

Recuerdos autobiográficos de Yakov Borisovich Zeldovich

El 2 de diciembre de 1987 murió Yakov Borisovich Zeldovich, uno de los más grandes físicos de este siglo. En el obituario publicado por la revista *Physics Today* (vol. 41, dic. de 1988) se lee: "Con su muerte, la humanidad ha perdido a uno de los últimos físicos universalistas, que poseía una erudición enciclopédica y una creatividad excepcional en todos los dominios de la física moderna y la astrofísica."

Nosotros tuvimos el privilegio de tomar clases con él, de trabajar con él y de conocerlo de manera personal. Yakov Borisovich era un hombre apasionado por todo lo que hacía, en especial por la física; era un expositor brillante y su trabajo abarcó muchos campos de la física (¡casi todos!) e hizo contribuciones originales y fundamentales en ellas.

Quizá su mayor fama, sobre todo en el extranjero, la obtuvo por sus trabajos en astrofísica, que le valieron, entre muchas otras distinciones, el doctorado honoris causa de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, y la membresía en la Royal Astronomical Society. Sin embargo, dentro de su país fue más conocido por sus contribuciones a la fisicoquímica, a la teoría cinética y a la teoría de explosiones. Obtuvo el premio Lomonosov y la orden de Lenin como héroe del trabajo socialista (aunque en estos días esas cosas estén pasadas de moda).

Yakov Borisovich no fue tan conocido en el extranjero como ameritaba. La razón fundamental por la que durante años no se le permitió viajar fuera del país fue su participación en el proyecto de fabricación de la bomba atómica soviética, de lo cual desafortunadamente, habla muy superficialmente en el presente relato. Para colmo, era de origen judío y ade-

más defendió abiertamente a Sajarov. No fue sino hasta 1982 cuando le otorgaron, en el último momento, el permiso para asistir a la XVIII Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional en Patras, Grecia, de la que fue invitado de honor. Borisovich relata este episodio con gran emoción.

Yakov Borisovich era un hombre con una personalidad singular, un gran talento, sentido del humor, amor por la vida, por las mujeres y por su país. En 1984, con motivo de sus 70 años, entre los festejos que organizó en su honor la Academia de Ciencias de la URSS se encontraba la edición de una selección de sus trabajos en los diferentes campos. La edición consta de dos tomos, y al final del segundo Borisovich escribió una especie de au-

tobiografía científica, no detallada, sino de carácter subjetivo, con sus puntos de vista sobre sus trabajos y su desarrollo.

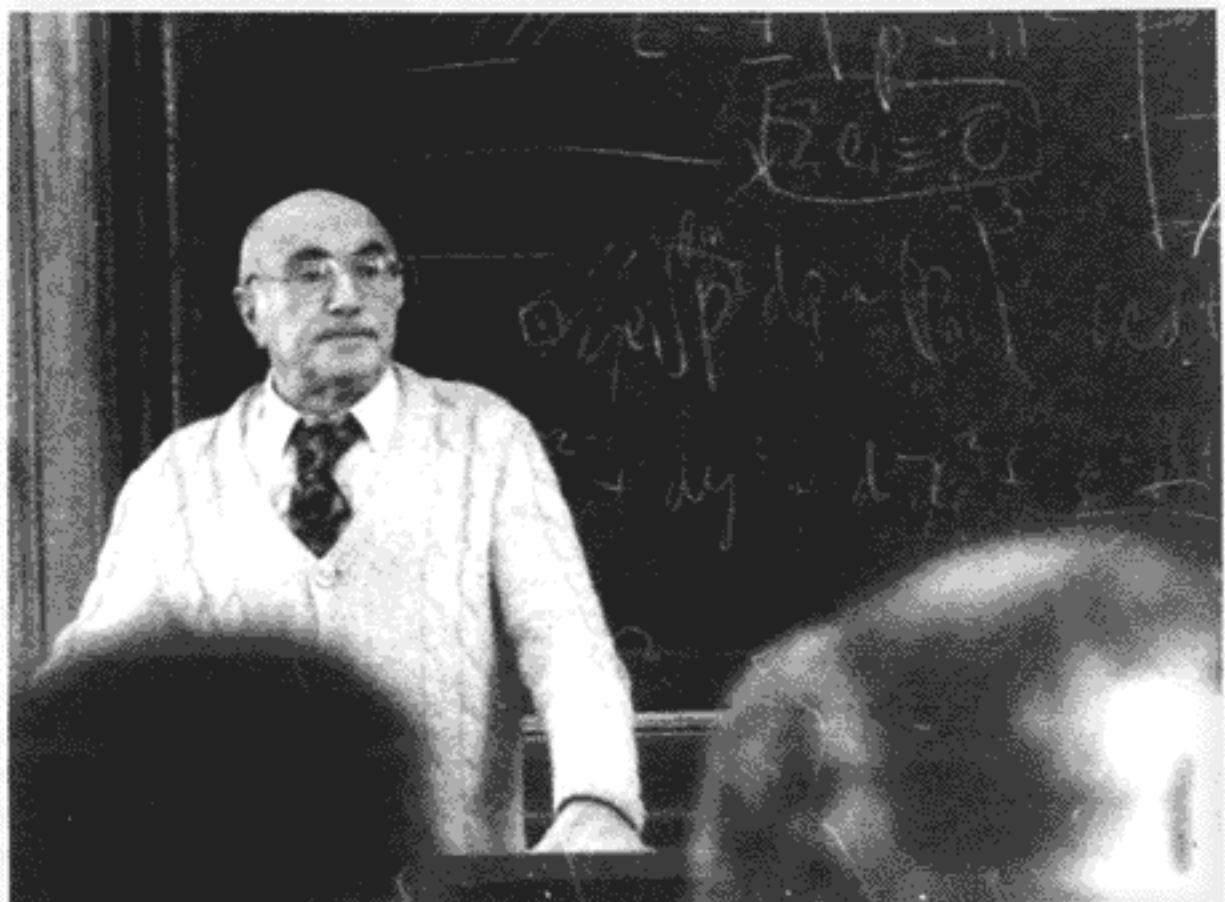
Consideramos que es de gran interés este ensayo pues su vida, ejemplar, merece ser más conocida entre nuestra comunidad. Por ello traducimos del ruso este ensayo, cuya lectura esperamos les sea provechosa y estimulante. Yakov Borisovich formó parte de la legendaria pléyade de científicos soviéticos que tan alto llevaron el nombre de la ciencia de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.

