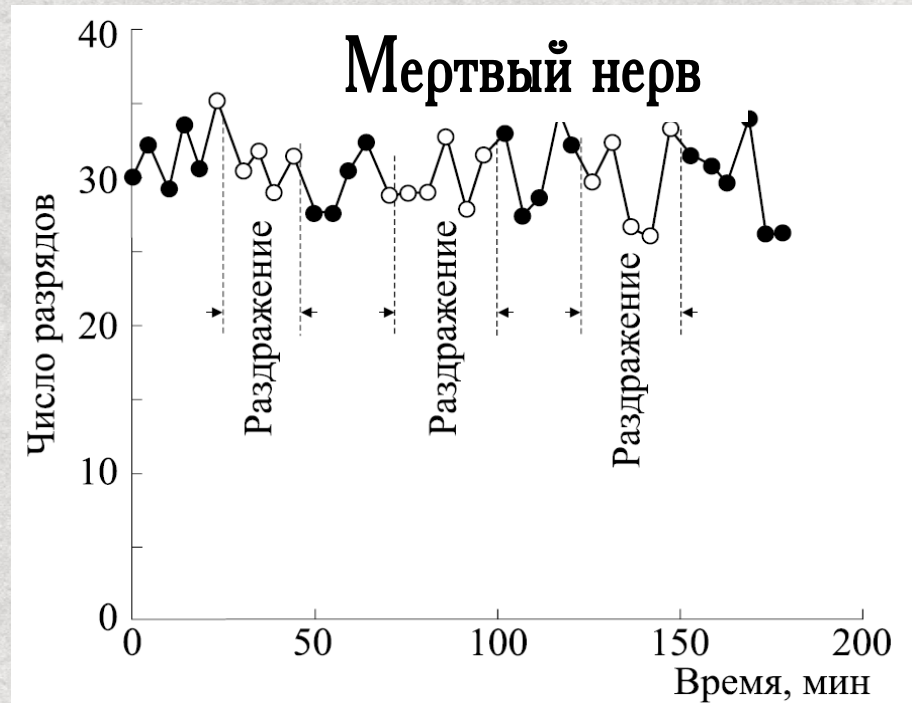
Измерения МГИ мышцы  
1-покой, 2- возбуждение, интервал — 1  
мин

*Frank, G., Rodionow S., Biochem. Z., 1932. 249*

# Измерения на газоразрядных счетчиках (1930-35 гг)

Публикации	Исследуемые объекты	
Rajewsky, 1930,1931, 1932	Корни, кашица из лука, карцинома, ее кашица, коагуляция белка	+
Schreiber&Friedrich, 1930	Дрожжи	-
Франк&Родионов, 1931-34	Мышца лягушки, ее кашица, сердце лягушки, (био) химические реакции	+
Locher, 1932	Корни лука , бактерии	-
Seyfert, 1932	Кашица,корни лука, дрожжи, куриные эмбрионы, злокачественные опухоли мышей	-
Audubert&Doormaal, 1933	Химические окислительные реакции	+
Siebert &Seffert, 1933	Кровь, карциномы, моча, окислительные реакции	+
Gerlach 1933	Неорганические химические реакции	+
Gray and Ouellet, 1933	Яйца морского ежа сперматозоиды, дрожжи, окисл.процессы	-
Lorenz, 1934	Кашица,корни лука; эмбрионы, саркома мышцы; мышцы лягушки	-
Barth, 1934	Неорганические химические реакции, ферментативные процессы	+
Kreuchen&Bateman, 1934	Дрожжи, мышца лягушки	-

# “Окончательное” доказательство сверхслабого свечения биологических и химических систем в среднем УФ диапазоне (1938 г)



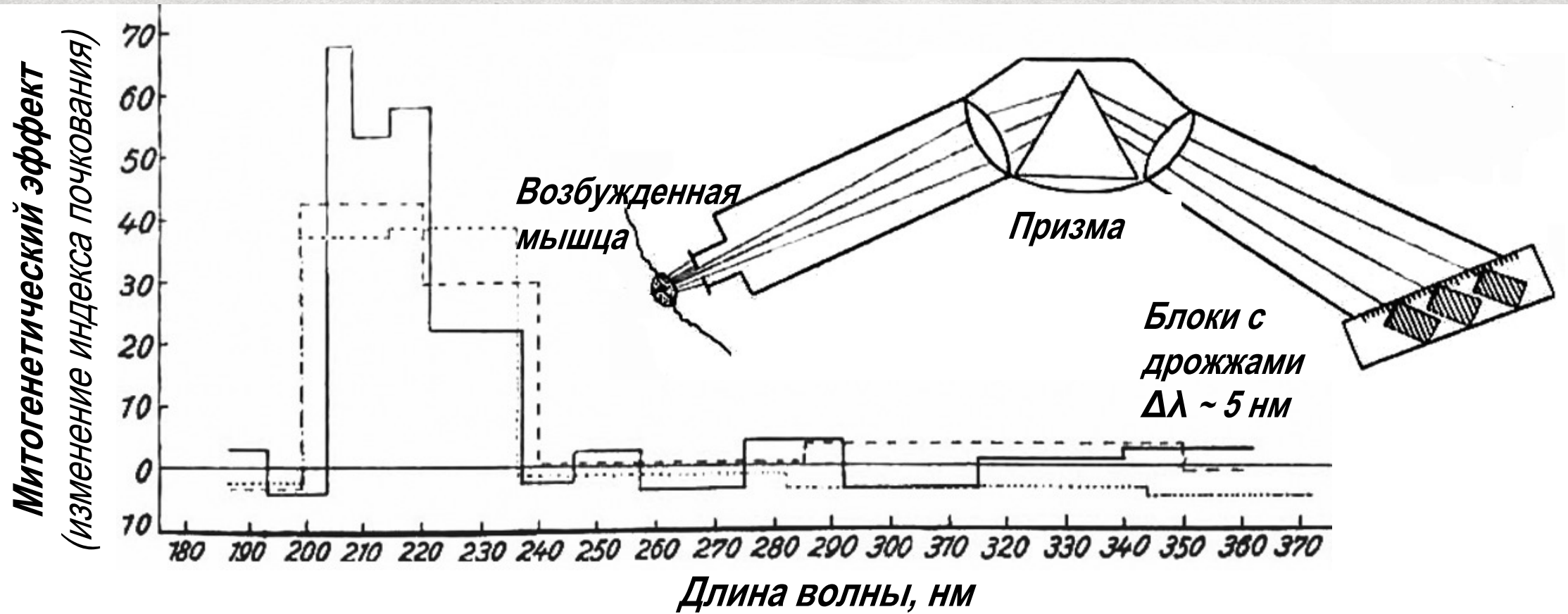
Audubert, R., *Ang. Chemie*, 51, (1938); *Transactions of the Faraday Society* 35, 197 (1939); *Comptes Rendus. Acad. Sci.* 202, 131 (1936), 202, 406 (1936), 202, 1504 (1936), 34, 18 (1937), 204, 431 (1937), 204, 1192 (1937), 205, 133 (1937), 206, 748 (1938), 206, 1639 (1938), 208 (23), 1810 (1939).

Интенсивность :  $10-1000$  фотонов  $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$ , спектральные оценки МГИ ряда хим.

«...эмиссия ультрафиолета как при многочисленных химических реакциях, так и при биологических процессах окончательно установлена обычными физическими методами.»

акад. С.И. Вавилов, конф. Фарадеевского общества, <sup>12</sup>1938

# Митогенетический спектральный анализ



Из Frank, G., *Das mitogenetische Reizminimum und -maximum und die Wellenlänge mitogenetischer Strahlen*. Biol. Zentr., 1929. 49: p. 129-141

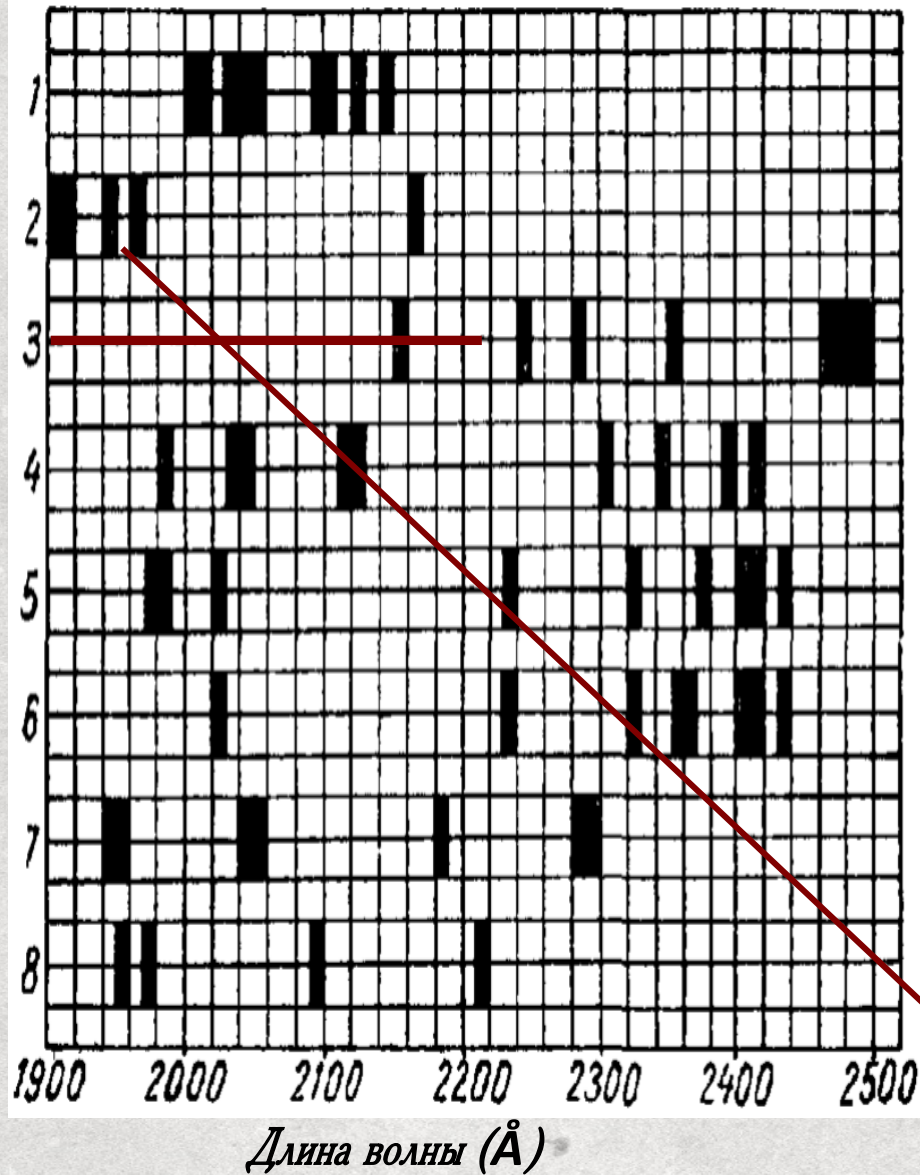
**Спектральный диапазон МГИ : 190-280 нм, для большинства индукторов: 190-250 нм**

Гурвич А. Г., Гурвич Л. Д., *Митогенетическое излучение* (1934); Гурвич А. Г., Гурвич Л. Д. *Введение в учение о митогенезе* (1948);

А. А. Гурвич, *Проблемы митогенетического излучения как аспект молекулярной биологии* (1968).

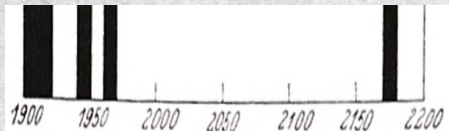
# Спектральный анализ МГИ

Спектры УФ-хемилюминесценции ряда биохимических процессов



- 1 — расщепление креатинфосфата,
- 2 — расщепление глюкозы,
- 3 — расщепление нукл. кислоты и лецитина,
- 4 — расщепление пептидов,
- 5 — расщепление мальтозы,
- 6 — расщепление сахарозы,
- 7 — расщепление мочевины,
- 8 — расщепление липидов.

*Из Гурвич А.Г. и Гурвич Л.Д. Митогенетическое излучение: Физико-химические основы и приложения в биологии и медицине. М (1945)*



Спектр излучения крови, совпадает со спектром наблюдаемым при расщеплении глюкозы, было показано, что такой спектр связан с возбужденными состояниями молекул

**глюкозы**  
*Biochem. Z. 239, 424 (1931)*

из *J. Ponomarewa, "Die mitogenetische Spektralanalyse"*

# Типы митогенетического излучения

**Первичное или спонтанное:** относительно немного индукторов МГЭ (например, опухоли, дрожжи, донце луковицы)

**Вторичное:** Излучение возникающее под действием облучения сторонним МГИ.

Большинство индукторов МГЭ именно вторичные излучатели, в том числе корни лука.

Спектр вторичного излучения характеризует вторичный излучатель, не совпадает со спектром первичного излучения

**Деградационное:** под действием стимуляции различными другими физическими факторами (охлаждение, электрический ток и т.п.), имеет существенно отличные спектры, наблюдается у объектов, которые без стимуляции не являются индукторами МГЭ (например, печень, почки)

# Вторичное излучение

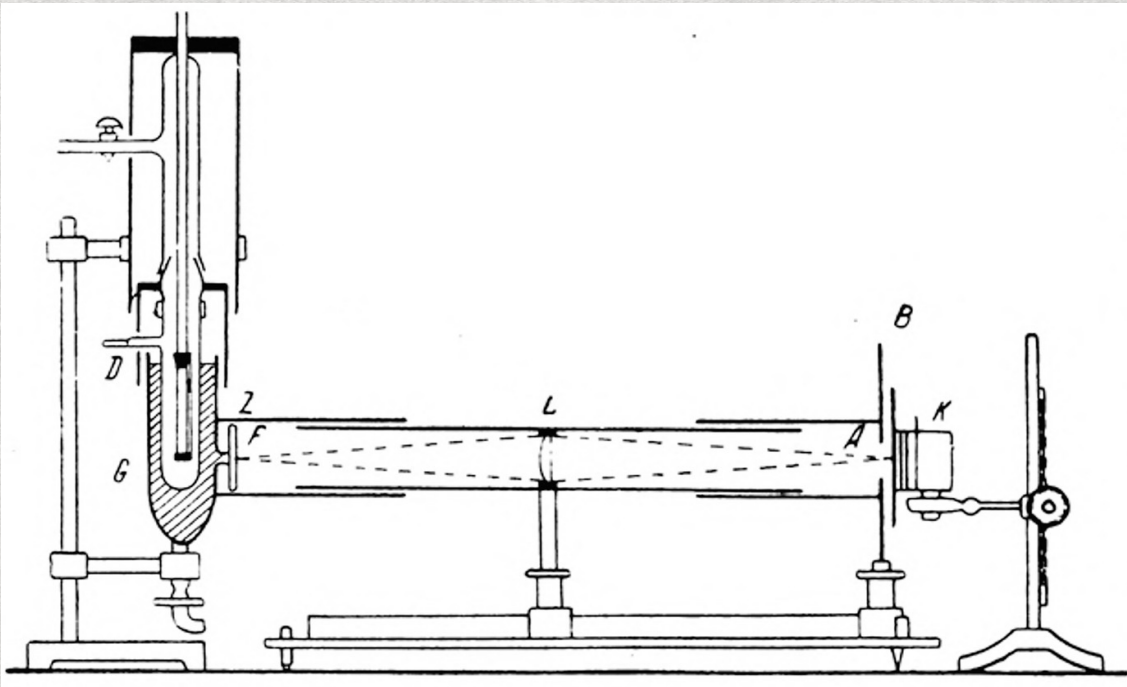


Схема установки для регистрации  
вторичного излучения модельных химических  
систем  
на газоразрядном счетчике

Г. Барт, "Физические исследования к вопросу о проблеме митогенетического излучения" Архив биологических наук 46 (1), 153-177 (1937).

раствор нуклеиновой кислоты в желатине

322-324 нм



245- 250 нм



*A. Gurwitsch and L. Gurwitsch, Biochemische Zeitschrift, vol. 246, pp. 127-133, 1932.*

Энергия кванта вторичного излучения выше, чем энергия кванта возбуждающего излучения  
Скорость распространения вторичного излучения ~ десятки м/с



# Критика экспериментов по спектрам вторичного излучения

Теоретическая критика. Противоречие здравому смыслу и научным знаниям того времени (J. V. Bateman, "Mitogenetic radiation," *Biological Reviews*, vol. 10, no. 1, pp. 42-71, 1935.)

## MITOGENETIC RADIATION

BY J. V. BATEMAN<sup>1</sup>.

(Physiological Laboratory, Cambridge.)

