

CFP 研究の歴史から (7)

— N.J.C. Packham et al. (1989) による Pd/D/Li 系における最初のトリチウム測定

このシリーズ「CFP 研究の歴史から」も 7 回目を迎え、トリチウムの測定に辿りつきました。トリチウムは CFP (常温核融合現象) 研究の測定量の中で、核反応の直接的証拠に分類される量ですが、いろいろな意味で論議の的になっていることはご存じのとおりです。

1. 序論

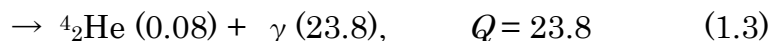
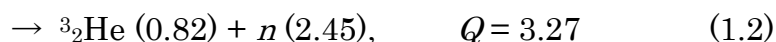
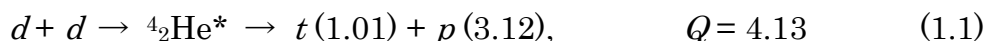
常温核融合現象 (CFP) の発見は、1989 年に Fleischmann and Pons によって報告されました。かれらの論文(の Preliminary note)は *J. Electroanal. Chemistry*, **261** に発表されましたが、ここでは Pd/D/Li 系における過剰熱、 γ 線スペクトル、中性子束、トリチウムの発生と凝縮が報告されています [Fleischmann 1989]。

我々は CFP における核反応の結果を示す測定量を *Direct* (直接) および *Indirect* (間接) *Evidences* (証拠) に分類し、CFP のいろいろな事象の特徴を決めるのに *Direct Evidences* が有効であることに注意しました [Kozima 1989 (Chap. 6), 2006 (Sec. 2.2.1.1)]。このことは、当然ながら多くの研究者が理解していたことで、例えば Packham et al. は次のように述べています：

“It is the contention of the authors that the alleged phenomenon is better characterized by the production of nuclear particles than by the measurement of bursts of heat.” [Packham 1989].

直接証拠の中で、トリチウム (三重陽子 ${}^3_1\text{H}$, t) とヘリウム 4 (${}^4_2\text{He}$) は CFP 研究の歴史で、最初から研究者の注目を集めてきた物理量でした。その後、CFP にたいする視点の広がりにつれて、核変換によって生じた変換核が直接証拠として重視されてきたことは、ご存じのとおりです。

このような経緯は、最初期の研究者たちが抱いていた CFP のイメージを考えると納得がいきます。彼らは PdD_x などの CF 物質 (CF materials) において室温 (常温) 程度の環境で *d-d* fusion reactions が起こることを予想していました。これらの反応は、自由空間で次のように書き表されます (MeV 単位)：



これらの反応の分岐比は、核物理学において次のように求められています：

$$1 : 1 : 10^{-7} \quad (1.4)$$

この分岐比は、数 MeV のエネルギーで決められたものですが、低エネルギー領域まで適用可能と考えられています。

式(1.4) で与えられる分岐比が CFP における核反応に適用可能であるとする、我々は重水素系の CF 物質 (PdD_x, TiD_x など) における核反応生成物である中性子 neutron (*n*), 三重陽子 triton (*t*), 陽子 proton (*p*, 測定は困難), ヘリウム 3 helium-3 (³He), helium-4 (⁴He) and ガンマ線 gamma (*γ*) について、いくつかの結論を引き出すことができます。

もし、CFP が基本的に *d-d* 融合反応 (1.1) – (1.3) で引き起こされるとすると、物理量 *x* の測定数 *N_x* の間には、分岐比(1.4)で与えられる測定頻度が反映して、次の関係が成り立つはずでずです。ここで、*x* は *t*, (*p*), He-3, *n*, He-4, *γ* or *Q* (excess energy)を表します。

$$N_t = (N_p) = N_{\text{He-3}} = N_n = 10^7 N_{\text{He-4}} = 10^7 N_\gamma \approx N_Q. \quad (1.5)$$