A Yakov Borisovich, en su memoria.

Ciudad Universitaria, México.

Darío Nuñez. Instituto de Investigaciones Nucleares

Deborah Dultzin. Instituto de Astronomía



Yakov Borisovich en 1987.

Al llegar a la última parte del libro, naturalmente surge la pregunta acerca de los resultados finales de 70 años de vida y 53 de trabajo, así como de las lecciones que de estos resultados puedan surgir para el futuro.

La primera pregunta sobre los resultados, ha sido tratada por los editores del presente libro. Desde mi punto de vista sus comentarios han dado una calificación demasiado elevada a mis resultados y a su influencia en la ciencia contemporánea.

Sin embargo, sería poco atinado discutir sobre la mayor o menor importancia de tal o cual trabajo. Tendría mayor interés la diferencia cualitativa entre las evaluaciones de mis trabajos, así como del estado general de la física, desde distintos puntos de vista: el externo —por los especialistas, incluidos los más bondadosos— y el interno —el mío propio—. Así pues, las presentes páginas están escritas desde la más profunda posición subjetiva, sin ninguna intención de objetividad.

Recuerdo muy bien mi primera elección en el campo del conocimiento, siendo niño todavía (tenía doce años), en una plática con mi padre. Para las matemáti-

cas se necesitan capacidades únicas, y yo no me sentía dueño de ellas. La física parecía una ciencia terminada: se notaba la influencia del muy respetado maestro de física de la escuela, que muy ceremoniosamente presentaba las celestiales leyes de Newton, primero en latín y después en ruso. El espíritu más sencillo de la nueva física aún no llegaba a la escuela de educación media en 1926. Al mismo tiempo, el curso de química estaba lleno de acertijos: ¿qué es la valencia?, ¿la catálisis? Y los químicos no negaban la falta de una teoría fundamental. El libro de Ya. I. Frenkel, *La composición de la materia*, me produjo una gran impresión, sobre todo la primera parte, que básicamente se refería a la teoría atómica y cinética de los gases, a la determinación del número de Avogadro y al movimiento browniano. Pero la atómica, así como la termodinámica, se relacionaban de igual manera con la física y con la química. Posteriormente el destino me pondría en el Instituto de Físico-Química (IFQ).

En 1930 yo era ayudante en el Instituto de Trabajo Mecánico en Materiales Útiles (Mejanobra); observaba las grietas de los sedimentos montañosos. Se me

grabaron para siempre las riquezas de la península de Kol'ski, lo mismo que el respeto al académico A.S. Fersman. En marzo de 1931, en una excursión con colegas del Mejanobra, fui al departamento de físico-química del instituto físico-técnico de Leningrado. En el laboratorio de S.Z. Roguinskii, me interesó la cristalización de la nitroglicerina en dos modificaciones. Sobre esto le platicué a L.A. Sena (Roguinskii estaba fuera del país).

Después de algunas discusiones (acerca de las cuales ni yo ni Sena teníamos noticias confiables) me propusieron que trabajara en el laboratorio durante mi tiempo libre. Pronto llegó la situación de mi cambio de adscripción oficial. Al tiempo de mi inclusión (15 de mayo de 1931), el departamento se transformó en un Instituto de Físico-Química independiente. Recuerdo mi discurso arbitral sobre la transformación cinética del parahidrógeno en ortohidrógeno. No recuerdo completamente el proceso, pero defendía con vehemencia el principio de equilibrio detallado. Estaban N.N. Semenov, S.Z. Roguinskii y muchos más que después serían mis colegas.