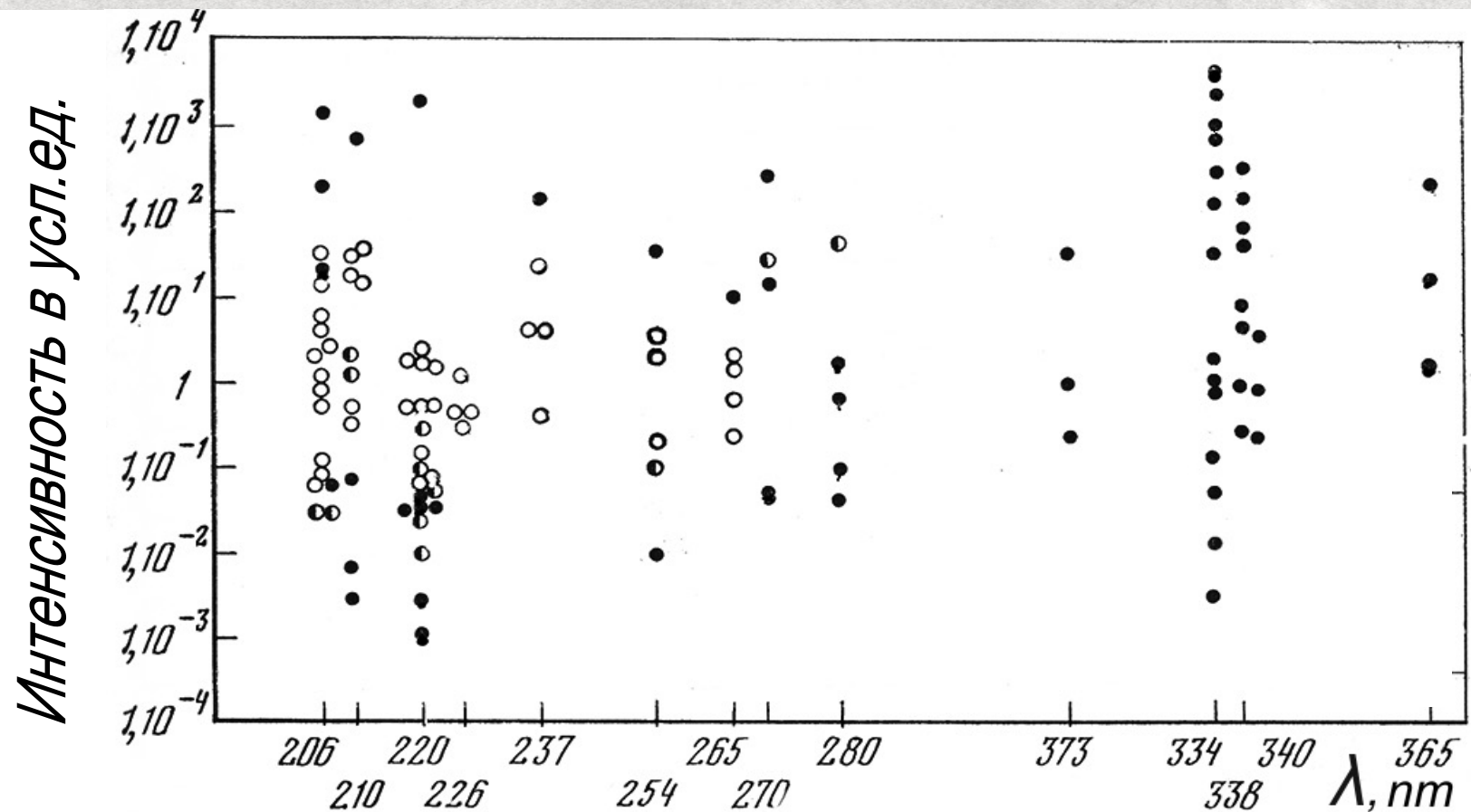
закон Стокса (1852 г)

Теоретическое предсказание антистоксовых компонент фотолюминесценции  
(Ландау, 1946)

Экспериментальное наблюдение антистоксовых процессов (Н. Бломберген, 1959)

Современность: широкое применение антистоксовых процессов  
Like Maxwell's demon, the Gurwitsch demon is simply an invention for evading—on paper—a thermodynamical law, with the important difference that we are seriously asked to believe in its existence.

# Митогенетический эффект от физических УФ-источников



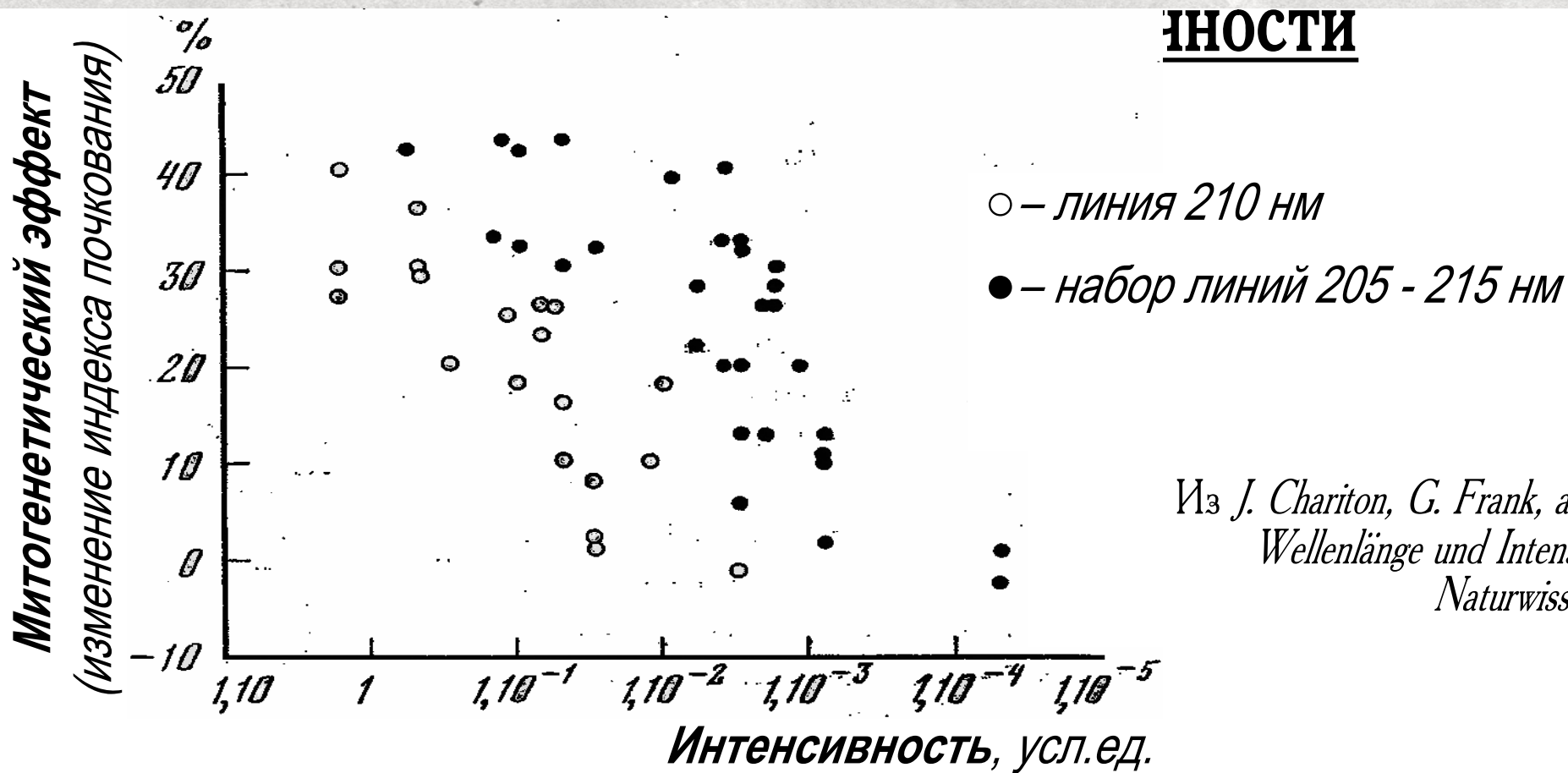
Зависимость митогенетического отклика дрожжевого детектора от интенсивности и длины волны ультрафиолетового излучения искусственных источников (искровые разряды алюминия, цинка, кадмия, **вакуумная лампа**),  
● - нет отклика,  
○ - сильный отклик,  
◐ - слабый отклик

Из J. Chariton, G. Frank, and N. Kannegiesser, "Über die Wellenlänge und Intensität mitogenetischer Strahlung," *Naturwissenschaften* 18, 411-413 (1930)

Диапазон: 206-265 нм

Для стимуляции митозов интенсивность должна быть на 5-6 порядков выше, чем у биологического индуктора

# Митогенетический эффект при различной степени



Из *J. Chariton, G. Frank, and N. Kannegiesser, "Über die Wellenlänge und Intensität mitogenetischer Strahlung," Naturwissenschaften 18, 411-413 (1930)*

К "немонохроматическому" излучению чувствительность оказалась выше на 1-2 порядка, впоследствии был сделан вывод, что причиной был слабый рассеянный видимый свет в "немонохроматическом" излучении

# Основные результаты 1923—1948 гг

- открыт митогенетический эффект;
- обнаружено отсутствие видоспецифичности эффекта, широкое разнообразие индукторов и детекторов;
- установлено, что эффект обусловлен УФ-излучением 190-280 нм с интенсивностью 10-1000 фотонов  $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$ . Источник: предположительно хемилюминесцентные реакции с участием свободных радикалов, механизм биологического детектирования: неизвестен, временной характер излучения предположительно в виде отдельных вспышек;
- обнаружена УФ-хемилюминесценция, исследованы ее спектры для (био-) химических реакций, а также спектры митогенетического излучения биообъектов, в том числе в динамике (отклик нервной системы на различные раздражения, мышечная активность и др.);
- обнаружен универсальный высокоспецифичный онкомаркер крови (более чем за 25 лет до альфа-фетопротеина), - тушитель УФ-хемилюминесценции, пептид (группа пептидов), исследованы его физико-химические свойства, разработана и опробована в клинических условиях методика онкодиагностики (чувствительность и специфичность  $>95\%$ )

# Критика

- **Негативные экспериментальные работы:** ~ 20 публикаций не подтвердили эффект, т.е. <3%, (*М. Nakaidzumi, H. Schreiber, Biochem. Z., 358 (1931). К. Н. Kreuchen, J. B. Bateman, Protoplasma, 243 (1932) и др.*, **их методические ошибки разобраны в ответной критике, например, А. Г. Гурвич, and Л. Д. Гурвич, Введение в учение о митогенезе, Изд-во Акад. мед. наук СССР, 1948.**
- **Экспериментальные работы, объясняющие МГЭ другими факторами, например, “ничтожные количества паров эфирного масла лука могут дать картину, аналогичную с митогенетическим эффектом”**, *Б. П. Токин, Митогенетические лучи (Государственное медицинское изд-во, 1933)*, **критика охватывала только часть экспериментальных материалов, - без химической изоляции и т.п.**
- **Критика, направленная на недостаточную убедительность ряда положительных работ.** (лучший критический обзор *A. Hollaender, "The problem of mitogenetic rays," in Biological effects of radiation, B. Duggar, ed. (McGraw-Hill Book Company, Inc., 1936), pp. 919-958*) Серия отличных критических работ Холлендера в значительной мере способствовало тому, что в США исследования митогенетического излучения отнесли к “советской псевдонауке”, хотя он сам никогда не считал эти исследования псевдонаучными: “The mitogenetic ray problem is probably one of the most interesting in modern biology” “For our own part, however, we cannot believe that the phenomenon should be relegated to the limbo of an ignominious past, merely on the ground that some of the evidence presented by possibly overenthusiastic supporters is inconsistent.” *A. Hollaender and W. D. Claus, "Some Phases of the Mitogenetic Ray Phenomenon," Journal of Optical Society of America, vol. 25, pp. 270-286, 1935.*
- **Теоретическая критика** *J. B. Bateman, "Mitogenetic radiation," Biological Reviews, vol. 10, no. 1, pp. 42-71, 1935 и др.*<sup>21</sup> - **аргументы устарели**

# Почему прекратились работы по МГИ?

- В Европе разгром нацистами науки в Германии, эмиграция Д. Габора, Т. Рейтера, Г. Гейнемана, прекращение работ всех европейских научных групп этого направления в начале войны.
- В СССР исследования митогенетического эффекта подверглись гонениям одновременно с генетикой на августовской сессии ВАСХНИЛ 1948 г.
- Во времена “железного занавеса” работы по митогенетическому излучению на Западе были отнесены к “мракобесию советской науки”, а в СССР - к “буржуазной науке”.
- Критика: в США и Англии особенно сильное влияние оказали довоенные критические англоязычные статьи (Hollaender, Bateman, Anonim) и формирование негативного отношения к “советской науке”
- Отсутствие простых и надежных физических методов детектирования, нестабильность и трудоемкость экспериментов с биологическими детекторами

# “Новая” и “новейшая” история

С появлением ФЭУ начались активные исследования сверхслабых свечений биообъектов, но они сосредоточились на видимом, ближнем УФ и ИК диапазонах (и интенсивность регистрируемого излучений, и спектральная чувствительность ФЭУ выше, чем в УФ диапазоне) L. Colli, U. Facchini, Light Emission by Germinating Plants. *Il Nuovo Cimento* 12, 150 (1954): излучение растений в видимом диапазоне (часто неверно цитируется как приоритет по сверхслабому свечению биообъектов!)

А.Г.Гурвич полагал, что митогенетическое излучение обусловлено цепными химическими реакциями с рекомбинацией свободных радикалов. Это оказалось верно для излучения биообъектов в видимом, ближнем УФ и ИК диапазонах: определены свободные радикалы и полные каскады реакций, которые приводят в высвечиванию фотонов. Y. A. Vladimirov, E. V. Proskurnina, Free radicals and cell chemiluminescence. *Biochemistry (Moscow)* 74, 1545 (2009); M. Vacher et al., Chemi- and Bioluminescence of Cyclic Peroxides. *Chem. Rev.* 118, 6927–6974 (2018); P. Pospisil, A. Prasad, M. Rac, Role of reactive oxygen species in ultra-weak photon emission in biological system

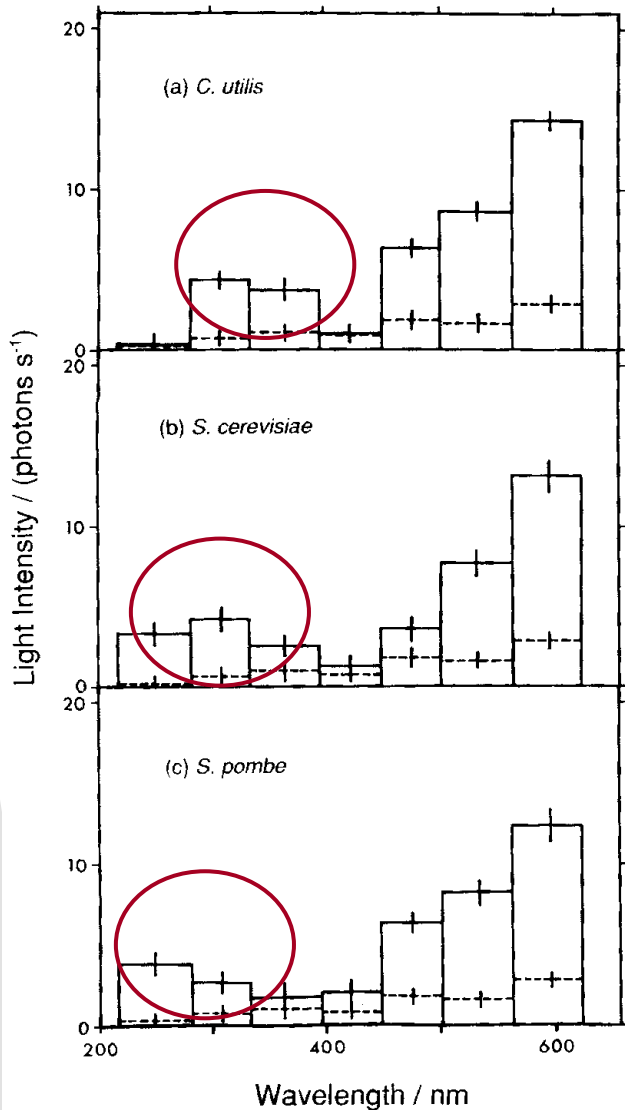
Подтверждены оценки интенсивности и спектрального диапазона УФ-излучения биообъектов, выполненная на газоразрядных счетчиках (10-1000 квантов/см<sup>2</sup> сек, 190-260 нм) s. *Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology* 139, 11 (Oct 5, 2014).

A.A.Gurwitsch et al, Ultraweak emission in the visible and ultraviolet regions in oxidation of solutions of glycine by hydrogen peroxide. *Nature* 206, 20 (1965); N.A.Troitskii et al, Studies on ultraviolet hemi-luminescence of biological systems. *Biofizika* 6, 238 (1961); S.V. Konev et al, Very weak bioluminescence of cells in the ultraviolet region of the spectrum and its biological role. *Biofizika* 11, 361 (1966); А.А. Гурвич, В.Ф. Еремеев, Ю.А. Карабчиевский, Энергетические основы митогенетического излучения и его регистрация на фотоэлектронных умножителях. (1974).