ただし、過剰熱 *Q* を生ずる反応数 *N_Q* は、次のように定義します：

$$N_Q = Q \text{ (MeV)} / 7.4 \text{ (MeV)}$$

ここで 7.4 MeV は反応(1.1) と(1.2) で生ずるエネルギーの総計です。

この場合、測定されるトリチウムの数は、中性子の数およびヘリウム 3 の数と同じはずであり、ヘリウム 4 はほとんど観測されないでしょう。

他方で、もし分岐比が(1.4) 式で与えられる値から変化したらどうなるでしょうか。もし、反応(1.3)が圧倒的に多く起こり (100%として)、*γ* 線のエネルギー 23.8MeV が何らかの理由で格子の熱に変わることがあったとしましょう。

すると、式(1.1) – (1.3) の分岐比は次のようになります。

$$0 : 0 : 1$$

このとき、発生する粒子と過剰熱の間には、次の関係が成り立ちます：

$$N_{\text{He-4}} = N_Q \equiv Q \text{ (MeV)} / 23.8 \text{ (MeV)} \text{ and } N_t = (N_p) = N_{\text{He-3}} = N_n = 0. \quad (1.6)$$

したがって、我々はヘリウム 4 と過剰熱を測定しますが、他の物理量 (中性子、トリチウム、ヘリウム 3 など) は測定にかからないでしょう。

以上の考察から得られる次の結論を強調したいと思います。関係式(1.5)と(1.6)は互いに矛盾する前提から得られたものであり、どちらが CFP で成り立つかは実験結果によって明らかにされます。さらに、関係式(1.5) (あるいは(1.6)) が成り立つかどうかは、*d-d* fusion reactions (1.1) – (1.3) (あるいは modified *d-d* fusion reaction (1.3)) が重水素系の CF 物質における CFP に適用できるかどうかを判断するリトマス試験紙になります。

もし、トリチウムが測定されたとすると、関係式(1.6)は否定されることになります。さらに、そのトリチウムの量が関係式(1.5)で与えられる他の測定量 (中性子あるいは過剰熱) と矛盾するならば、CFP の基本的な核反応を与えるのは

$d-d$ fusion reactions (1.1) – (1.3)ではないこととなります。

Fleischmann が彼らの論文の最後に述べていた次の言葉は、彼の直感が何かしら予想と違った事柄が含まれていることを察知したことを示しているのかもしれない；

“The most surprising feature of our results however, is that reactions (v) and (vi) are only a small part of the overall reaction scheme and that the bulk of the energy release is due to an hitherto unknown nuclear process or processes (presumably again due to deuterons).”[Fleischmann 1989 (Discussion)]

ここで反応 (v) および (vi) と言っている反応は、上記の反応式(1.1) and (1.2)に対応します。

この論文では、上に説明した核反応についての考察を参考に、CFP におけるトリチウムの測定結果を再検討したいと思います。

2. 先駆者たちによって得られた実験結果

1989年の5月に、the United States Department of Energy (DOE) は the *Energy Research Advisory Board* (以下 Board と略称) に、その年の3月から科学界を賑わしていた Cold Fusion の実験と理論について検討することを “Review the experiments and theory of the recent work on cold fusion.” 要請しました。Board はその年の11月にレポート(Report)を提出しました[DOE Report 1989]。その中で、常温核融合現象に関連した科学におけるエキスパートたちが、6か月にわたる “the apparent observations of cold fusion and significant quantities of energy from these phenomena” の科学的意味の検討結果が報告されました(CFRL ニュース No.87 参照)。

この段階での、最も信頼できるトリチウムの測定結果として、特に Packham et al. [Packham 1989], Wolf et al. [Wolf 1989] and Iyengar et al. [Iyengar 1989] が取り上げられています[DOE Report 1989]。

これらの論文を含む最初期の実験データをまとめ、それらの論文にたいする DOE Report の評価を検討します。

トリチウムの測定は、この段階から数種類の CF 試料でなされています：

(1) Pd/D/Li および PdSi_x/D/Na 電解系。最も多く使われているのは D₂O + LiOD 電解液を用いて Pd 金属に重水素を吸蔵させるものです。この型(Pd/D/Li)の実験は、次の論文で取り扱われています： Fleischmann et al. [Fleischmann 1989], Packham et al. [Packham 1989], Wolf et al. [Wolf 1989], Martin [Martin 1989], Iyengar et al. [Iyengar 1989 (Sec. 5)], Storms et al. [Storms 1990], Chien et al. [Chien 1992], Iwamura et al. [Iwamura 1994]. 他方、

PdSi_x/D/Na 系が Iyengar et al. [Iyengar 1989] で使われました。

(2) Pd/D₂ 系。Pd 粉末に気体 D₂ を吸蔵させる方式で、Iyengar et al. [Iyengar 1989] および Claytor et al. [Claytor 1993, Tuggle 1994] によって実験されました。

(1) Pd/D/Li および PdSi_x/D/Na 電解系.