Muchos años después escuché tres versiones. La primera: que el Mejanobra me cedió al Instituto de Físico-Química a cambio de una bomba de aceite. La segunda: que el académico A.F. Ioffe le escribió al Mejanobra que yo nunca sería útil en la solución de problemas prácticos. La tercera: que Ioffe no soportaba a los niños superdotados y por eso me cedió al Instituto de Físico-Química.

Hasta la fecha desconozco el grado de verdad que hay en estas versiones. Sólo puedo decir que a Ioffe no lo vi sino hasta 1932, en condiciones muy particulares: se había convocado a un seminario general del Instituto Físico Técnico y sus dependencias. Ioffe le envió un telegrama a J. Chadwick sobre el descubrimiento del neutrón así como sus comentarios al respecto y, como conclusión, se acordó y se respondió que también nosotros (¡todos!) nos conectábamos a la física del neutrón. Para mí, aunque no inmediatamente, la decisión fue profética.

En el interés por la química tuvo un papel muy importante la mera percepción visual de los colores brillantes y de las formas, que comenzaban con "la transformación de agua en sangre" merced a la interacción de las sales de hierro y de algunos tipos de potasio, con la formación de residuos y la cristalización. A esto se-



Foto: B. W. Kilburn

guía el interés por las transformaciones bruscas de los indicadores de color y, posteriormente, por las transformaciones bruscas de fase.

En los laboratorios vecinos estudiaban espectros atómicos. Recuerdo claramente que, en comparación con la variedad de colores y formas de los fenómenos macroscópicos, la teoría detallada del átomo parecía aburrida. Hoy escribo sobre esto como testimonio de mi enorme incompreensión de entonces sobre la teoría física.

De todos modos, había un sentimiento natural y válido de que tras las formas caprichosas y la alternación de dependencias continuas y bruscas, se escondían leyes generales. Hoy estas teorías reciben el nombre de teoría de catástrofes y sinérgica.

En los años 30 al desarrollar la teoría de la combustión, esencialmente trabajamos con ejemplos concretos de estas nuevas ciencias, que aún carecían de nombre. Recuerden la confusión de Molière en el palacio al saber, ya a una edad madura, que toda su vida habló en prosa.

El enorme e indispensable trabajo de Abraham Fedorovich Ioffe y de Nicolai Nicolaievich Semonov fue la creación de institutos que de todos los rincones atrajeron a la juventud capacitada. Surgió una situación más que crítica generada por el rápido crecimiento en personal y en resultados. Para mí fue determinante el hecho de que tuve la posibilidad de estudiar con los físicos teóricos jóvenes (¡aunque mayores que yo!) Estoy muy agradecido a mis maestros de entonces y actuales amigos: L. E. Gurevich, V.S. Sorokin, O. M. Todes, S.V. Ismailov. Cerca de dos años estudié (sin terminar) en la facultad abierta de la universidad. Estuve en las notables de electrodinámica del finado M.P. Bronshtein. Ahora recuerdo las palabras "invarianza del gradiente", que entonces no comprendía...

La conjunción de los trabajos experimentales y teóricos sobre una y la misma pregunta me produjo gran satisfacción. La adsorción isotérmica de Friedlich la vi por primera vez de manera experimental, al investigar el sistema $MnO_2-CO-O_2-CO_2$. Sólo después de esto se desarrolló la teoría correspondiente (véase mi artículo sobre fisico-química e hidrodinámica). Sin dejarlo de lado, probé en los experimentos la dependencia de la temperatura del exponente n en la fórmula $q = cP^n$. En el experimento no había nada enteramente nuevo, pues las isotermas de



Foto: B. W. Kilburn

Friedlich, como lo indica su nombre, las descubrió Friedlich no yo. Sin embargo, el propio experimento activó en mí, de manera inusual, el deseo de entender el fenómeno y darle su teoría. Creo que esta es una situación general. A los teóricos que trabajan en el campo de la física macroscópica, les recomiendo encarecidamente tomar parte en los experimentos.

Un determinado ciclo de trabajo en adsorción y catálisis formó mi tesis de candidato a doctor en ciencias. Brillantes aquellos tiempos en que el Consejo Académico Superior permitía defender la tesis a personas que no tenían instrucción superior. La defensa ocurrió en septiembre de 1936.

Aún antes de esto yo había decidido nadar solo y me puse a trabajar sobre elementos combustibles. Mi interés por la electroquímica se nutría del respeto al académico A.N. Frumkin, quien generosamente se interesaba en mis trabajos sobre adsorción, que en buena medida eran paralelos a los suyos, realizados en colabo-

ración con M.I. Temkin. Las disquisiciones sobre las formas de transformar la energía de los combustibles en energía eléctrica surgían, naturalmente, bajo la influencia de A.F. Ioffe.

Sin embargo, en la práctica respecto al estudio de los elementos combustibles yo me encontraba solo en el IFQ de Leningrado. El trabajo se desarrollaba muy lentamente.