**Подтверждены многие революционные научные выводы, сделанные на основании исследований МГИ: существование анти-стоксовых процессов, онкомаркеров крови и т.д.**

# Негативная статья в Nature

## “с её последующим разоблачением”



### Негативная статья:

*W. S. Metcalf, T. I. Quickenden, Mitogenetic Radiation. Nature 216, 169 (1967).*

### Последующие позитивные статьи:

*T. I. Quickenden, S. S. Que Hee, The luminescence of water excited by ambient ionizing radiation. Radiat Res 46, 28 (1971);*

*T. I. Quickenden, S. S. Q. Hee, The spectral distribution of the luminescence emitted during growth of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* and its relationship to mitogenetic radiation. Photochem Photobiol 23, 201 (1976);*

*R. N. Tilbury, T. I. Quickenden, Luminescence from the Yeast *Candida-Utilis* and Comparisons across 3 Genera. Journal of bioluminescence and chemiluminescence 7, 245 (1992);*

*T. I. Quickenden, R. N. Tilbury, Growth dependent luminescence from cultures of normal and respiratory deficient *Saccharomyces cerevisiae*. Photochem Photobiol 37, 337 (1983);*

*T. I. Quickenden, R. N. Tilbury, Luminescence Spectra of Exponential and Stationary Phase Cultures of Respiratory Deficient *Saccharomyces-Cerevisiae*. J Photoch Photobio B 8, 169 (1991).*

### Спектры различных дрожжевых культур:

*из Tilbury, R.N. and T.I.Quickenden, Luminescence from the Yeast *Candida-Utilis* and Comparisons across 3 Genera. Journal of Bioluminescence and Chemiluminescence, 1992. 7(4): p. 245-253.*



# Радиационный гормезис

## и вторичные биогенные излучения



Кузин, Александр Михайлович  
чл.корр. РАН,  
советский биофизик  
и радиобиолог,  
организатор и  
директор Института  
биофизики АН СССР

Снижение внешнего и внутреннего радиационного фона подавляет рост и развитие животных, растений и микроорганизмов.  $\gamma$ -облучение в небольших (далеких от летальных) дозах оказывает стимулирующий эффект: повышает индекс роста, выводит из состояния покоя почки растений и т.п. = **радиационный гормезис**

Эффект радиационного гормезиса связан с тем, что под действием радиации в биологическом объекте возникает вторичное УФ-излучение, именно оно стимулирует деление клеток, рост и развитие, и т.п.

А. М. Кузин, *Вторичные биогенные излучения-лучи жизни*. ( Рос. акад. наук, Ин-т биофизики клетки, Пущино, 1997) А.М. Кузин, *Роль природного радиоактивного фона и вторичного биогенного излучения в явлении жизни*. (Наука-М, 2002) А. М. С. Кузин, Г.Н. А. Ф. Ревин, Рад. биология. Радиоэкология **36** (2), 284 (1996). А. М. С. Кузин, Г.Н., Рад. биология. Радиоэкология **39** (1), 84 (1999). А. М. С. Кузин, Г.Н., А. Ф. Ревин, Рад. биология. Радиоэкология **34** (6), 832 (1994). А. М. Кузин, Г. Н. Суркенова, А. В. Будаговский, Г. А. Гуди, Рад биология. Радиоэкология **37** (4), 577 (1997).



# Почему работы по МГИ не возобновились?

- ▶ **Прекращение активности ведущих научных школ** раннего периода исследований - миграция ученых в военные области исследований, разгром науки в Германии, закрытие работ в СССР после августовской сессии ВАСХНИЛ 1948 г.
- ▶ **Сложившееся устойчивое предубеждение** (на Западе: “мракобесие советской науки“, “паталогическая наука“, в СССР: “буржуазная наука“, “лже-наука“, завиральные публикации в желтой прессе, разгромная статья в “Nature “ с “последующим разоблачением“).
- ▶ **Нет готовой методики, по которой можно в современных условиях воспроизвести МГЭ**, -либо не сохранилось неких значимых подробностей методик, естественным образом передававшихся с приемами работы в существовавших научных школах (Гурвича, Вольфа и др), либо изменились внешние условия (радиофон и тп), популярные в те времена штаммы микроорганизмов-детекторов малодоступны. Биологические части методик в значительной мере устарели, в литературе 1930-1940 отсутствуют библиографические ссылки на многие методики.
- ▶ **Недоступность оригинальных работ:** большинство отсутствует в Интернет, некоторые запрещены к выдаче в библиотеках (с 1948г!) у нас, а для зарубежных исследователей неизвестны из-за языкового барьера (например, все работы по применениям онкодиагностики в клиниках).

# Наши обзоры с использованием архива А.Г. Гурвича

- 1/ Naumova E. V., Naumova A. E., Isaev D. A., Volodyaev I. V. **Historical review of early researches on mitogenetic radiation: from discovery to cancer diagnostics**//Journal of Biomedical Photonics & Engineering. 2018. Т. 4, № 4. С. 040201, DOI: 10.18287/JBPE18.04.040201
- 2/ Наумова Е. В., Владимиров Ю. А., Белоусов Л. В., Тучин В. В., Володяев И. В. **Методы исследования сверхслабого свечения биологических объектов. I. История, фундаментальное и прикладное значение исследований сверхслабого свечения, его типы и свойства** //Биофизика.2021. Т. 66, № 5. С. 900-916. DOI:10.31857/s0006302921050082
- 3/ Володяев И.В., Белоусов Л.В., Концевая И.И., Наумова А.Е., Наумова Е.В. **Методы исследования сверхслабого свечения биологических объектов. II. Методы, основанные на биологическом детектировании**//Биофизика. 2021. Т. 66, № 6. С. 1082–1115, DOI: 10.31857/S0006302921060053
- 4/ Наумова Е.В., Владимиров Ю.А., Тучин В.В., Намиот В.А., Володяев И.В. **Методы исследования сверхслабого свечения биологических объектов. III. Физические методы**// Биофизика. – 2022. – Т. 67, № 1. – С. 37–72, DOI:10.31857/S0006302922010057

**Выходит в октябре 2023 “Ultra-weak photon emission from biological systems: Endogenous biophotonics and intrinsic bioluminescence” Editors: van Wijk, E., Volodyaev, I.V. ,Cifra, M., Vladimirov, Yu.A., to be printed 26 Oct 2023, ISBN 3031390776, 9783031390777**

**Ch. 2 Mitogenetic rays, Volodyaev I.V., Naumova E.V. DOI: 10.1007/978-3-031-39078-4\_2**

**Ch. 19 Mitogenetic effect in biological systems, Volodyaev I.V., Kontsevaya I.I., Naumova E.V. DOI: 10.1007/978-3-031-39078-4\_19**

**Ch. 20 Physical properties of mitogenetic radiation and methods of their study, Naumova E.V., Volodyaev I.V. DOI: 10.1007/978-3-031-39078-4\_20**

**Ch. 21 Secondary, degradation and necrobiotic radiation, Naumova E.V., Volodyaev I.V. DOI: 10.1007/978-3-031-39078-4\_21**

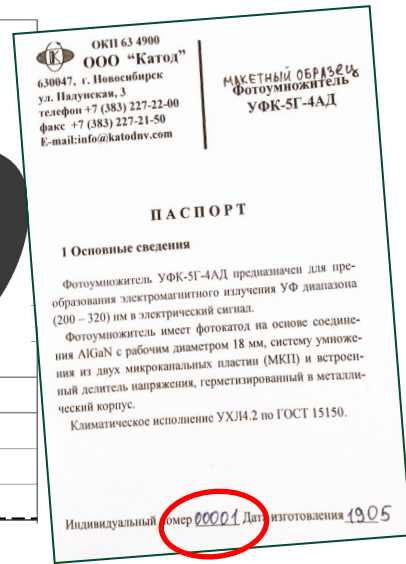
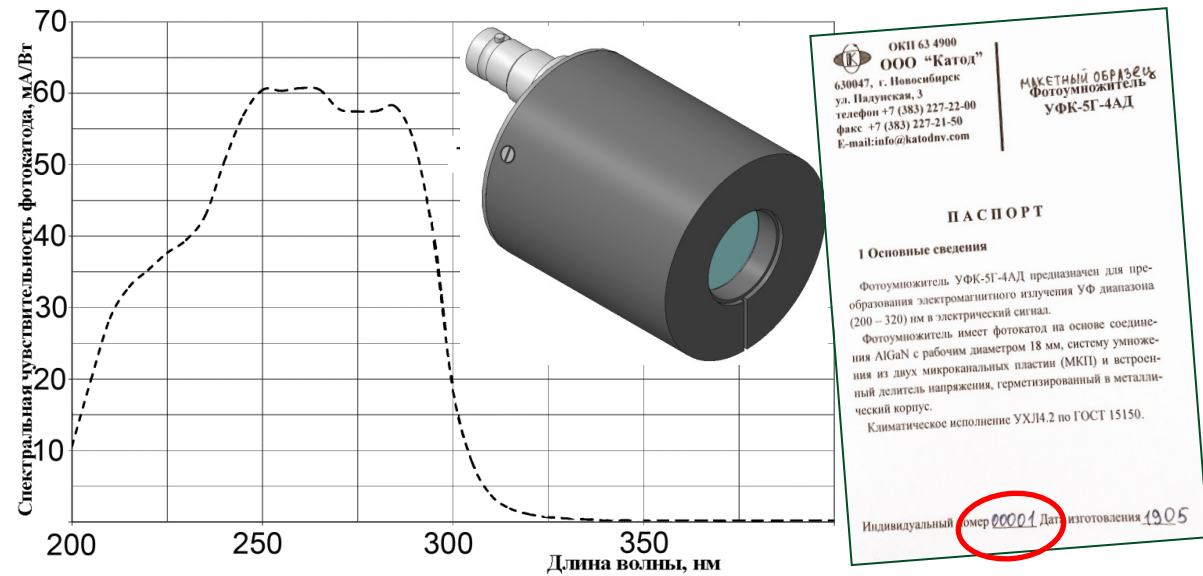
**Ch. 22 Mitogenetic research in medicine: radiation of blood and cancer diagnostics Naumova E.V., Volodyaev I.V.**

Ilya Volodyaev  
Eduard van Wijk  
Michal Cifra  
Yury A. Vladimirov Editors

Ultra-Weak  
Photon Emission  
from Biological  
Systems

Endogenous Biophotonics and Intrinsic Bioluminescence

# Установка регистрации одиночных фотонов в среднем УФ-диапазоне на основе нового солнечно-слепого высокочувствительного ФЭУ (AlGaN)



Небольшие серии пробных экспериментов с разнообразными известными индукторами МГЭ пока не подтвердили свечения в среднем УФ-диапазоне.

## Возможные причины:

завышена нижняя граница оценок интенсивности 1930-х гг ( $10 \text{ квантов см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ), отклонения от биологической части методик (существенное экранирование естественного э/м фона, темная комната).

Устранили ряд артефактов, в частности, шумы связанные с электростатическими помехами от кюветы, из-за которых прекратили попытки наши ближайшие предшественники-биологи, пытавшиеся зарегистрировать МГИ с помощью ФЭУ (группа Pavel Rospisil, Чехия, конец 2000-х гг). Специалисты "Катода" заземлили катод (на аноде "+"), и размещение диэлектрика у окна ФЭУ не повышает темновой счет.

Продолжаем снижать шумы установки, планируем эксперименты с планариями и гамма-облученными биообъектами (т.е. с вторичными биогенными излучениями, открытыми ак. А.М. Кузиным и его коллегами).

# ЭНДОГЕННАЯ БИОФОТОНИКА: СВЕРХСЛАБАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ




онлайн-конференции в 2022 и 2023 в рамках  
Международного Симпозиума по оптике и биофотонике (SFM)  
<https://sfmconference.org>.

В 2023 были участники из 7 стран (Бразилия, Венгрия, Иран, Италия, США, РФ, ЮАР), круглый стол бурно продолжался 4 часа без перерыва

**Приглашаем на конференцию ЭНДОГЕННАЯ БИОФОТОНИКА III,  
посвященную 150-летию со дня рождения А.Г. Гурвича  
≈25-26 сентября 2024 г (возможно будет онлайн+очно)**

Участие бесплатное. Языки: английский и русский

Если оставите контакт - пришлю извещение в 2024

Интересующиеся раритетной литературой по МГИ,  
совместными экспериментами и конференцией обращайтесь  
тел. 89061550777   , [naumova@yandex.ru](mailto:naumova@yandex.ru) и лично до 19.10

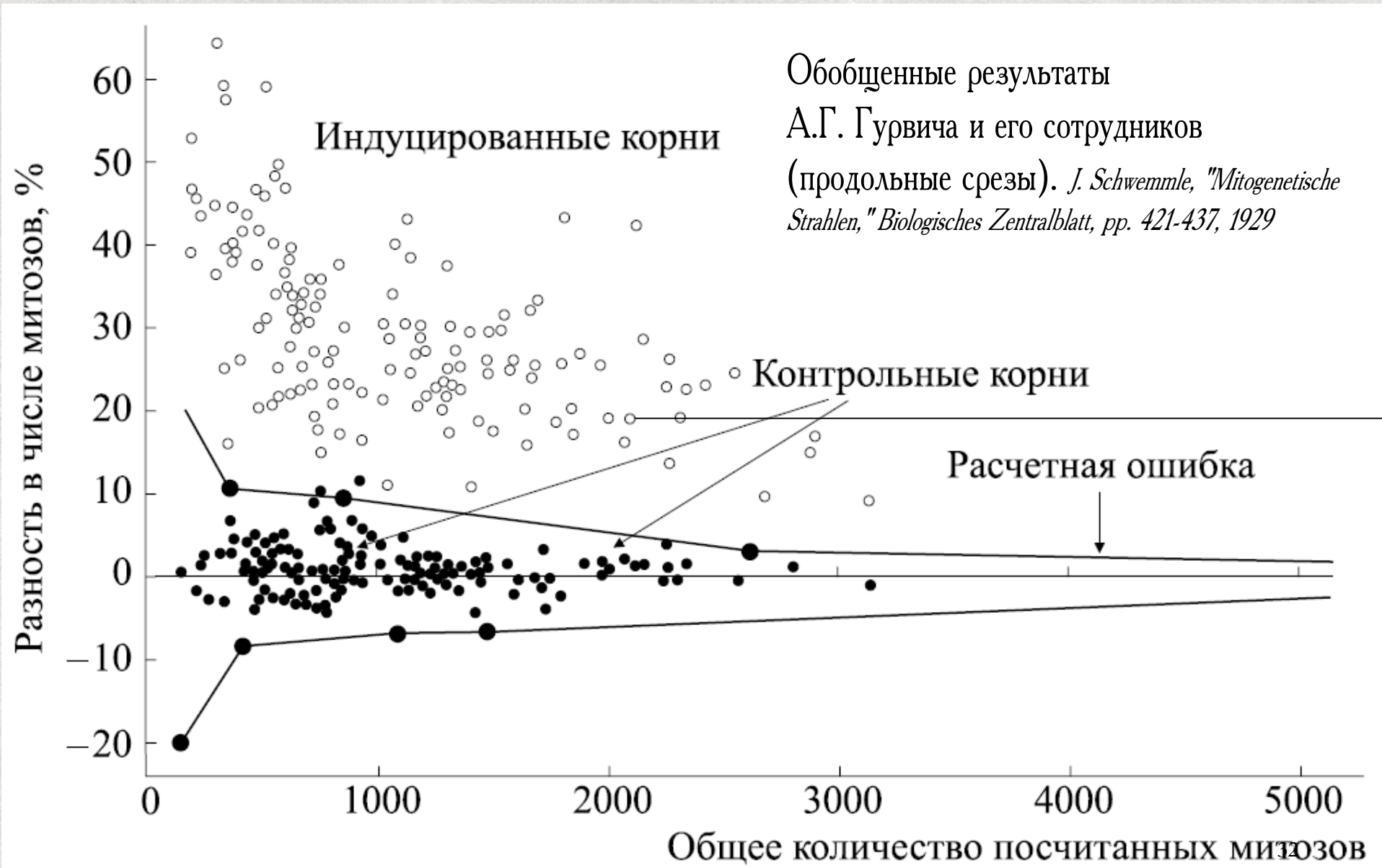
**Спасибо за внимание!**



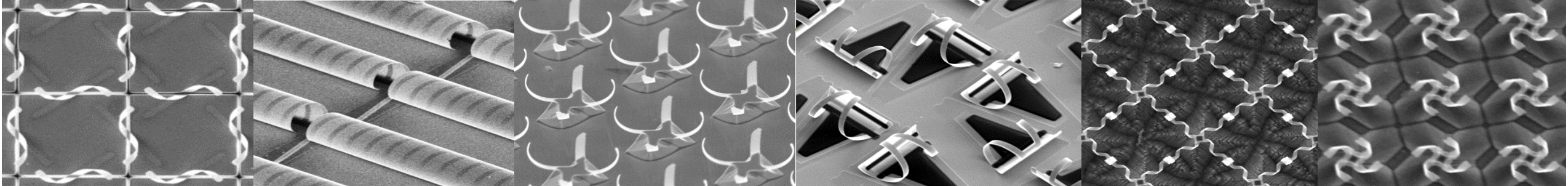




# Асимметрия митозов на срезах корня лука







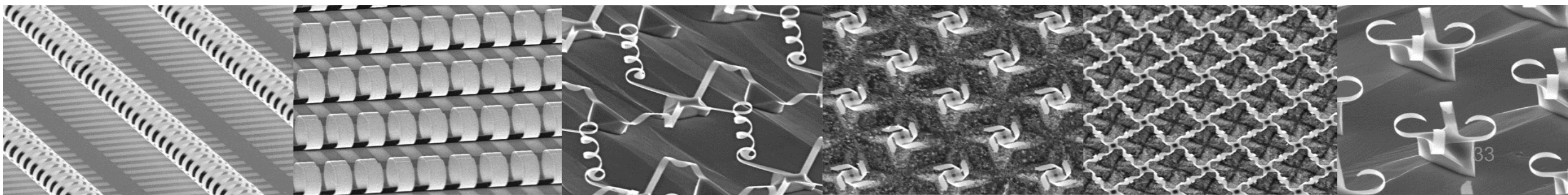
## Принц – технология

- Прецизионность
- Разнообразие геометрии
- Возможность массового производства
- Масштабируемость
- Воспроизводимость
- Совместимость с ИС технологией