電解系におけるトリチウムの測定の多くは Pd/D/Li 系で行われていますが、Iyengar et al. は PdSi_x/D/Na 系で実験しています。それらの典型的な論文は上に示しました。Packham et al. [Packham 1989] の最初の信頼できるデータは Pd/D/Li 系で得られたものです。彼らは D₂O + 0.1 M LiOD 電解液中の Pd cathode と Ni gauze anode を用いて、通常の電解過程で予想されるトリチウムの 10² – 10⁵ 倍の値を検出しました。

Texas A&M University の Wolf et al. [Wolf 1989] は、Packham et al. と同じ時期に同種の系で中性子とトリチウムを測定しました。測定した中性子放射濃度はバックグラウンド値 0.8 n/min の 3-4 倍でした。トリチウムは中性子を測定した時から数日間にわたって測定にかかり、電解液中に 5 × 10¹² 個のトリチウムが存在しました。

Iyengar et al. in BARC (Bhabha Atomic Research Center), India の実験では、いろいろな型の Pd 陰極(Pd/D/Li systems)と PdSi 合金陰極(PdSi_x/D/Na systems) および Ni あるいは Pt 陽極を用いた系でトリチウムと中性子を測定しました [Iyengar 1989 (Secs. 3 and 5)]. 円筒型 Pd ペレット Pd pellet 11 mm dia. × 11.2 mm height の陰極と Pt gauze 陽極の場合、中性子線の突発の後で溶液中のトリチウムは 8 倍に増え、その減衰の仕方からトリチウムが陰極から溶液中に溶け出していると考えられた。

DOE による批判 1989]

トリチウムと中性子が同一試料あるいは同種の試料で観測された場合の実験データから、測定された中性子数 N_n (あるいは過剰エネルギー数 N_Q) とトリチウム数 N_t が何桁か違っていることが明らかになりました。この実験事実はトリチウム異常 tritium anomaly と呼ばれることがあります [Kozima 1989 (Sec. 6.2), 2006 (Sec. 2.6)]. この事実は DOE Report でも、次のように指摘されています

“Wolf et al [Wolf 1989] at Texas A&M looked for neutron production in Bockris type cells. An upper limit to the production rate is 1 neutron/second, which is 10⁻¹⁰ less than of the tritium production rates reported with similar cells by the Bockris group [Packham 1989]. This large discrepancy from the equal production rates for neutrons

and tritons required by the branching ratio in the fusion reaction (Eqs. (1.1) – (1.3)), discussed in section II.B, is inconsistent by a factor of 10,000 to 100,000, even with the secondary neutrons that must accompany the tritons produced from nuclear fusion.” [DOE 1989 (Sec, III E4)]

“In no case is the yield of fusion products commensurate with the claimed excess heat. In cases where tritium is reported, no secondary or primary nuclear particles are observed, ruling out the known $D + D$ reaction as the source of tritium. The Panel concludes that the experiments reported to date do not present convincing evidence to associate the reported anomalous heat with a nuclear process.” [DOE 1989 (Conclusions)].

このように、DOE Report 1989 は、 $d-d$ 融合反応 (1.1) – (1.3) に合わない実験結果であるということで常温核融合現象の存在を否定し、実験事実の示す新しい科学の可能性には気が付かなかったわけです。

(2) Ti/D_2 と Pd/D_2 の気体吸蔵系

Iyengar et al. の気体吸蔵実験では、Pd として Pd-black 粉末および Johnson & Matthey Pd-Ag foils が、Ti は削りくず状のものが使われ、中性子とトリチウムが測定されました [Iyengar 1989 (Sec. 7.1)]。吸収された D_2 の量から、平均吸蔵比は 0.001 となりましたが、試料内の分布は表面領域に偏在していると考えられています [Iyengar 1989 (Secs. 7.3, 7.4 and 7.5)]。