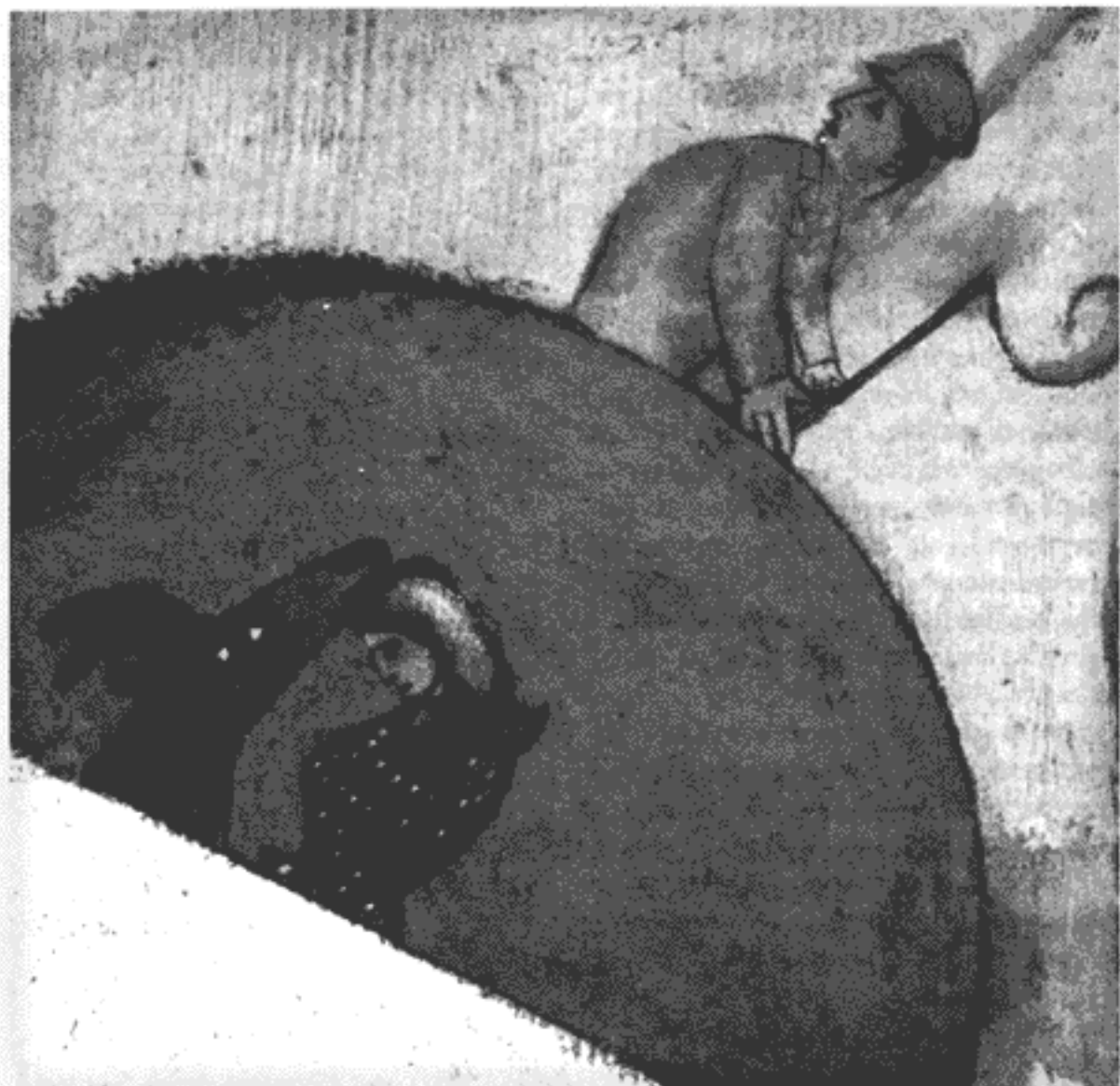
En 1935 llegó al Instituto —de hecho irrumpió en él— el enérgico y penetrante odeseño A.A. Rudoi. A él lo inspiró la teoría de las reacciones químicas en cadena. ¿Qué es lo que impide encontrar una manera de transformar la energía de la combustión en energía de los centros activos y usarla para una reacción endotérmica de la oxidación del nitrógeno? ¿Por qué no utilizar algunos litros de ácido nítrico a partir de un kilogramo de combustible y del aire, que no cuesta nada? Más allá del polvo nebuloso se dibujó un cuadro totalmente idílico: el tractor, al remover la tierra, simultáneamente se provee

de sus fertilizantes de nitrógeno y las proposiciones clásicas para la síntesis de amoníaco quedan en el abandono. Semenov tomó a Rudoi para el instituto, pero al mismo tiempo fundó un grupo serio que se dedicara a buscar la respuesta a esa pregunta. Participaron los finados P.Ia. Sadovnikov, D.A. Frank-Kamenetskii, A.A. Koval'skii y yo mismo. Resultó que la formación de los óxidos de nitrógeno durante la combustión del hidrógeno en el aire había sido estudiada desde Cavendish, antes de que se conociera la composición del aire.