Подробнее о метаматериалах с 3D резонаторами, свернутыми из напряженных пленок (конфигурации, технология, свойства):

V.Ya. Prinz, E.V.Naumova et al., *Scientific Reports*. 7:43334, 2017

I.V. Semchenko, et al., *Journal of Applied Physics*. V. 121, N1, 015108, 2017



# Митогенетическое излучение биологических объектов

**Источник:** хемилюминесценция?

**Механизм биологического детектирования:** неизвестен?

**Спектральный диапазон:** 190-280 нм, 190-260 нм (для большинства индукторов)

**Интенсивность:** 10-1000 фотонов/см<sup>2</sup> с

**Поляризация:** не установлена

**Временной характер:** предположительно в виде отдельных вспышек

# Митогенетический эффект и онкология

А В Т О Р	Институт или клиника.	Материал.	Число случаев.	% совпадений	Г о д
Seidenschelm, Heinemann.	Франк-фурт/М.	Ляжи	50	100	1934
ПАВЛОВА	Ташкентский Онкол. Ин-т	Тоже	116	98,5	1935
ВУДОЛЬСКАЯ	З.М.М.Л.	Тоже	47	85	1935
КЛЕВЕРКИН	ВНИИ	Ляжи. Мыши.	14 28	100 100	1933 1934
ГОДШЕВА	Тоже	Ляжи	35	90	1934
ПЛАНИНШОВ	Сратов. М. Ин-т	Тоже	42	95	1934
КУРАЧЕВ	Днепропетровский Онкол. Ин-т	Тоже	49	94	1935
БЫКЕР	Моск. Горгол. Ин-т	Ляжи Мыши	14 19	100 100	1935
ЛАГАРИС	Днепропетров.	Мыши	20	95	1935
НАГОРИНСКАЯ	Центр. Онкол. Ин-т	Ляжи	172	98,2	1935
ГОЛЬДБЕРГ	Томск.	Крысы	94	100	1935

**Злокачественные опухоли:** активные источники митогенетического излучения

**Кровь:** излучение прекращается на самых ранних стадиях, задолго до появления гистологических признаков

*А. Г. Гурвич и др. Учение о раковом тушителе, 1937; Песоченский Б.С. Феномен тушения митогенетического излучения крови при раке и "предраковых" состояниях: дисс. д.м.н., 1942. Авчина Е.Е. О прогностическом значении реакции тушения митогенетического излучения крови при лечении рака матки: дисс. к.м.н., 1950.*

Из сводной таблицы о митогенетическом излучении крови при злокачественных новообразованиях 1200 случаев, 22 автора // Песоченский Б. С. (1942) + более 2000 экспериментов по регистрации МИ здоровых и больных раком животных и людей в клинике Шарите на газхоразрядных счетчиках

# Митогенетическое излучение крови



## Излучение есть:

Здоровые люди до 50 лет, тиф и др

**Излучение крови не является показателем физиологического благополучия**

## Излучения нет:

Возраст 50+

Рак, анемия, сепсис, пневмония, скарлатина и др. Физическая/умственная перегрузка

*А. Г. Гурвич, Л. Д. Гурвич, Митогенетическое излучение, 1934.*

*А. Г. Гурвич и др Учение о раковом тушителе. Теория и клиника, 1937.*

*G.Protti L'emoinnesto intramuscolare. 1931.*

# Митогенетическое излучение крови (+/-)

**Туберкулез** (Gurwitsch, 1929 ;Gesenius, 1929 ;Gesenius, 1930 ;Markovsky, 1931 ;Biddau, 1932 ;Heinemann, 1932 ;Verdina, 1933 ;Yudeles, 1944)Pesochensky, 1939)

**Сифилис** (Gurwitsch, 1929 ;Siebert, 1930)

**Тиф** (Gurwitsch, 1932)

**Гастрит** (Voikhansky, 1933 ;Gesenius, 1934)

**Колит, язва желудка** (Voikhansky, 1933)

**Пневмония** (Zolotova-Kostomarova, 1936 ;Gesenius, 1934)

**Базедова болезнь** (Samarajew, 1932)

**Мании** (Brainess, 1934)

**Умственное утомление** (Vasil'ev, 1934)

**Раковые заболевания** (Gurwitsch, 1929 ;Siebert, 1930 ;Salkind, 1931 ;Gesenius, 1930 ;Gesenius, 1932 ;Klenitzky, 1933 ;Heinemann, 1933 ;Siebert, 1934 ;Heinemann, 1934 ;Blyakher, 1935 ;Golysheva, 1934 ;Shlyapnikov, 1934 ;Pavlova, 1935 ;Goldberg, 1936 ;Nudolskaja, 1936 ;Siebert, 1937 ;Nudolskaja, 1937 ;Pesochensky, 1942 ;Gurwitsch, 1947)

**Пернициозная. анемия**  
(Gesenius, 1932 ;Chmutova, 1938 ;Chmutova, 1940)

**Лейкемия**  
(Gesenius, 1932 ;Storti, 1936) (the latter as cited in (Maxia, 1940))

**Лимфогранулема** (Gesenius, 1932)

**Сепсис** (Gurwitsch, 1929 ;Gesenius, 1929 ;Gesenius, 1932)

**Пеллагра** (Golshmid, 1934)

**Хр. тонзиллит** (Heinemann, 1932)

**Диабет** (Gurwitsch, 1929 ;Chmutova, 1946)

**Цирроз печени** (Gesenius, 1934)

**Рахит** (Biddau, 1932 ;Mai, 1934)

**Менструация** (Siebert, 1934 ;Heinemann, 1933)

**Голодание** (Gurwitsch, 1934)

**Депрессия** (Brainess, 1934)

**Старческий возраст** (Heinemann, 1932 ;Brainess, 1934)

# Гасители

(анемия, диабет, и др)

Поглощают МИ

Неспецифичны

Низкомолекулярные

вещества

Выдерживают

кипячение

# Тушитель

(только раковые заболевания)

Подавляет генерацию МИ

не влияет на прозрачность

Специфичен для онкозаболеваний

Высокомолекулярное вещество, пептид

Не выдерживает кипячение

“Тушащая” группа мала (после гидролиза диффундирует, сохраняя “тушащие” свойства) Имеет отрицательный заряд

**Вывод о существовании онкомаркера — пептида крови  
(за 26 лет до альфа-фетопротеина!).**

*А. Г. Гурвич и др Учение о раковом тушителе.— М.,1947.;А.Г. и Л.Д.Гурвичи Арх. биол. наук 51, в.3, 1938, Siebert, Seffert Biochem Zeitchr.247, 1937; G.Protti L'emoinnesto intramuscolare.1931. Песоченский Б.С. Феномен тушения митогенетического излучения крови при раке и "предраковых" состояниях:дисс. д.м.н.,1942.*

# Экспериментальный рак

- При имплантированном раке тушитель появляется в первые дни
- При радикальном удалении опухоли тушитель исчезает в течение нескольких дней, наличие или восстановление тушителя свидетельствует о неполном удалении первичной опухоли или метастазировании
- При воздействии канцерогенами появляется на самых ранних стадиях (именно у тех животных, у которых в дальнейшем развивается опухоль; если прекратить воздействие вскоре после появления тушителя, то у некоторых животных излучение крови восстанавливается, у них раковая опухоль не развивается)

*Siebert, Seffert Biochem Zeitchr.247, 1937; А. Г. Гурвич, Л. Д. Гурвич Митогенетическое излучение: Физико-химические основы и приложения в биологии и медицине— М.: Медгиз, 1945. Песоченский Б.С. Тушение митогенетического излучения крови при раке и "предраковых" состояниях, 1947, Кленцкий Арх.биол.наук 35, в .1, 1935, М.Б.Новиков Арх.биол.наук 51, в.3, 1938*

# Клинические исследования онкодиагностики

Институт онкологии АМН СССР, Рентген-радиологическая больница МПС, НИИ акушерства и гинекологии Минздрава СССР, роддом им. Снегирева (Ленинград), Военно-медицинская академия, клиника Киевского медицинского института и др. ведущие клиники СССР

- Чувствительность и специфичность онкодиагностики с помощью “ракового тушителя” > 95%
- Тушитель появляется на самых ранних стадиях, задолго до первых гистологических признаков злокачественного роста
- По наличию/отсутствию тушителя в крови через 3 месяца после химио-/радиотерапии можно судить о её результативности

*А.Г. Гурвич и др. Учение о раковом тушителе, 1947; десятки диссертаций, более сотни статей*

**ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ЗАКЛЮЧЕНИЯ КЛИНИЦИСТОВ**



# Clinical study of cancer diagnostics

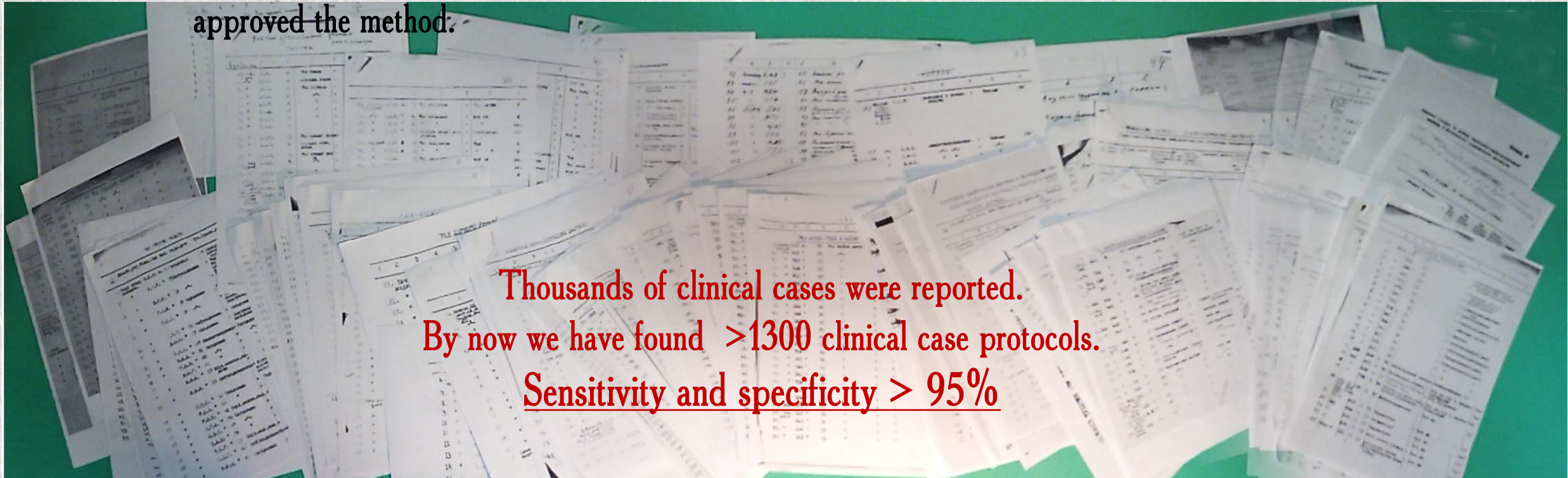
Oncological Institute Acad.Med.Sci USSR, X-raying and Radiology Hospital, II Moscow Med. Institute, Scientific Research Institute of Obstetrics and Gynecology of Ministry of Health USSR, Army Medical Academy, Clinics of Kiev Medical Institute and other leading cancer institutions of the USSR

Patients were usually tested at the admission into clinics, long before the final diagnoses. Method was shown to be highly-promising for early cancer diagnostics (including metastases of any localization and evaluation of the therapy effectiveness. The leading oncologists of the USSR approved the method.

Thousands of clinical cases were reported.

By now we have found >1300 clinical case protocols.

Sensitivity and specificity > 95%



# Онкодиагностика

66.	"	В.М.И.ж	Гипертония и холецистит	+	Рак желчн.пузыри	/с/
67	"	Б.Ф.Р.	Лимфогрануломатоз	+	Миклобластич.лейкоз	/б/
68	"	К.Н.Н.	тбц легкого?	+	Рак легкого	/кл
69	"	Л.Е.И.	Рак печени	-	Кистозное перерожд.	/с
70	"	Ш.Н.Е.	Опухоль верхн.чел.	-	Киста верхн.челюс.	/б/
71	"	К.П.Н.	Бластома желудка?	-	Гипертроф.гастрит	"/
72	"	Т.А.А.	Бластома легкого?	-	ТБЦ легкого	
73	"	К.В.Ф.	Рак желудка/скир/	-	Анацидный гастрит	
74	"	К.А.И.	Опухоль средостения?	-	Лимфоадениит тбц	
75	"	К.К.В.	Бластома пищевода	-	..... пищевода	
76	"	В.А.М.	"- желудка	-	Анацидн.гастрит	
77	-	И.Г.И.	Опух.толстой кишки	-	Холецистогепатит	
78	"	М.И.Ф.	Бластома пр.легкого	-	Бронхоэктазия	
79	"	В.Л.З.	Бластома легкого	-	тбц легкого	

# Онкодиагностика



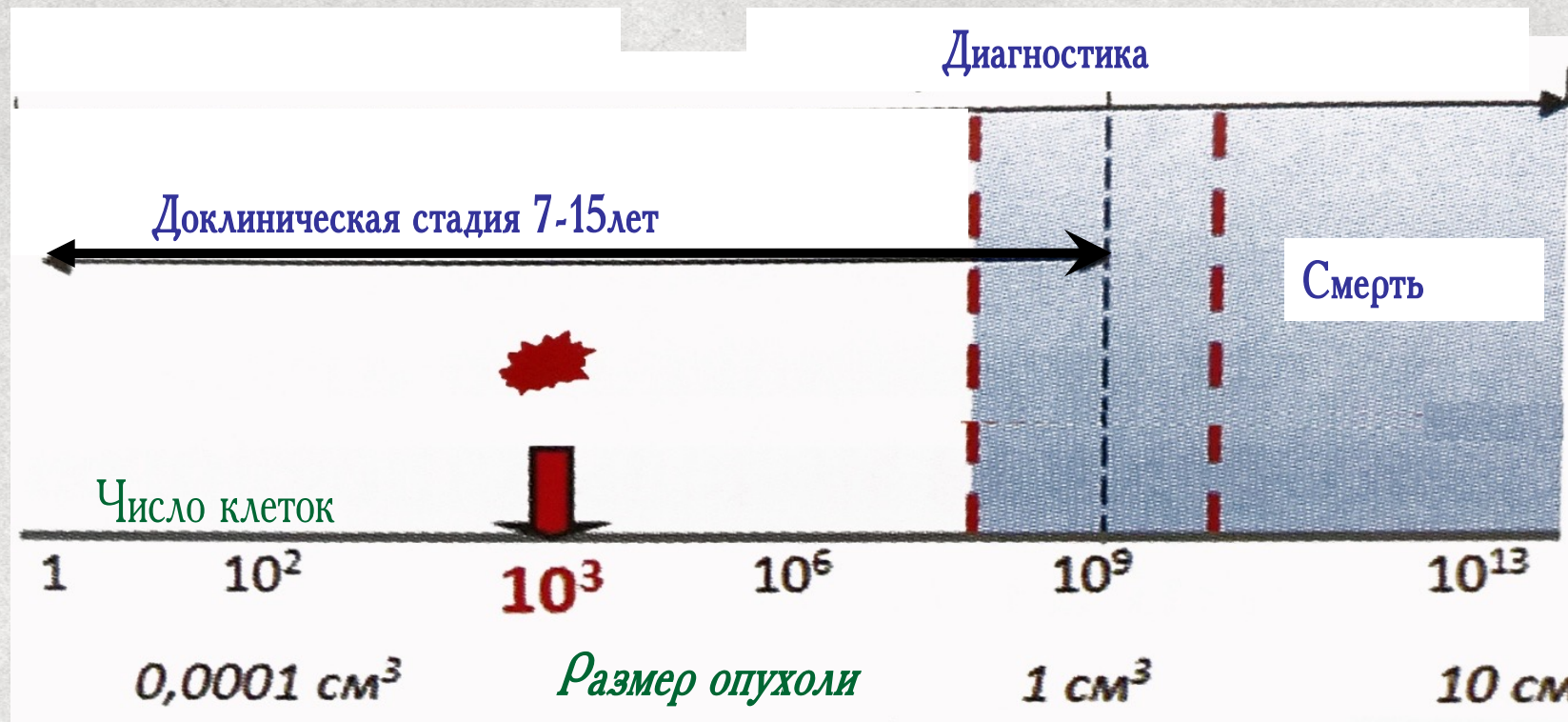
**“Золотой стандарт”** – гистологические исследования:

очень субъективный метод, надежность зависит от квалификации и количества экспертов (обычно 3-5), требуется образец ткани, имеются побочные эффекты биопсии

**Онкомаркеры:** автоматизация, совпадение с диагнозом до 15%

**Обычно опухоль обнаруживают УЗИ при размерах  $\sim 1 \text{ см}^3$**

# Метастазы – основная причина смертности онкобольных (80-90%)



Л. А. Ашрафян, В.И.Киселев Современная онкология, молекулярная биология и перспективы эффективной терапии, 2015.