Tuggle et al. による Pd/D_2 系の実験では、Pd の粉末、箔 (220 micron thick)、針金および Si 粉末および箔の組み合わせで、4 種類の型の試料が使われています [Tuggle 1994]。彼らはそれらの系でトリチウムを測定し、トリチウムの発生が、印加した電流、用いた Pd の形状と実験条件に強く依存することを明らかにしています。

TNCF (Trapped Neutron Catalyzed Fusion) Model による実験データの説明

最後に、我々の TNCF モデルを使って、トリチウムに関する実験結果を解析した結果は、すでに本や論文に出しています [Kozima 1998, 2006, 2014]。

Discovery of the Cold Fusion Phenomenon [Kozima 1998] の “*Sec. 6.4 Tritium*” では、Srinivasan et al., Storms and Talcot, Claytor et al. Iwamura et al. [Iwamura 1994], Romodanov et al., and Bockris et al. の実験を紹介し、“*Sec. 11.7 Tritium Anomaly*” で TNCF モデルによる説明を与えています。

Science of the Cold Fusion Phenomenon [Kozima 2006] の “*Sec. 2.6 Tritium*” では、トリチウム発生の実験データの本質を説明し、トリチウム、中性子、過剰熱の実験データの間関係を定量的に説明しています。

それらの説明の基本的な特徴は、モデルで仮定した CF 物質内の“捕獲中性子”と重陽子(^2_1H)およびリチウム 6 (^6_3Li)の反応によって tritium (^3_1H), および helium-4 (^4_2He) と tritium (^3_1H)が生ずるというものです;

$$n + d = t + \text{phonons (6.25 MeV)}, \quad (1.7)$$

$$n + ^6_3\text{Li} = ^4_2\text{He (2.1 MeV)} + t (2.7 \text{ MeV}), \quad (1.8)$$

ここで、Eq. (1.7)の phonons は、中性子バンド中の中性子群を通して格子にエネルギーが伝達されることを意味します。この機構の有効性についてはまだ仮説の段階ですが、われわれの提案している格子核間の super-nuclear interaction によって中性子バンドが生ずるとすると、Eq. (1.7)の反応で生ずるエネルギーがバンド内の中性子に分配されて、結果的に格子のエネルギーになる道筋はつくと思われます[Kozima 2006 (Sec. 3.7)].

物理量 x と y の測定値 N_x と N_y の間の関係は、実験的に決められるものであり、理論的に予想される関係と比較することによって、理論の価値を定めることができます。

例えば、反応式(1.1) – (1.3)から、 N_x についての関係式(1.5)が導かれ、CFP における実験との比較によって、自由空間での反応式(1.1) – (1.3)が成り立たないことが明らかになったわけです。

TNCF モデルによる N_x についての関係式が、実験データを定量的に(因子 3 の範囲で)説明できることは、すでに説明したとおりです[Kozima 2006 (Sec. 2.6), 2014 (Sec. 5)].

3. CF 研究におけるその後の実験データ

CFP におけるトリチウムの測定は、その後も続けられてきて、非常に多くのデータが得られています[Storms 2007 (Sec. 4.4.1)].

トリチウムの検出は、その大部分が重水素系でなされていることに注意しておきます。この特徴は、前節の最期に述べた TNCF モデルによる説明の妥当性を明らかに示しています。

ここで、DOE Report 2004 で指摘されている CFP の一つの特徴に注意したいと思います。それは Reviewer #1 の次の文章です[DOE Report 2004]: :

“This field is 15 years old. It has been characterized by a large number of positive but internally inconsistent results, plus an even larger number of negative results refuting many of the claims.”

このコメントは、すでに我々が説明したように、単に次の事実を述べているにすぎません：(1) Internal inconsistency は、関係式(1.5)あるいは(1.6)を予想させる $d-d$ 融合反応を否定しています。(2) negative results の存在は、定量的再現性を否定しています。

DOE Report 2004 [DOE 2004]は、Hagelstein et al. [Hagelstein 2004]によって出された問題提起 Proposal に対応して書かれたことに注意しなくてはなりません。したがってその回答は、Proposal がとっている立場、すなわち重水素系だけに限られた問題にしか妥当しないわけです。それでも、Reviewer #4 のように、Proposal の限界を見極めたコメントをしていることは、注目すべきことでしょう [DOE 2004 (Reviewer #4)]: :

“Curiously the theories, neither Hagelstein’s nor Kozima’s (see Appendix A) were discussed in the paper by Hagelstein et al. [Hagelstein 2004] (added at citation).”