No voy a describir aquí los resultados de ese gran trabajo colectivo, pues se encuentran en mi libro de fisico-química e hidrodinámica al que ya me referí.

De nuevo trabajé en los campos experimental y teórico. El trabajo me hizo estudiar y aplicar los resultados a la teoría de las dimensiones, semejanzas y automodelación; amplió horizontes, me condujo a problemas de turbulencia, convección y técnicas de calor. el libro de A.A. Gujman, *Teoría de las semejanzas*, influyó mucho en mí. Surgió una estrecha y fructífera amistad con David Albertovich Frank-Kamenetskii. Ingeniero de formación mandó al IFQ una carta, en la cual N.N. Semenov vio su talento y lo llamó a Leningrado y pronto lo entusiasmó para que trabajara en la oxidación del nitrógeno. Por Frank-Kamenetskii y su formación de ingeniero, yo supe acerca del número de Reynolds, de corrientes supersónicas, de la tobera de Lavall y de muchos puntos más.

Tiempo después, también respecto de la oxidación del nitrógeno, me encontré con Ramzinii, quien por ese entonces había recibido el premio estatal y se hallaba activo aún pero ya muy enfermo trabajando él solo en casa por las tardes, terminó en dos semanas un trabajo que cualquier proyecto científico del instituto hubiera desarrollado en varios años. Pero la respuesta cualitativa había sido aclarada aún antes. En el mejor de los casos con el calentamiento del aire y del combustible, e incluso añadiendo oxígeno, se obtienen relativamente bajas concentraciones de óxidos de nitrógeno. Resultó muy limitante el proceso de transformación $\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$, por la reacción clásica trimolecular $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$. Sólo el NO_2 se puede tomar y utilizar, pero los volúmenes tecnológicos necesarios para su transformación son exageradamente grandes. El sueño no se realizó, y sólo



Marc Chagall

hasta los ochenta la teoría de la oxidación del nitrógeno adquirió un nuevo significado, el ecológico. La teoría de la oxidación del nitrógeno fue el tema de mi tesis doctoral, defendida a finales de 1939. Me dio gusto reconocer que entre los sinodales estaba Aleksandr Naumovich Frumkin. La continuación natural del trabajo en el cual la combustión era la fuente de las altas temperaturas, fue la investigación del proceso mismo de la combustión.

La combustión es parte de diversos procesos, como la combustión de mezclas explosivas, la combustión de gases que no se mezclan, la detonación, etc. Todos estos procesos fueron estudiados desde hace tiempo, pero sin incluir el estudio de la cinética química de la reacción. La generación anterior de investigadores empezó a partir de las técnicas de calor y de la dinámica de gases. La brillante excepción fue el francés Taffanell, quien en 1913-1914 publicó numerosos trabajos que sirvieron de inspiración a muchos científicos. En 1914 calló. Apenas en abril de 1985 supe que Taffanell vivió hasta 1946, trabajando con éxito en cuestiones de ingeniería.

Frente a nosotros había un enorme campo de actividad y el periodo de 1938 a 1941 fue fructífero. N.N. Semenov ma-

nifestó un gran interés. Por lo general, después de unos diez minutos de que había llegado a mi casa, cada noche Nicolai Nicolaievich me llamaba por teléfono y la cena tenía que esperar una hora más. Discutíamos algunas partes de los famosos artículos de revisión de Semenov en los "Uspeji". *Éxitos de las ciencias físicas*, importante revista científica (N. del T.).

En el Instituto se organizó un laboratorio de combustión en el cual, de acuerdo con un plan de trabajo se investigaba la cinética de la reacción $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$, hasta las más altas temperaturas. Probablemente fuera más importante el hecho de que en el Instituto ya existiera, desde hacía tiempo, un laboratorio de motores de combustión interna, en el que K.I. Schel'kin investigaba la detonación. Estar junto al laboratorio de materiales explosivos influyó mucho en mí. En él estaban mis compañeros de generación A.F. Beliaiev y A.A. Appin. Este laboratorio lo organizaba y dirigía Yuli Borisovich Jariton, mi amigo y maestro hasta la fecha. Los trabajos en colaboración con Yuli Borisovich todavía van a dar muchos frutos.

Como físico teórico, me considero alumno de Lev Davidovich Landau. No

es necesario referirse al papel de Landau en la creación y el desarrollo de la física teórica soviética. Quisiera decir más bien que al paso de los años, al crecer y envejecer, empecé a entender mejor y a apreciar más el papel de otras escuelas y de otras personas. Entre ellos menciono a Ya. I. Finkel, de quien destaco su enorme intuición, optimismo y amplitud. Estarían enseguida sus discípulos y la escuela que surge de L. I. Mandelshatm sobre la teoría de las oscilaciones. Finalmente estarían muchos grandes matemáticos que trabajaban exitosamente en la física teórica.