Способные метастазировать клетки попадают в кровотоки от опухоли  $\sim 1 \text{ mm}^3$

**Нужна более ранняя интегральная онкодиагностика**

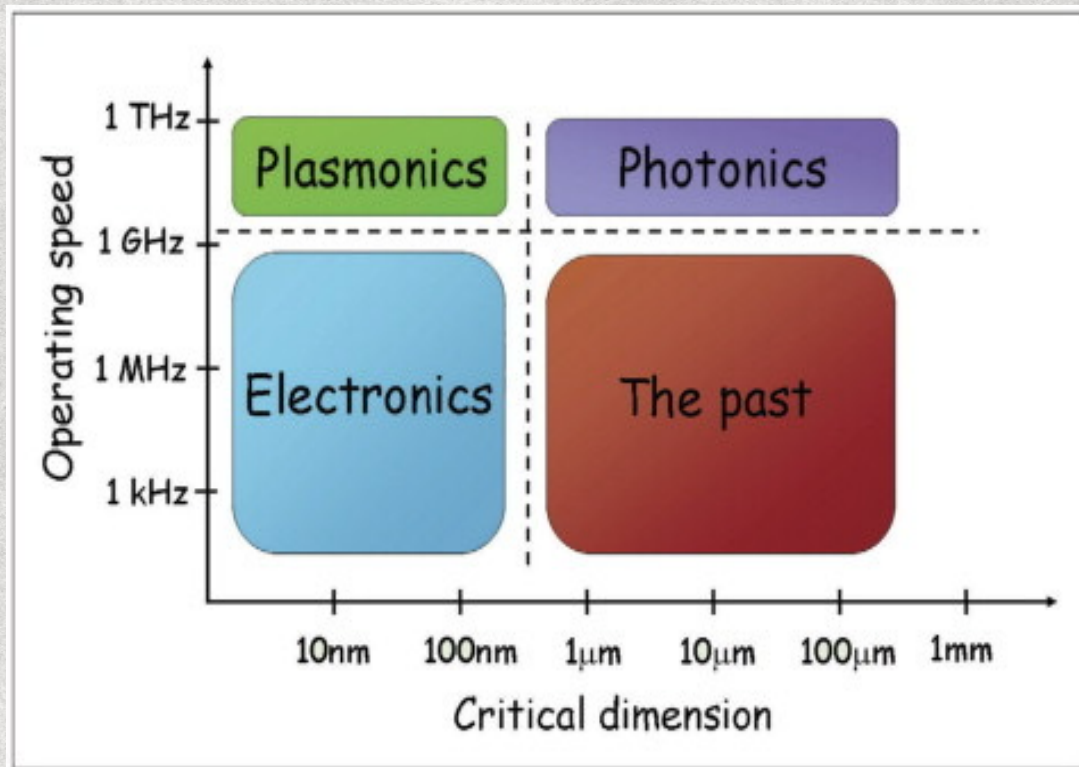
# Выполняет ли митогенетический эффект сигнальные функции?

**В колониях одноклеточных организмов это можно выяснить путем ингибиторного анализа.** Например, была продемонстрирована необходимость УФ-излучения для клеточных делений : введение тушителя в дрожжевую культуру подавляло деление, облучение внешним источником митогенетического излучения возобновляло деление (при том, что тушитель продолжал действовать).

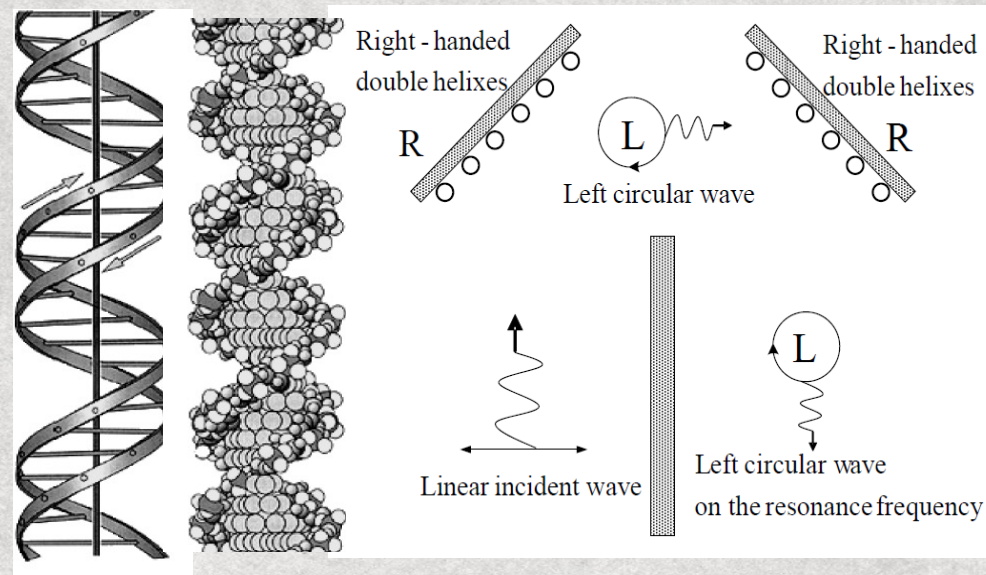
*А. Г. Гурвич, Митогенетическое излучение: Физико-химические основы и приложения в биологии и медицине. (Медгиз, М, 1945).*

**Для многоклеточных организмов это вопрос отдаленного будущего:** сначала требуется выяснить механизмы запуска митозов и формообразования на макроуровне.

# Биологическая э/м связь?



Из R. Zia et al, *MatToday*, vol. 9, no. 7, pp. 20-27, 2006

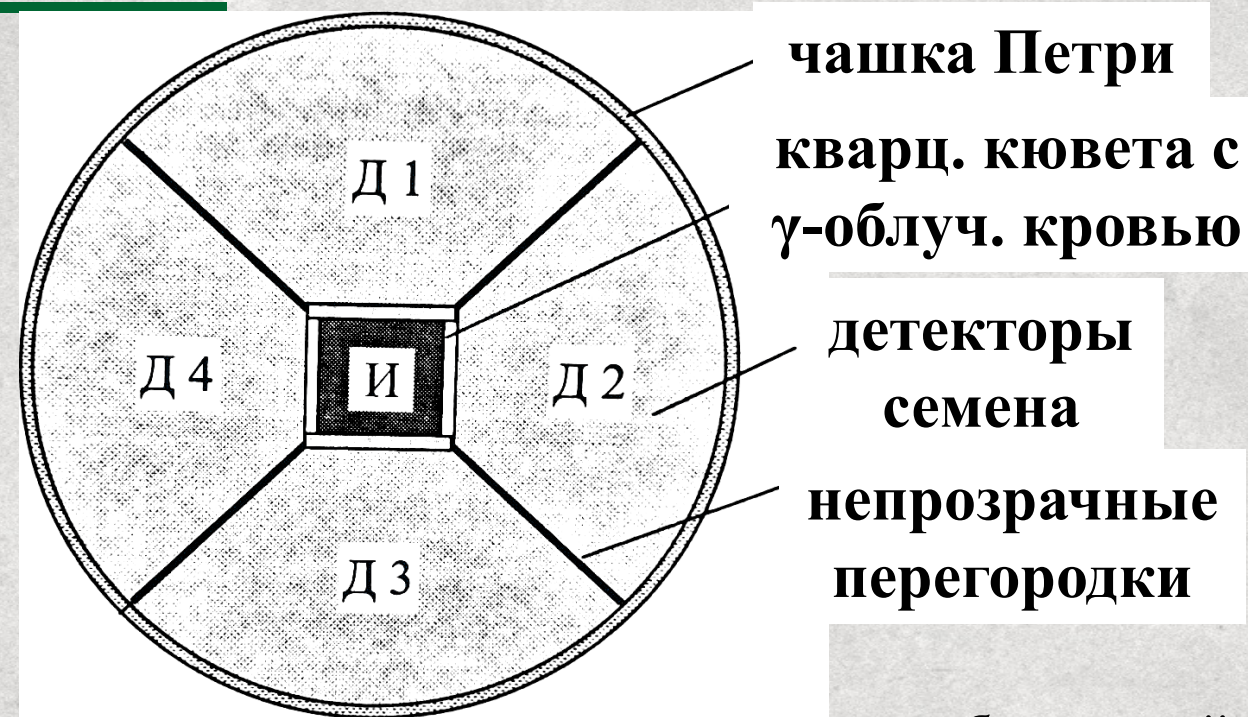


**ДНК-подобные резонаторы** использованы в ряде технических устройств “и в живой природе это был бы наилучший кандидат на роль приемника –передатчика для э/м сигнализации” серия статей 2007-23 г, I.V. Semchenko et al, Interaction of artificial DNA-like structures in the microwave range

Использование э/м связи в биологии было **БЫ** востребовано, объяснило **БЫ** скорость обработки информации мозгом и др., **НО...** Есть ли э/м связь внутри организма, нет ли,

- это науке неизвестно

# Вторичные биогенные излучения и митогенетическое излучение



Стимуляция роста семян детекторов под воздействием облученной крови (через матированные и полированные кварцевые стенки) → вывод о когерентности вторичного биогенного излучения А.М. Кузин, Г.Н. Суркенова, А.В. Будаговский, Г.А. Гуди, "Вторичное биогенное излучение  $\gamma$ -облученной крови человека," *Радиационная биология. Радиозэкология* 37 (4), 577–580 (1997), А.В. Будаговский, *Дистанционное межклеточное взаимодействие*. (НПЛЦ «Техника», М., 2004).

Активация роста семян детекторов под влиянием  $\gamma$ -облученного (10 Гр) белка куриного яйца А.М. Кузин, *Роль природного радиоактивного фона и вторичного биогенного излучения в явлении жизни*. (Наука-М, 2002).



# Ф.-А. Попп и гипотеза уникальной когерентности биогенных излучений

Красивая гипотеза о способности клеточных структур излучать и высокоселективно детектировать излучение уникально высокой когерентности

Сенсационный характер, который придали этой гипотезе неразборчивые средства массовой информации, и наличие как позитивных, так и негативных экспериментальных работ придали оттенок сомнительности самому эффекту, который она пыталась объяснить

В основном акцент был на исследовании возможностей по биокоммуникации, сигнальных путей, обусловленных э/м излучением. При исследованиях на ФЭУ компоненту в среднем УФ-диапазоне не выделяли, насколько нам известно

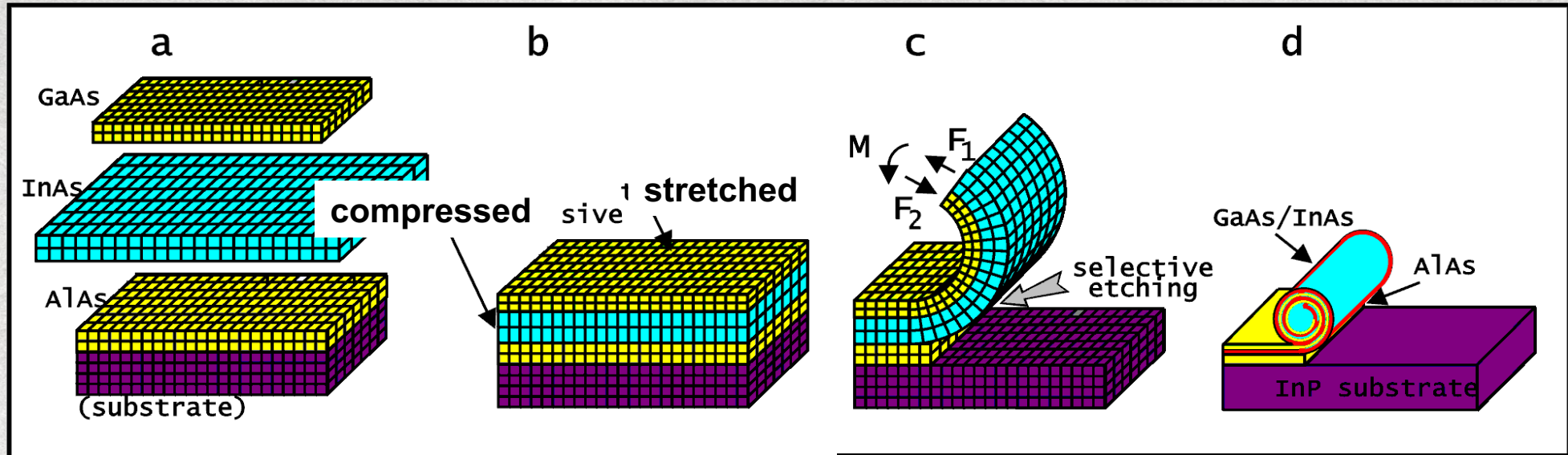


# LABORATORY OF PHYSICS AND TECHNOLOGY OF 3D NANOSTRUCTURES



# BASIC PRINCIPLE OF PRINZ-TECHNOLOGY: 2D STRAINED FILM → 3D ELEMENT

**Driving force of transformation: lattice mismatch strain in heterofilm**



Tubes with precise diameter

$$2 \text{ nm} < D < 100 \text{ } \mu\text{m}$$

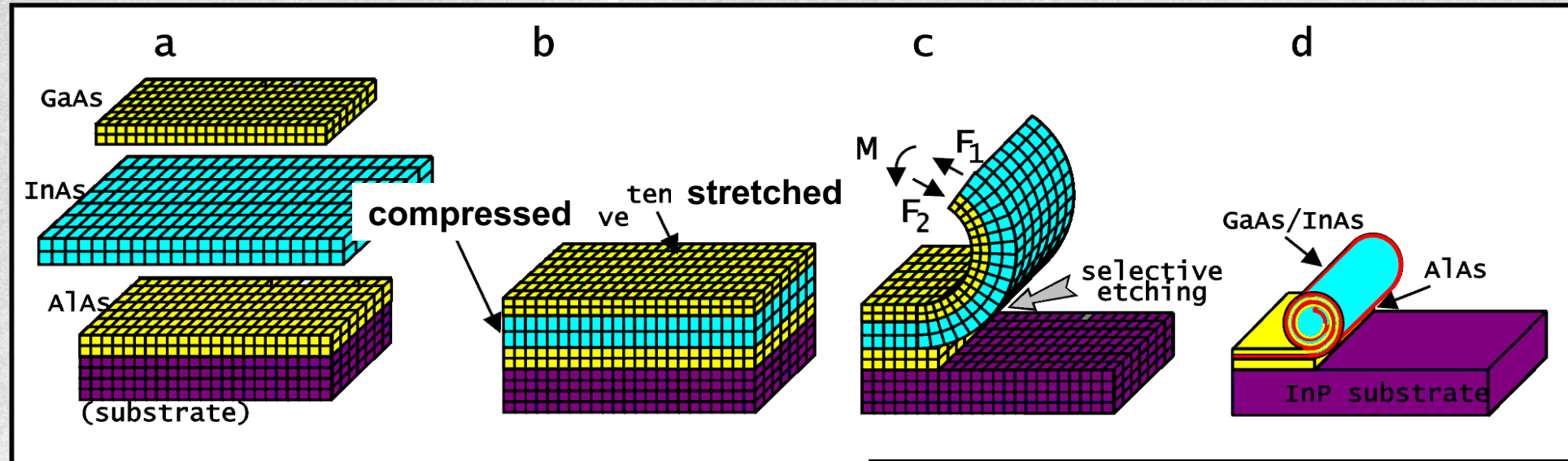
$$D \sim d \cdot a / \Delta a,$$

$d$ - film thickness,

$\Delta a/a$  –lattice mismatch

# BASIC PRINCIPLE OF PRINZ-TECHNOLOGY: 2D STRAINED FILM → 3D ELEMENT

**Driving force of transformation: lattice mismatch strain in heterofilm**



Tubes with precise diameter

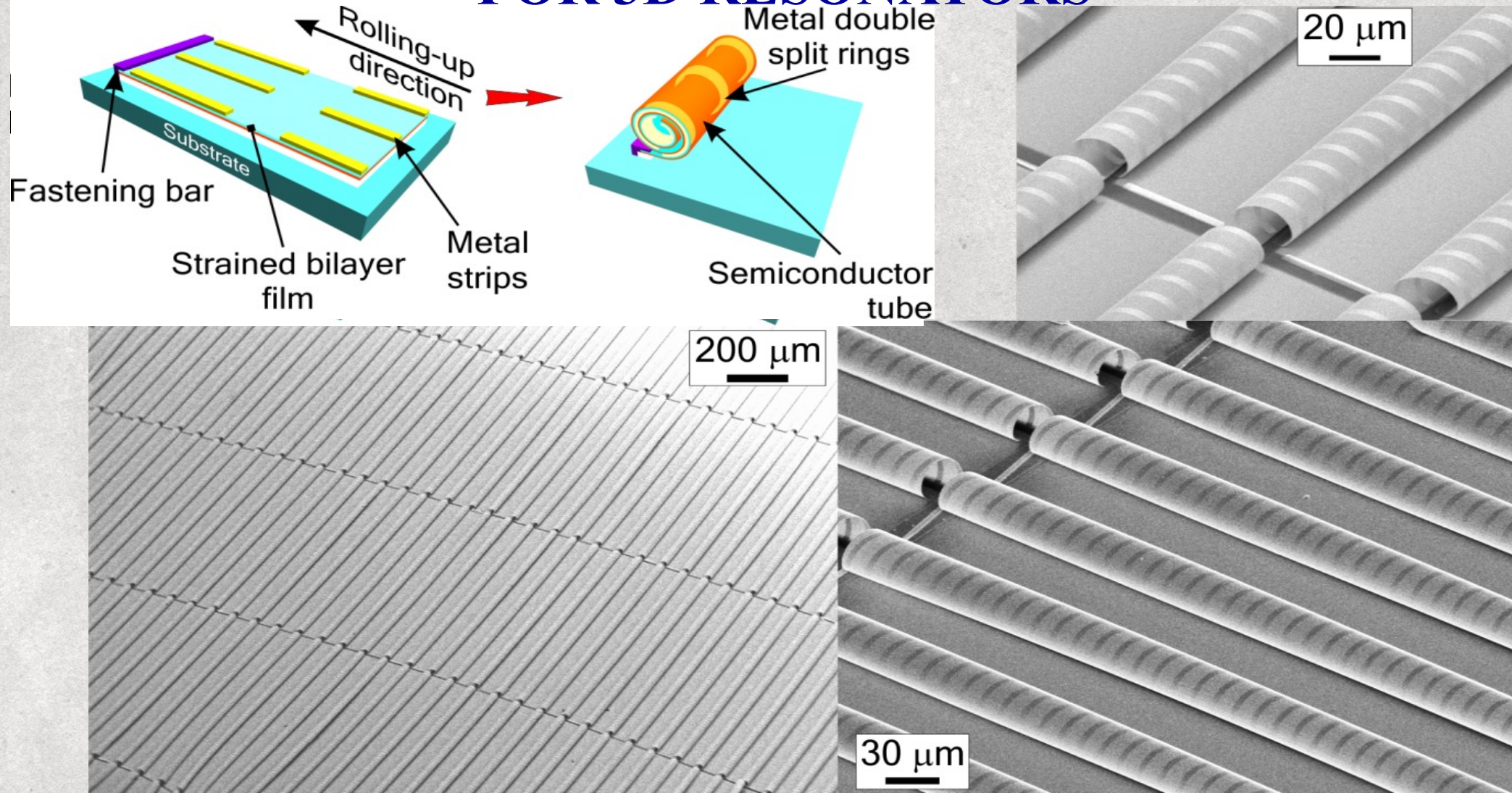
$$2 \text{ nm} < D < 100 \text{ } \mu\text{m}$$