4. CF 研究に対する DOE Reports の意味

このシリーズの第一回 “*From the History of CF Research (1)*” で DOE Reports を取り上げたのは、常温核融合現象 CFP の研究が、いくつかの誤解の結果として科学の世界で孤立し、健全な成長・発展を拒まれている現状を打破する必要を痛感しているからです。

DOE Report 1989 と DOE Report 2004 で Reviewers から示された、専門知識に基づいた批判は、常温核融合現象の科学を打ち立てるための貴重なヒントを与えてくれるものと受け取らなければなりません。

しかしながら、CFP の研究者と彼らの基本的な相違点は、常温核融合現象にたいする関心の持ち方にあります。多くの CFP 研究者が語っているように、一度ポジティブな結果を味わった研究者は、その奥に結果をもたらした科学が潜んでいることを確信します。その確信が、説明体系の存在しない、定性的再現性しかないこの現象の探究に時間とエネルギーを捧げさせるのです。

そのような確信を持たない Reviewers は、既存の体系枠で実験事実を判断し、いくつかのミラクルが常温核融合現象をもたらすと指摘してくれています:

“1. The Fusion Rate miracle. 2. The Branching Ratio miracle. 3. The Concealed Nuclear Products miracle.” [DOE 2004 (Review #6)]

これらの問題は、Reviewer の立場からすると、CF 研究の意味を否定する根拠としてしか考えられません。

われわれの立場では、これらの問題は奇妙な実験事実に立脚して CF 物質(多量の水素同位元素を含む固体)の新しい科学を作るために通過しなければならない障壁を示しているのです。

これらの問題に対する、TNCF モデルに基づいた我々の回答は、すでに本や論文の形で与えられています [Kozima 1998, 2006, 2014]. The fusion rate miracle および the branching ratio miracle は、 $d-d$ 融合反応 (1.1) – (1.3) に囚われた結果の幻想であり、中性子と他の原子核との核反応で解決されました。concealed nuclear miracle もまた $d-d$ 融合反応 (1.1) – (1.3) が固体中で起こ

ると考えた結果の間違いです。

三つのミラクルは、**Reviewers** の立場からの問題点で、**CFP** を否定するために使われています。しかし、**CF** 研究者の中には、これらのミラクルに目をつぶって、部分的な実験事実をテコにして問題解決を図ろうとする傾向も見られます。たとえば、 $d-d$ 核反応 (1.1) – (1.3) を部分的には利用しながら、トリチウム異常や高エネルギー中性子の存在(*From the History of CF Research* (4))などとの関係は考えないようにするのです。

そういうわけで、 $d-d$ 核反応 (1.1) – (1.3) に固執するかぎり、常温核融合現象の実験事実とその説明の理論体系とは矛盾せざるを得ないのが現実です。

DOE Reports の指摘するもう一つの問題点に、再現性の問題があります。

“Some experiments have reported the production of tritium with electrolytic cells. The experiments in which excess tritium is reported have not been reproducible by other groups. These measurements are also inconsistent with the measured neutrons on the same sample. Most of the experiments to date report no production of excess tritium. Additional investigations are desirable to clarify the origin of the excess tritium that is occasionally observed.” [DOE 1989 (Conclusion 2)] (Underlines at citation)

第二点、トリチウムと中性子の量の不一致については、上に説明しました。第一点の再現性については、すでに何回も説明してきたように、核物理学に関する誤解あるいは無理解があります[Kozima 1998 (Sec. 9.3), 2006 (Sec. 2.14)]. 原子核内あるいは原子核間の核反応は、基本的に確率によって支配され、確率法則によって記述されます。もっとも簡単な $^{226}_{88}\text{Ra}$ の α -崩壊がその適例です。さらに、**CF** 物質ができるときの原子・分子過程が確率過程を含み、さらに協同現象であって、複雑性 **complexity** として振る舞うことを考えると、単純系における定量的再現性が成り立つはずがないことが理解できます [Kozima 2006 (Sec. 3.8)].