Suplico que no se considere que hay malicia en el párrafo anterior. Si escribo que Frenkel tenía intuición y que Fok era un buen matemático, no debe concluirse que Landau carecía de intuición o de conocimientos matemáticos. Nada más lejos de mí. El talento de Landau era armónico, sus juicios eran severos pero casi siempre justos. Lo dicho sobre las escuelas de física teórica se puede aplicar a las escuelas de física en general.

En mi juventud, mi visión del mundo se reducía al IFQ y al IFT. Sin duda el IFT generó una brillante pléyade de físicos, entre ellos a Igor Vasilievich Kurchatov y a sus colegas, que realizaron tareas gubernamentales muy importantes. Sobre esto se ha escrito mucho y bien en gran cantidad de artículos y libros. Pero en los años anteriores a la guerra, e inclusive en los primeros de la posguerra, me parecía que, por ejemplo, la óptica era una ciencia a la que se le habían agotado las interrogantes principales. Hoy basta mencionar la radiación Cherenko y los láser para rebatir mi juicio y demostrar que es incorrecto y superficial. La línea que parte de Lebedev y pasa por Rojdestbenskii y Vavilov, Mandelshatm y Tamm, Cherenkov, Frank, Ginsburg, Projorov y Basov, se manifestó infinitamente más fructífera de lo que me parecía en los años treinta.

Ahora bien, resulta difícil determinar si esto era tan sólo mi daltonismo, si se trataba más bien de una cierta falta de valoración de otra u otras escuelas que dividía a mis colegas. De cualquier modo las memorias —muy francas— de Gamov y de algunas respuestas de Skobelnitsin, puedo juzgar con seguridad las opiniones de los representantes de otras direcciones. La escuela de Lebedev marcaba muy claramente su existencia independiente de la escuela de Ioffe. Pero dejemos este tema a los historiadores de la ciencia. Por fortuna, este tipo de antagonismos ha desa-

parecido gracias al provechoso intercambio entre dichas escuelas.

Regresando a mi trabajo de los años treinta, percibo una falla esencial: la insuficiente difusión de mis resultados fuera del país. Yo conocía bien los trabajos extranjeros, publiqué algunos de ellos en revista soviéticas editadas en inglés. Sin embargo, no se me ocurrió comentar mis investigaciones con científicos de otros países. Ni hablar siquiera de un permiso para trabajar en el extranjero. Los tiempos fueron culpables, pero en cierta medida fueron mayormente responsables, los camaradas más maduros, que debieron haberse preocupado más aún por los lazos vivos.

Pero prosigamos. Con el descubrimiento del decaimiento del uranio y la posibilidad en principio de la reacción en cadena, se produjo algo que cambió el destino del siglo, y el mío propio. Los trabajos de Jariton y los míos se publicaron en el presente libro y no tengo nada que agregar a los comentarios en los puntos científicos. Quiero mencionar tan sólo

el papel director de mi maestro Jariton, en la comprensión de lo que para la humanidad significaban dichos trabajos. A mí tal vez me interesaban más las preguntas específicas sobre los métodos de los cálculos y ese tipo de cosas. No es casualidad que haya sido precisamente Yulii Borisovich quien fue nombrado en 1940 miembro de la Comisión de Uranio. El ulterior desarrollo de los trabajos es bien conocido por muchos trabajos de los participantes.

Un detalle curioso lo menciona Yulii Borisovich: el trabajo en la teoría del decaimiento del uranio lo considerábamos fuera del plan y lo hacíamos por las tardes, a veces hasta muy tarde... y la administración del instituto, por lo que se ve, tenía el mismo punto de vista: un colega capaz, pero más práctico, pidió 500 rublos para una revisión del decaimiento de los isótopos, pero dicha suma no se consiguió...

Al hablar de mi trabajo posterior quiero recalcar el papel de la teoría de detonaciones y explosiones.



Marc Chagall

Es conocido el asombro de los científicos de los Estados Unidos cuando las pruebas del aire les mostraron que, en agosto de 1949, su monopolio nuclear había terminado. En ese mes y año se realizó la primera prueba nuclear soviética, que fue el resultado lógico de un enorme esfuerzo muy dirigido, de todo el pueblo, y en el que se utilizó el potencial científico acumulado desde antes de la guerra. El asombro de los estadounidenses habría sido menor si hubieran leído nuestros trabajos anteriores a la guerra, publicados en ruso. No me refiero sólo a los trabajos acerca del decaimiento en cadena del uranio. La ciencia sobre las explosiones y la teoría de las detonaciones es también una parte necesaria de aquellos conocimientos sin los cuales no es posible resolver el problema. Recordemos que Jariton había formulado las condiciones de límite de la detonación ya desde 1938. La teoría unidimensional sobre detonaciones en su forma final la formulé en 1940. En los Estados Unidos el mismo problema fue resuelto por John von Neuman, un eminente matemático apenas en 1943. Quiero hacer la observación de que Von Neuman trabajó sobre el tema de detonaciones

precisamente en relación con el problema (para mayores detalles sobre la teoría de las detonaciones véase mi libro de fisicoquímica e hidrodinámica).