$$D \sim d \cdot a / \Delta a,$$

$d$ - film thickness,

$\Delta a/a$  –lattice mismatch

# TUBE AS A SHAPE-GENERATING SURFACE FOR 3D RESONATORS

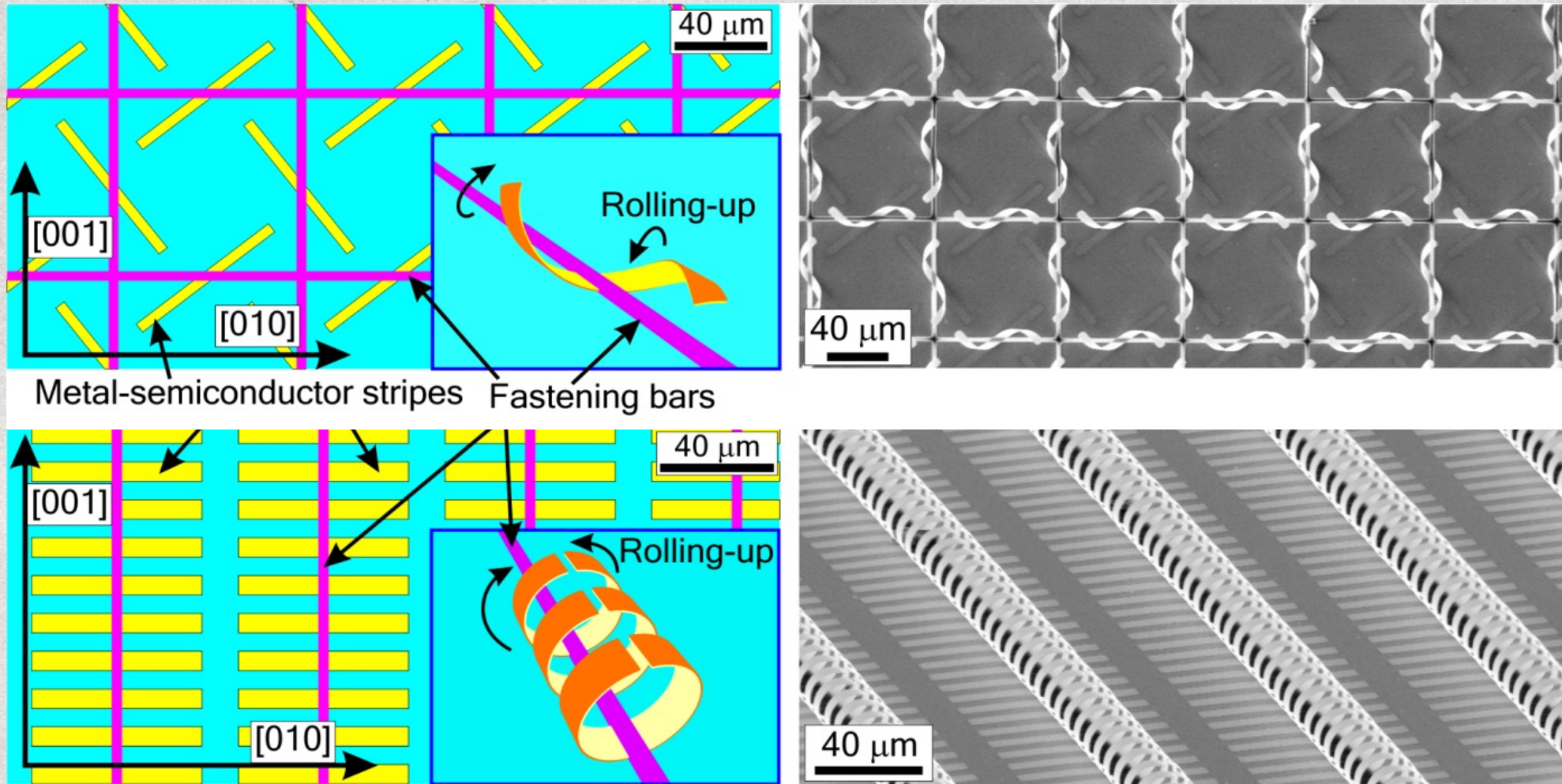


**Tubes** (GaAs/In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.75</sub>As/GaAs, 5/85/20 nm) **Helices**(Ti/Au, 3.5/65nm)  
Sacrificial layer AlAs (40 nm) **Substrate** GaAs(100)

# DIRECTIONAL ROLLING-I

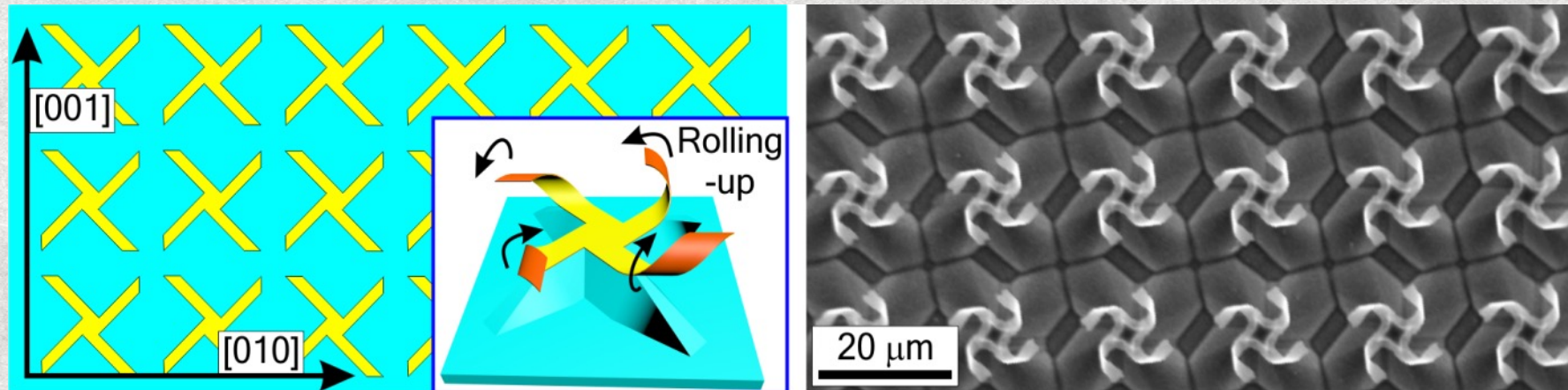
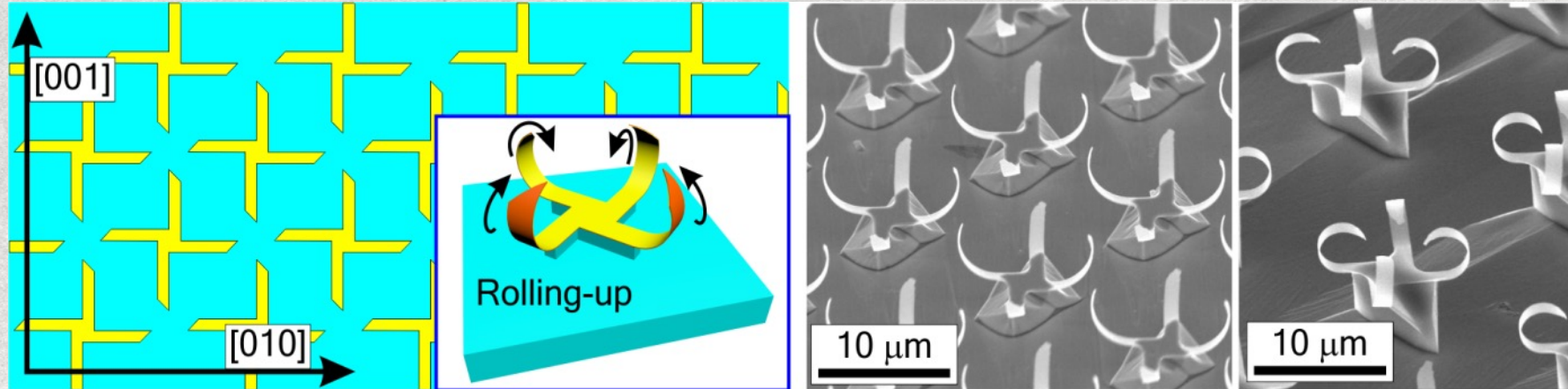
## ANISOTROPY OF ELASTIC PROPERTIES

### AND FASTENING BY RESIST

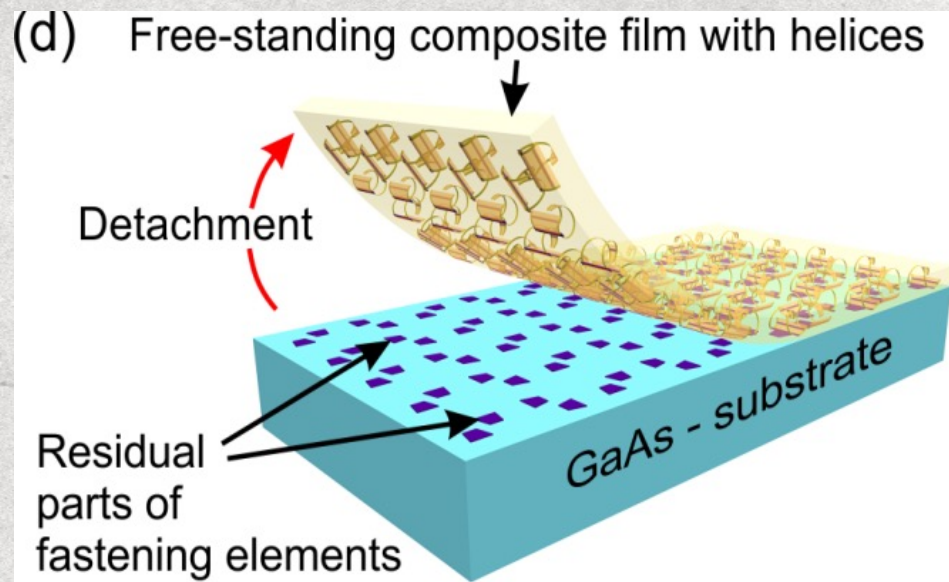
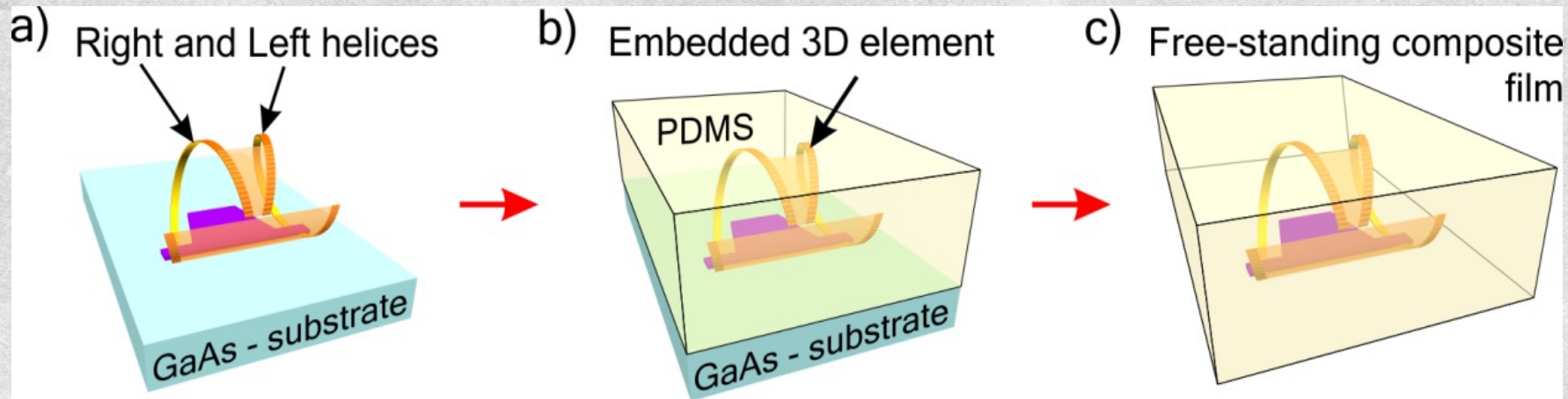


# DIRECTIONAL ROLLING-II

## ANISOTROPY OF ELASTIC PROPERTIES AND ANISOTROPIC ETCHING OF SUBSTRATE

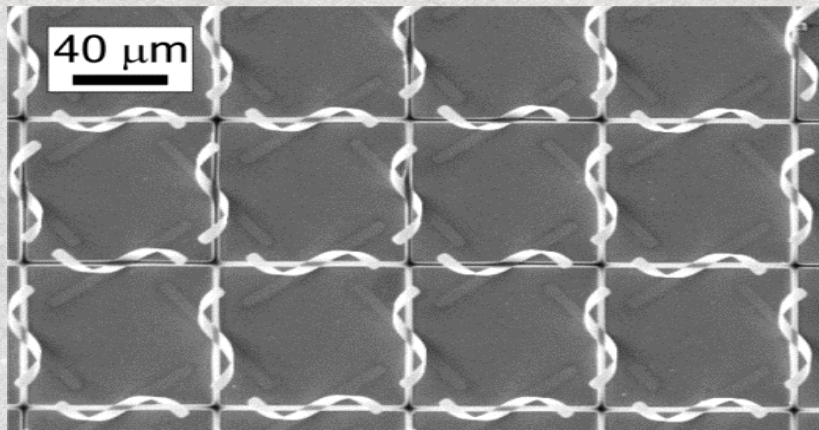


# EMBEDDING OF ROLLED-UP ELEMENTS INTO POLYMER FILM



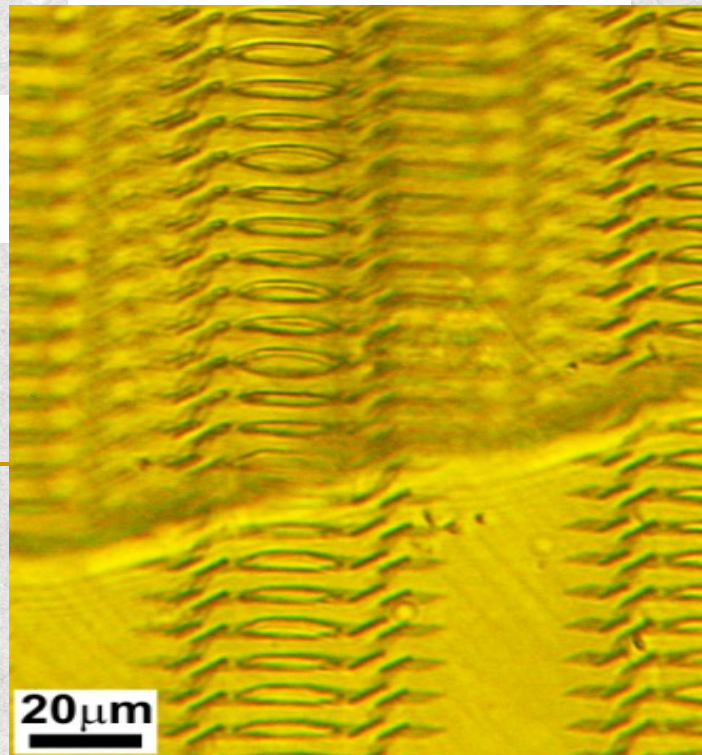
- **Nanofilm elements remain their shape and mutual position**
- **Flexible metamaterials**
- **Transparency of polymers**
- **Formation of 3D metamaterials by layer-by-layer stacking of composite films**