5. 結語

トリチウムの測定結果は、常温核融合現象における明瞭な事実が存在することを **DOE Reports** の **Reviewers** も認めざるを得なかったことを示しています。しかし、彼らが指摘しているように、事実を説明する理論体系が存在しないことも確かです。

序論で述べたように、実験事実を実験を行う動機となった予想の適否を決めるリトマス試験紙でもあります。先駆者たちが予想した、**CF** 物質中で $d-d$ 融合反応が起こるといふ仮説を、実験結果は否定しており、われわれはこれまでに集積された、水素系および重水素系の **CF** 物質における多様な実験事実を説明する核反応機構を發明しなければならない状況に置かれています。

我々は、現象論的なアプローチによって、CF 物質中に自由中性子が存在するという仮定に基づくモデル(TNCF モデル)を提起しました[Kozima 1994]. このモデルをつかって、多くの実験事実を定性的に、ときには半定量的に説明することに成功しました[Kozima 1998, 2006, 2014]. モデルの成功は、捕獲中性子の仮定が CF 物質における何らかの実態を反映している可能性を示していると考えられます。そこで、モデルの仮定の量子力学的基礎の探究を進め、CF 物質(NiH_x や PdD_x)の中の格子間陽子あるいは重陽子に媒介された格子核（格子点を占める Ni や Pd 原子核）の間の相互作用（超核力相互作用）によって中性子バンドが生ずる可能性を示しました。中性子バンドの中の中性子が、モデルで仮定した捕獲中性子の役割を担うこととなります。

常温核融合現象 CFP の 25 年にわたる研究の後に、未だわれわれは常温核融合現象の科学への道筋を見つけないでいます。多くの実験データは積み重ねられてきましたが、そのデータ間の整合性に関して未だまとまった理解には達していません。主に重水系で観測されているトリチウムは、中性子、ヘリウム 4 および過剰熱などの他の観測量との関係が理解されないままです。このような状況は、われわれに次の Poincaré の言葉を思い出させます：

“The man of science must work with method. Science is built up of facts, as a house is built of stones; but an accumulation of facts is no more a science than a heap of stones is a house. Most important of all, the man of science must exhibit foresight.” [Poincaré 1902].

優れた実験結果を含む資料の堆積を前にして、この言葉を読み返すと、理論家としての責務を痛感するのは私だけではないでしょう。そんな状況にあって、新しい試みが現れてきたことは、そこから何らかの新しいヒントが得られるものなのかもしれません。その一つは、Ni-Li-H₂ 粒子の塊を 1000 °C 以上の高温にし、過剰熱を発生させる試みです[Kozima 2015]。Ni-H 系に Li を加え、1400 °C に達する高温で何が起こるかを調べるといふ、技術的な動機が、科学にどのような材料を提供してくれるのか、大いに興味のあることではあります。

References

- [Chien 1992] C-C. Chien, D. Hodko, Z. Minevski and J.O'M. Bockris, “On the Electrode Producing Massive Quantities of Tritium and Helium,” *J. Electroanal. Chem.*, 338. 189 – 212 (1989).
- [Claytor 1993] T.N. Claytor, D.G. Tuggle and S.F. Taylor, "Evolution of Tritium from Deuterided Palladium Subject to High Electrical Currents", *Proc. ICCF3*, pp. 217 – 229 (1993). ISSN 0915-8502.
- [DOE 1989] Cold Fusion Research, November 1989 – A Report of the Energy

Research Advisory Board to the United States Department of Energy – , DOE/S-0071 (August, 1989) and DOE/S--0073, DE90, 005611.

This report is posted at the *New Energy Times* website:

<http://newenergytimes.com/v2/government/DOE/DOE.shtml>

[DOE 2004] “Report of the Review of Low Energy Nuclear Reactions.” December 1, 2004.

http://www.science.doe.gov/Sub/Newsroom/News_Releases/DOE-SC/2004/low_energy/CF_Final_120104.pdf .

This report is posted at the *New Energy Times* website:

<http://newenergytimes.com/v2/government/DOE2004/7Papers.shtml>

[Fleischmann 1989] M, Fleischmann, S. Pons and M. Hawkins, "Electrochemically induced Nuclear Fusion of Deuterium," *J. Electroanal. Chem.*, **261**, 301 – 308 (1989).