No mucho tiempo después del comienzo de la guerra me enviaron a Kazán. Surgió el problema de efectuar un análisis detallado de los procesos relacionados con los cohetes con armas, las *katiushas*. La teoría de la combustión de la pólvora, que era suficiente para balística interior de la artillería de ataque, tenía que ser corregida. Para las recámaras de combustión de las cargas a reacción es característico el balance detallado entre la entrada de los gases de pólvora durante la combustión y su salida a través del escape. Nuevas maneras de ver el problema de la combustión de la pólvora; el fenómeno de la expansión, descubierto en nuestro laboratorio de O.I. Leipunskii; el papel de una capa caliente de pólvora; todo esto era novedad para los artilleros y recibió diferentes valoraciones de los que usaban la pólvora y de los especialistas en balística interior.

Quiero mencionar el interés y apoyo al trabajo por parte del general y profesor I.P. Grave, del conocido constructor de cohetes

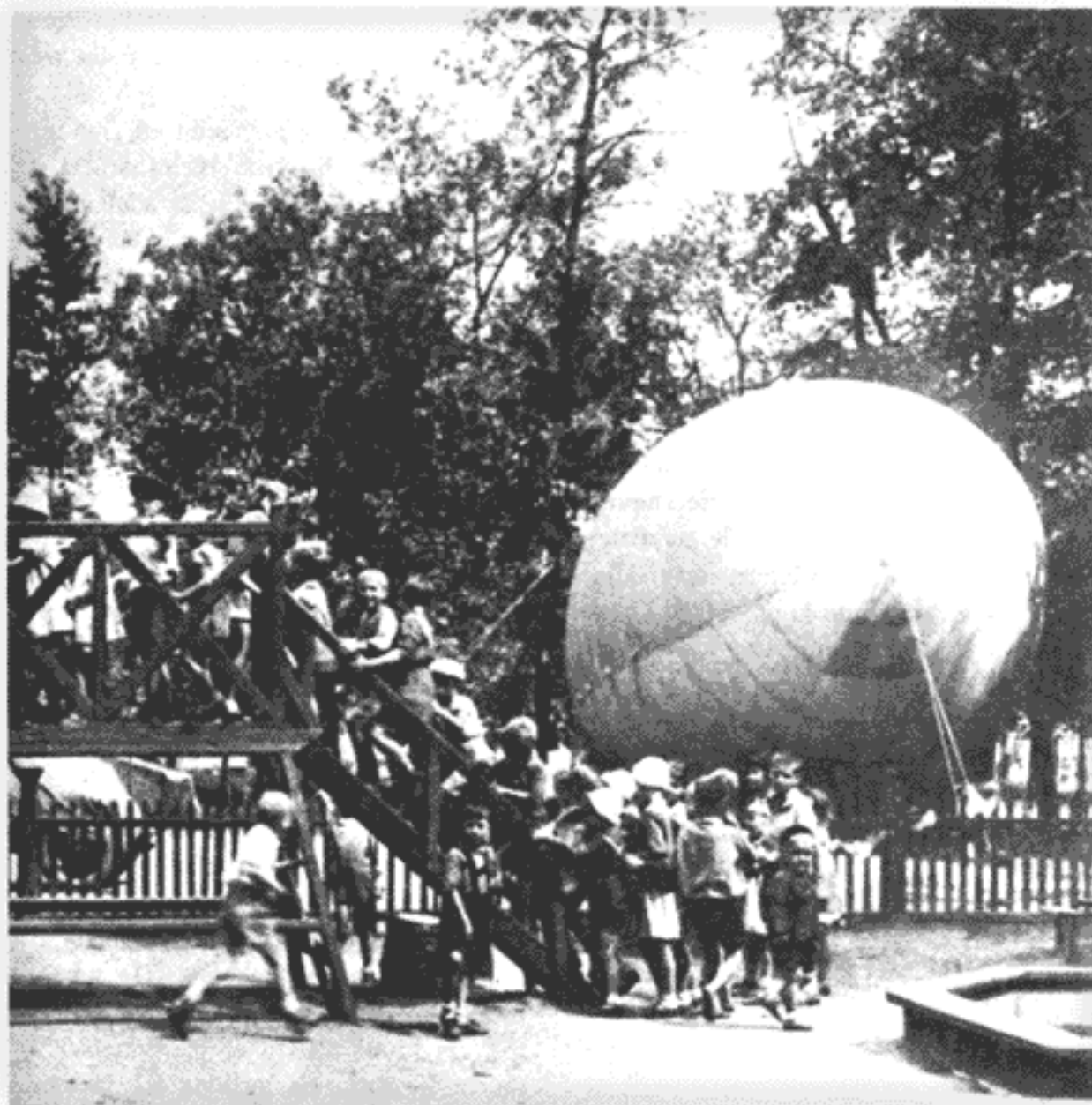
Yu. A. Probedonostsev (ambos fallecidos) y de G.K. Klimenko, quien vive todavía. Pero no siempre se contó con ese apoyo; hubo momentos difíciles, interferencias por parte de autoridades administrativas, intercambio de argumentos a gritos...