# ARRANGEMENT OF ROLLED-UP ELEMENTS

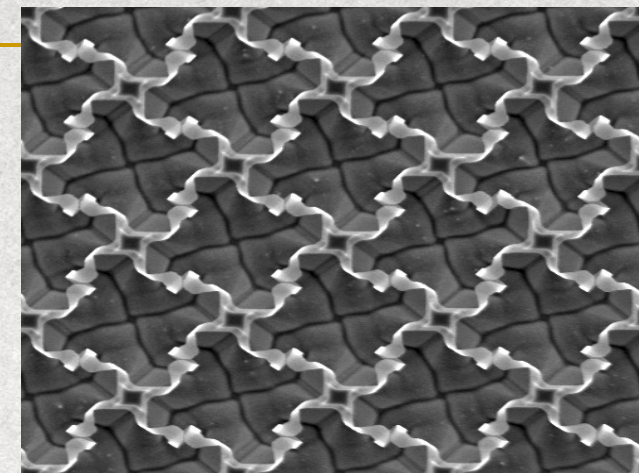
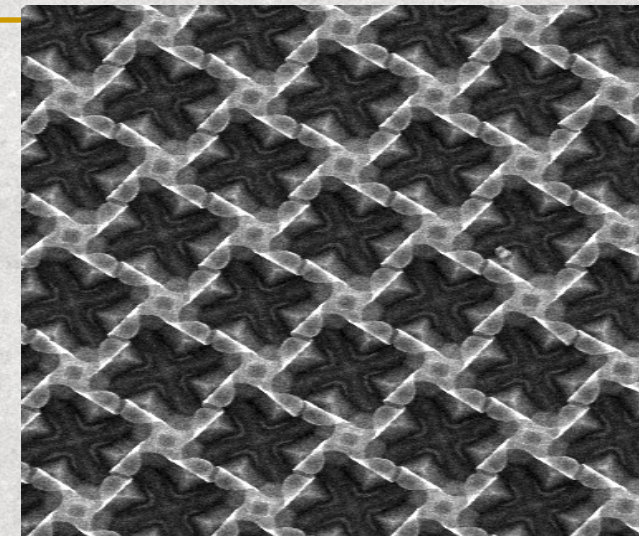


Elements **on** the substrate

Elements embedded  
into polymer matrix



Stack of two composite  
films with helices

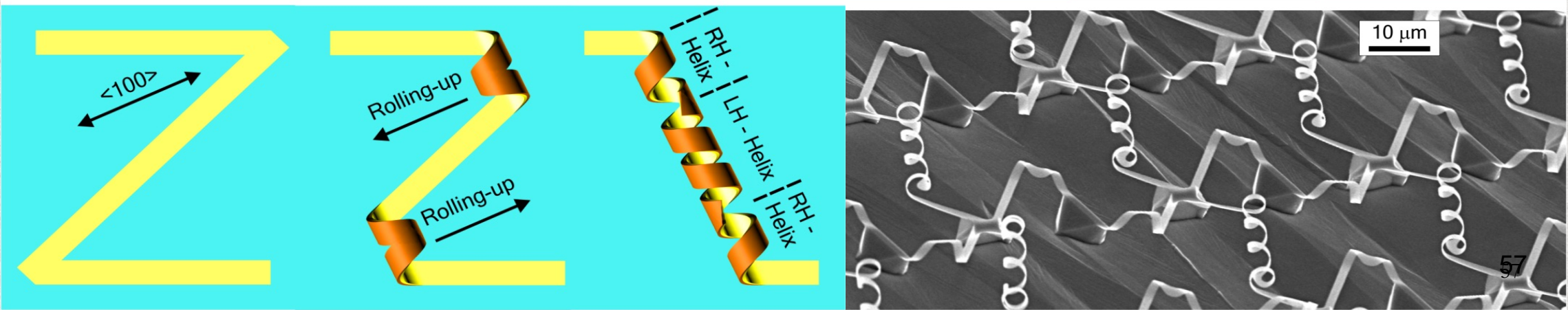
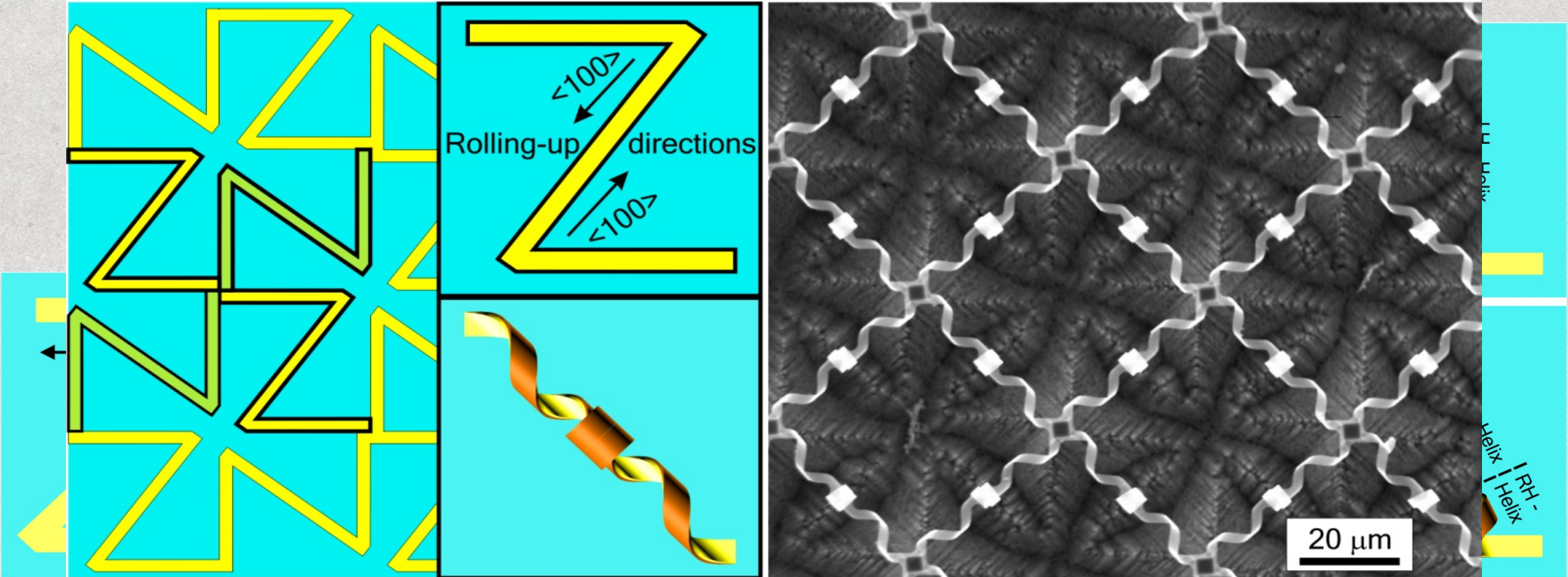


Continuously connected  
elements

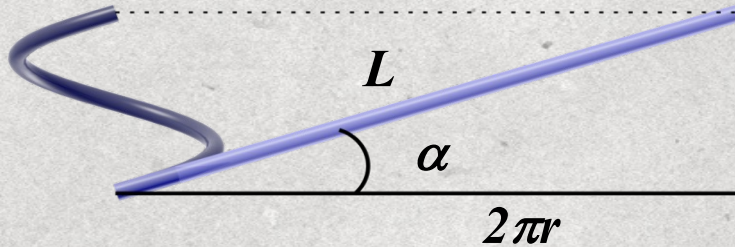
Elements suspended  
on the stems **above** the substrate



# CONTINUOUSLY CONNECTED ELEMENTS



# HELICAL RESONATORS OF TWO TYPES:



$h$

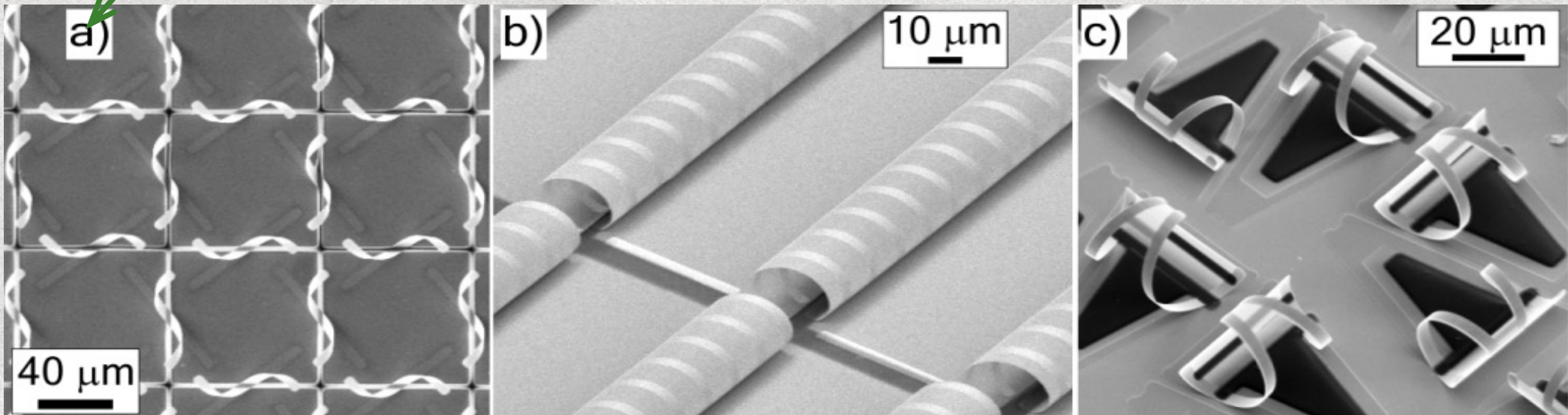
$$\frac{\lambda}{2} = L \text{ halfwave resonance}$$

1/ Helices providing maximal optical activity (calculated by Semchenko IV et al, 2006)

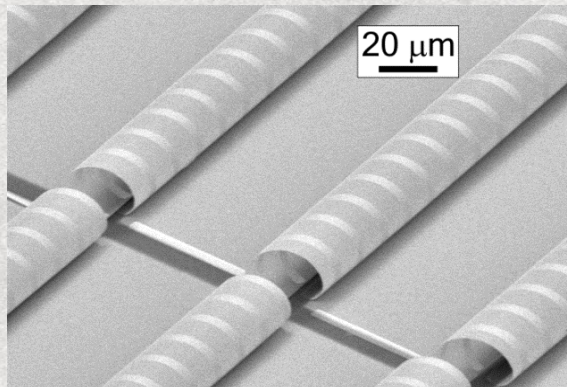
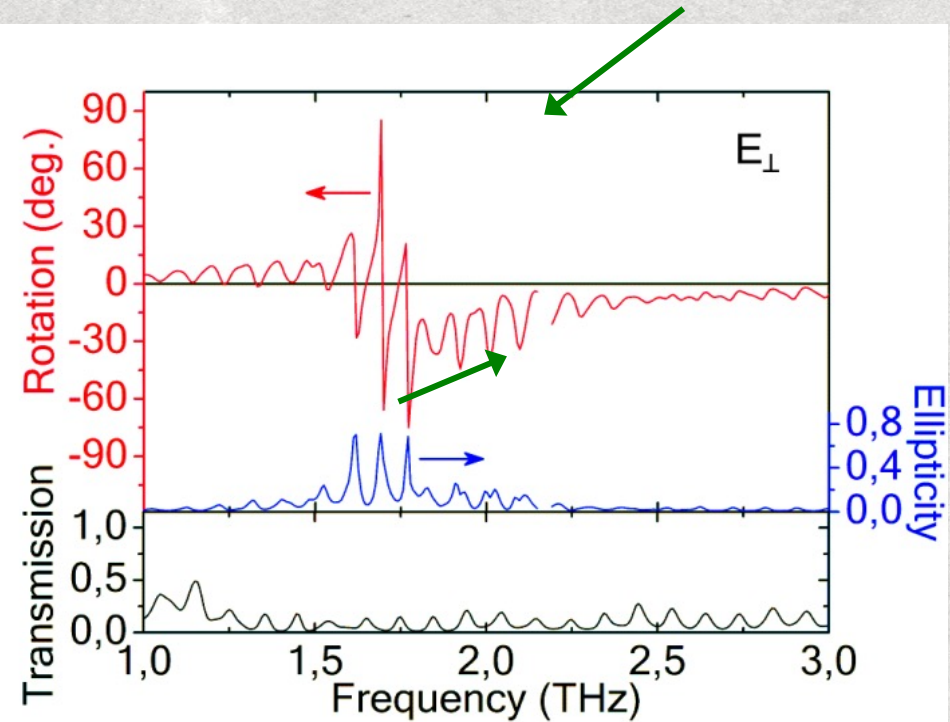
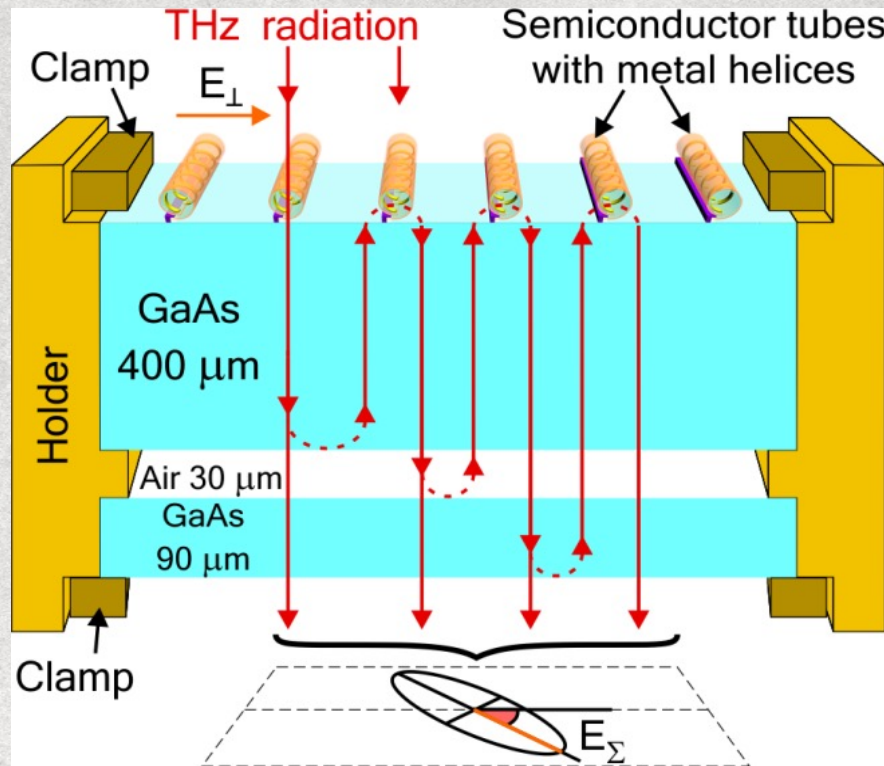
2/ Optimal helices with equal axial electric, magnetic and magnetoelectric polarizabilities (calculated by Semchenko IV et al, 2008)