[Hagelstein 2004] P.L. Hagelstein, M.C.H. McKubre, D.J. Nagel, T.A. Chubb, and R.J. Hekman, “New Physical Effects in Metal Deuterides,” paper submitted to DOE to request that the Department revisit the question of scientific evidence for low energy nuclear reactions: <https://www.sc.doe.gov/LENR>.

[Iyengar 1989] P.K. Iyengar, “Cold Fusion Results in BARC Experiments,” *Fifth International Conf. on Emerging Nucl. Energy Systems*. 1989. Karlsruhe, Germany.

[Iwamura 1994] Y. Iwamura, T. Itoh and I. Toyoda, “Observation of Anomalous Nuclear Effects in D₂-Pd System,” *Trans. Fusion Technol. (Proc. ICCF4)*, pp. 160 – 164 (1994). ISSN: 0748-1896.

[Kozima 1994] H. Kozima, “Trapped Neutron Catalyzed Fusion of Deuterons and Protons in Inhomogeneous Solids,” *Trans. Fusion Technol.* **26-4T**, pp. 508 – 515 (1994). ISSN: 0748-1896.

[Kozima 1998] H. Kozima, *Discovery of the Cold Fusion Phenomenon* (Ohtake Shuppan Inc., 1998). ISBN 4-87186-044-2.

[Kozima 2006] H. Kozima, *The Science of the Cold Fusion Phenomenon*, Elsevier Science, 2006. ISBN-10: 0-08-045110-1.

[Kozima 2014] H. Kozima, “The Cold Fusion Phenomenon – What is It?” *Proc. JCF14*, **14-16**, pp. 203 – 230 (2014), ISSN 2187-2260, and posted at JCF website:

<http://jcfers.org/file/jcf14-proceedings.pdf>. And also *Reports of CFRL 14-4*, 1 – xx (March, 2014) which is posted at CFRL website:

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/Papers/paperr/paperr.html>

[Kozima 2015] H. Kozima, "TNCF Model and E-Cat," *E-Cat World*,

<http://www.e-catworld.com/2015/04/25/the-trapped-neutron-catalyzed-fusion-model-and-e-cat-hideo-kozima/>

And also *CFRL News* No. 93

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/News/news.html>

[Martin 1989] C. R. Martin, Texas A & M, *Letter of 11 September 1989 to ERAB*.

[Packham 1989] N.J.C. Packham, K.L. Wolf, J.C. Wass, R.C. Kainthla and J.O'M. Bockris, "Production of Tritium from D₂O Electrolysis at a Palladium Cathode," *J. Electroanal. Chem.*, 270. 451 – 458 (1989). ISSN: 1572-6657.

[Poincaré 1902] Henri Poincaré, *Science and Hypothesis*, p. 141 (1902). Translated by W.J.G. Dover Publications Inc. 1952. Library of Congress Catalog Card Number 53-13673.

[Storms 1990] E. Storms and C. Talcott, "Electrolytic Tritium Production," *Fusion Technol.*, 17, 680 – 695 (1990), ISSN: 0748-1896. Also E. Storms and C. Talcott, "A Study of Electrolytic Tritium Production," *Proc. ICCF1* (1990).

[Storms 2007] E. Storms, *The Science of Low Energy Nuclear Reaction*, World Scientific, 2007. ISBN-10 981-270-620-8.

[Tuggle 1994] D.G. Tuggle, T.N. Claytor and S.F. Taylor, "Tritium Evolution from Various Morphologies of Palladium," *Trans. Fusion Technol.* 26, 221 – 231 (1994), ISSN: 0748-1896. And *Proc. ICCF4* (Dec. 6 - 9, 1993, Lahaina, Maui) Vol. 1, p. 7, EPRI TR-104188.

[Wolf 1989] K.L. Wolf, K. Packham, J. Shoemaker, F. Cheng, and D. Lawson, "Neutron Emission and the Tritium Content associated with Deuterium-Loaded Palladium and Titanium Metals" *Highlights of Papers* presented at the *Workshop on Cold Fusion Phenomena* (Los Alamos National Laboratory, Santa Fe, New Mexico, May 23 – 25, 1989).