→ One-turn helices  
 $\alpha=53^\circ$

→ One-turn helices  $\alpha=13.5^\circ$



# SYSTEM: PARALLEL HELICES – GaAs –AIR–GaAs

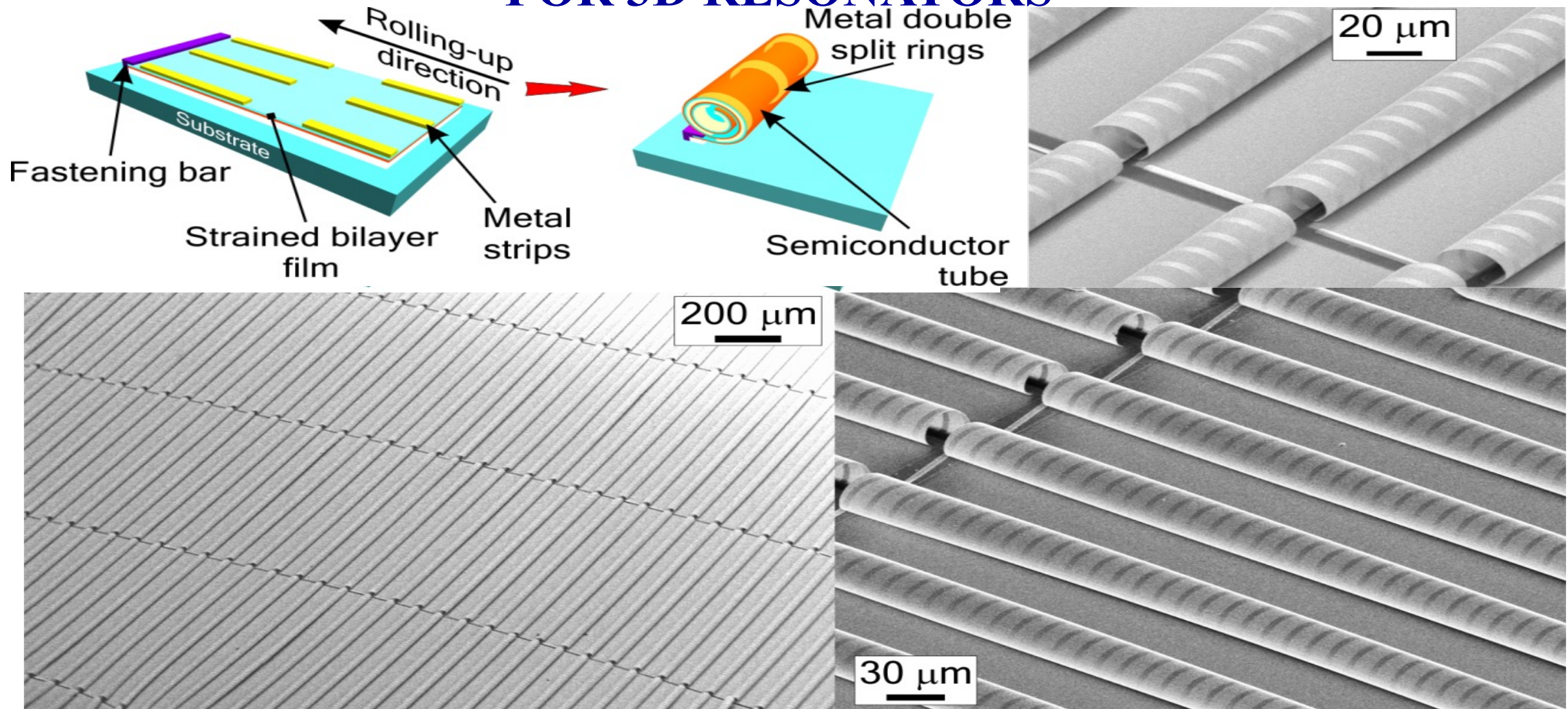


$$\alpha = 85^\circ \text{ @ } f = 1,6924 \text{ THz}$$

$$\alpha = -65^\circ \text{ @ } f = 1,6996 \text{ THz,}$$

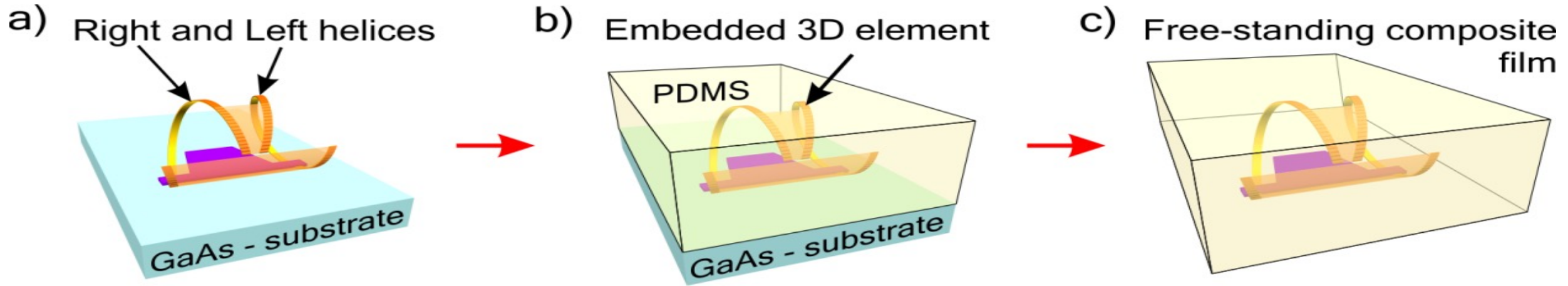
$$\Delta f / f = 0.4\% \longrightarrow \Delta \alpha > 150^\circ$$

# TUBE AS A SHAPE-GENERATING SURFACE FOR 3D RESONATORS

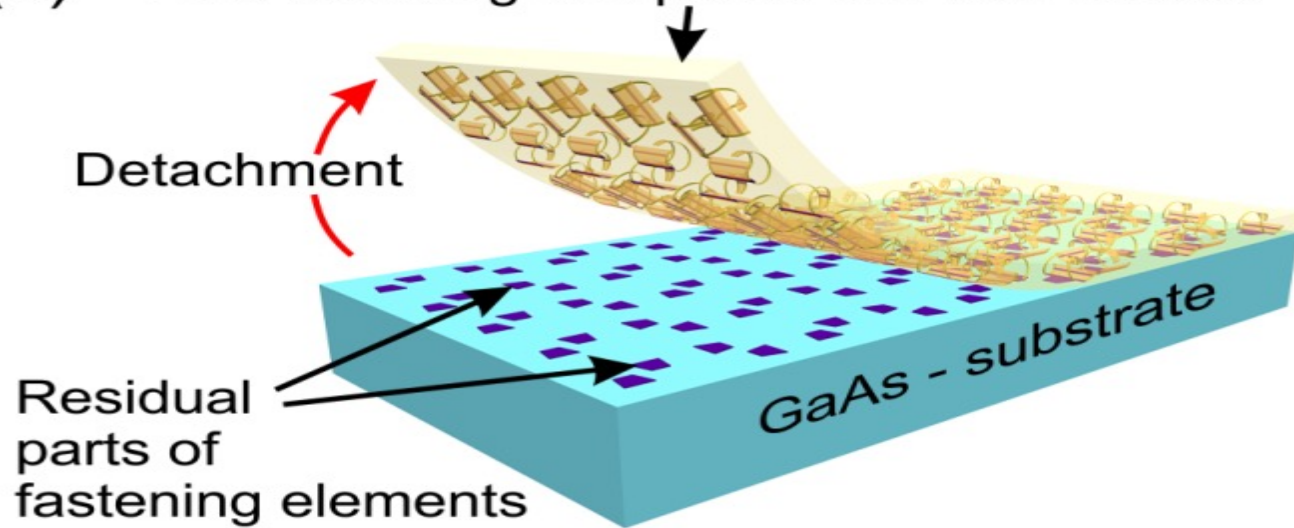


**Tubes** (GaAs/In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.75</sub>As/GaAs, 5/85/20 nm) **Helices**(Ti/Au, 3.5/65nm) Sacrificial layer AlAs (40 nm)  
**Substrate** GaAs(100)

# EMBEDDING OF ROLLED-UP ELEMENTS INTO POLYMER FILM

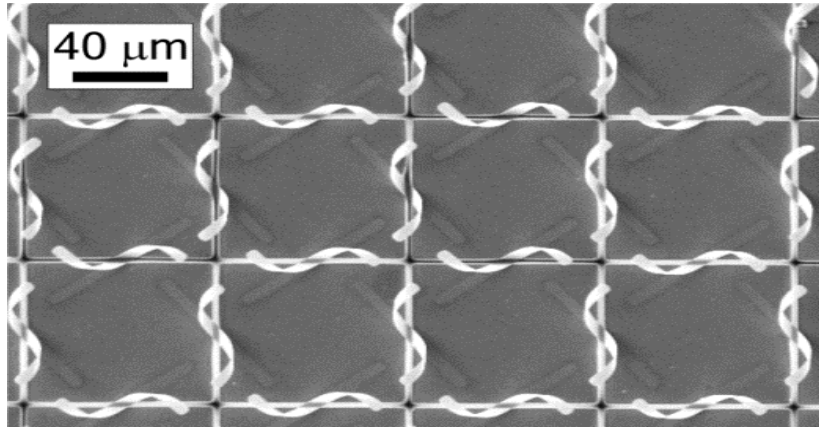


(d) Free-standing composite film with helices



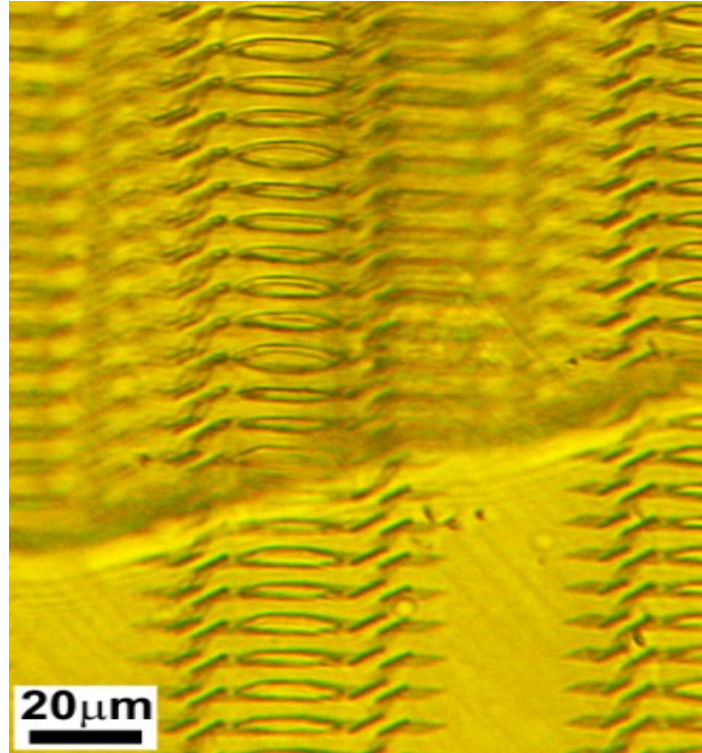
- **Nanofilm elements remain their shape and mutual position**
- **Flexible metamaterials**
- **Transparency of polymers**
- **Formation of 3D metamaterials by layer-by-layer stacking of composite films**

# ARRANGEMENT OF ROLLED-UP ELEMENTS

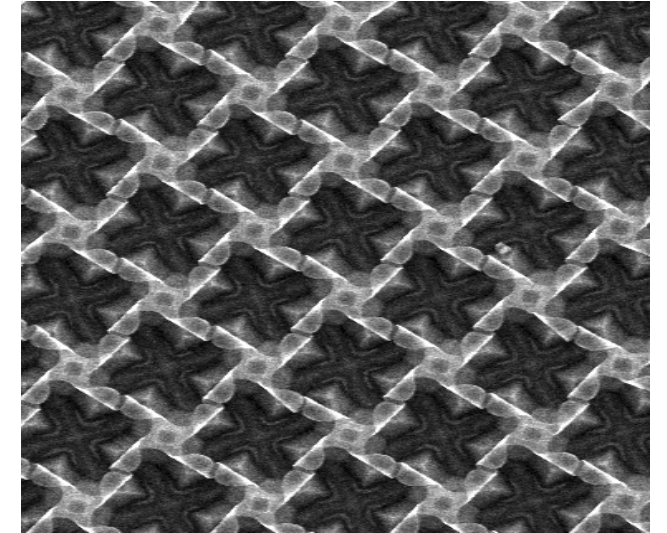


Elements **on** the substrate

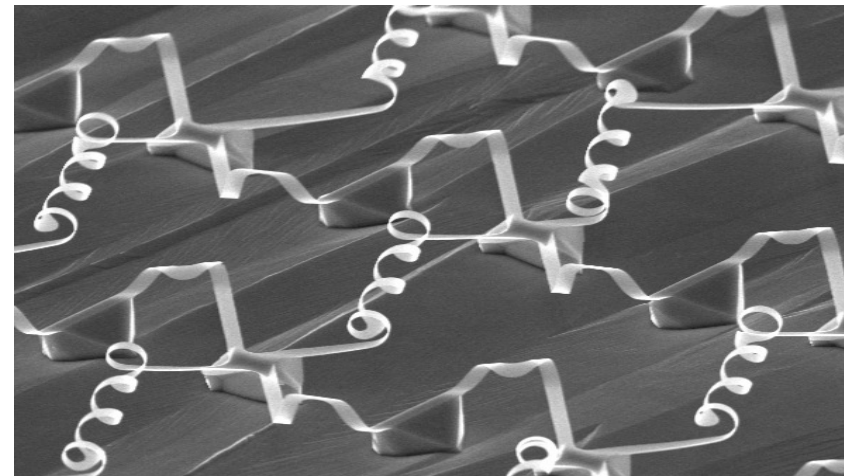
Elements embedded  
into polymer matrix



Stack of two composite  
films with helices

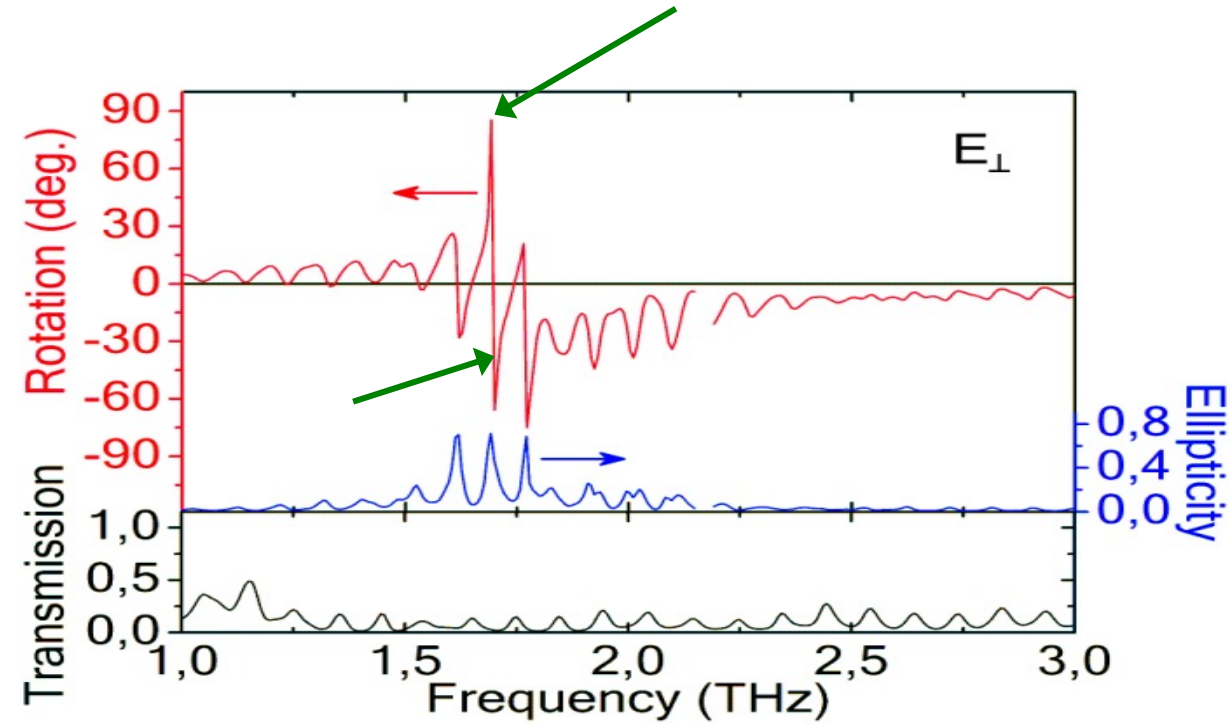
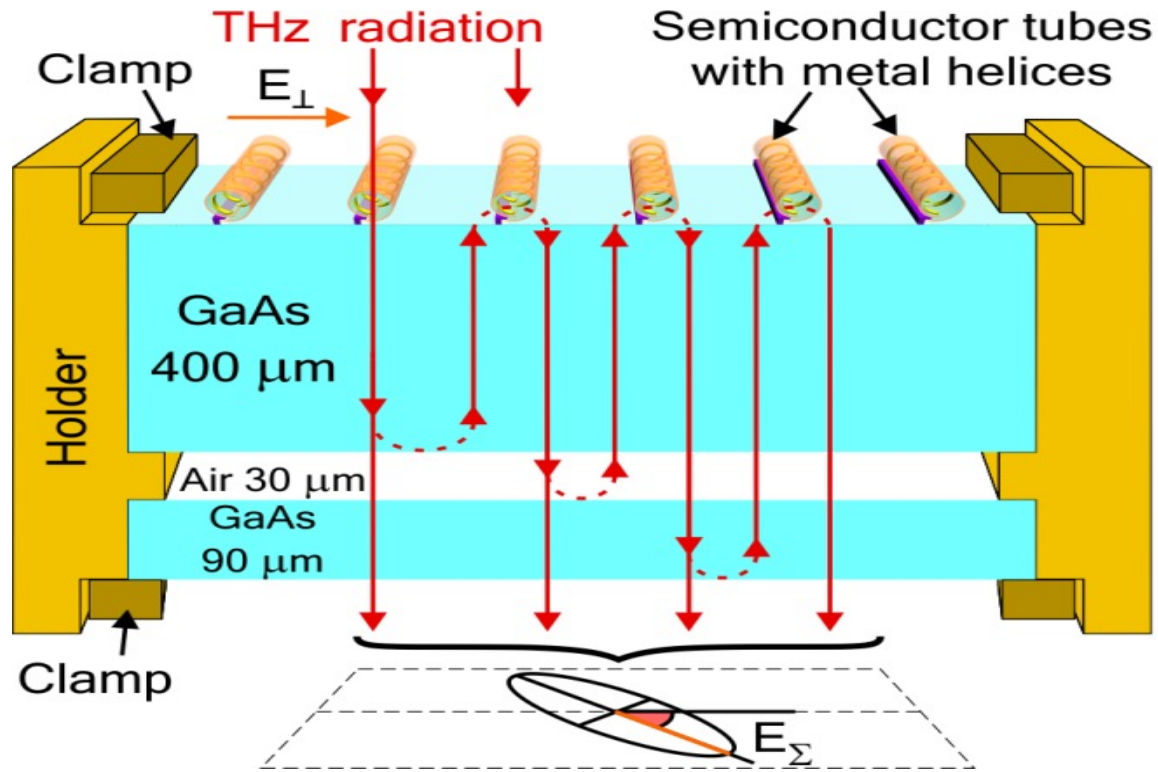


Continuously connected  
elements



Elements suspended  
on the stems **above** the substrate

# SYSTEM: PARALLEL HELICES – GaAs –AIR–GaAs



$$\alpha = 85^{\circ} @ f = 1,6924 \text{ THz}$$

$$\alpha = -65^{\circ} @ f = 1,6996 \text{ THz,}$$

$$\Delta f / f = 0.4\% \longrightarrow \Delta \alpha > 150^{\circ}$$