En relación con los trabajos sobre la combustión de la pólvora, nuestro grupo se trasladó a Moscú. El nuestro resultó ser el grupo de avanzada, después del cual se trasladó a Moscú (y no de regreso a Leningrado) todo el Instituto de Físico-Química al terminar la guerra. Los trabajos sobre la combustión y detonación, así como los referentes a la combustión de la pólvora, continuaron en el IFQ aún después de que el grupo de teóricos, junto conmigo, nos dedicamos a otros temas. Quiero expresar aquí mi agradecimiento por esto a A.G. Merzhanov y su grupo, B.V. Novozhilov, G.G. Manelis, A.I. Dremmin y a muchos otros (al Instituto de Físico-Química de la Academia de Ciencias de la URSS). En el curso de de sus trabajos ellos no olvidaron los míos, ni dejarán que otros lo olviden. Sin esta fidelidad es seguro que mucho de lo realizado por nosotros hubiera sido descubierto de nuevo en el extranjero. No hay trabajo más ingrato que el de una lucha atrasada por la prioridad...

El primer amor no se olvida, así que en 1977 se organizó un consejo científico sobre los fundamentos teóricos de los procesos de combustión. Hasta el presente continúo trabajando en el área de los problemas de combustión, aunque ya no con todas mis fuerzas. En relación con los problemas de la combustión, durante los años cincuenta, en interacción muy cercana con G. I. Barenblat, se formuló el concepto de la "asintoticidad intermedia", que tiene significado general para la física matemática. Así mismo, junto con él se encontró en la teoría de las perturbaciones de procesos auto-ondulatorios (la difusión y el movimiento de una flama, por ejemplo), una solución muy general que corresponde al movimiento y tiene incremento de cero definido. Los físicos que trabajan en teorías de campo verán aquí una analogía con la llamada partícula de Goldstone.

Se ha investigado (junto con A.O. Adlushinii y S.I. Judiaebii del IFQ, el paso de la teoría de Kolmogorov, Petrov, Piskunov y el inglés Fisher, a la teoría de Frank-Kamanestskii y mía. En el caso más general de la cinética de la reacción y las condiciones iniciales arbitrarias, el





acercamiento correcto al problema de la difusión y el movimiento estuvo relacionado nuevamente con la idea de las asintotas intermedias.

Muy complicada resultó la pregunta relacionada con el descubrimiento de L. D. Landau sobre la inestabilidad hidrodinámica de la flama: aquí, después de un trabajo fundamental de A.G. Istratov y V.B. Librovich, sólo en los años ochenta se logró un avance junto con V.B. Librovich y N.I. Kidinim.

Algunas ideas, tomadas de la teoría de campos, permitieron un nuevo acercamiento a la teoría no lineal de la combustión con spin. En los últimos tiempos, en los niveles del Soviet, es necesario prestar gran atención a la organización del trabajo relacionado con la combustión con mucha energía del carbón.

Regresemos al problema del átomo y a los años cuarenta y cincuenta.

Surgió un enorme grupo encabezado por Igor Borisovich Kurchatov. Una parte muy importante del trabajo la dirigió Yilii Borisovich Jariton. Muy pronto este problema me atrapó —también a mí— completamente. Durante estos años difíciles, el país no escatimó recursos para que se

tuvieran las mejores condiciones de trabajo. Para mí fueron años felices. Una técnica enorme y nueva se fundaba en las mejores condiciones de la gran ciencia. La atención a nuevas ideas y a las críticas era totalmente independiente del rango y de los títulos de los autores, no había secretos ni intrigas ni suspicacias, tal era el estilo de nuestro trabajo.

El país sufría los difíciles años de la posguerra. Sin embargo, la gran autoridad de Kurchatov generaba una atmósfera sana. Es más, nuestro trabajo tuvo una influencia positiva en la física soviética en su conjunto. Un día estando yo en el cubículo de Kurchatov, llegó una llamada desde Moscú "Entonces, ¿se imprime en *Pravda* el artículo del filósofo que contradice la teoría de la relatividad?" Igor Vasilievich, sin titubear, respondió: "Si lo hace, puede cancelar todo nuestro trabajo." El artículo no se publicó.

Hacia mediados de los años cincuenta, algunos de los problemas más importantes ya se habían resuelto. Soplaban vientos nuevos. La conferencia de Ginebra sobre la utilización pacífica de la energía atómica y el famoso discurso de Kurchatov en Harwell, Inglaterra, sobre las reacciones

termonucleares, fueron fundamentales para el desarme.

Se publicó parte del trabajo, relacionado con temas aplicados, que presentaban interés para la ciencia en general. Dentro de este paquete están los ensayos sobre ondas fuertes de choque, su estructura y sus propiedades ópticas.

El interés por los fenómenos que ocurren a altas temperaturas llevó también al planteamiento de una pregunta fundamental, referente al establecimiento del equilibrio termodinámico entre los fotones y los electrones. La especificidad se tenía en que, a temperaturas suficientemente altas, la dispersión se vuelve más importante que la radiación y la absorción. A.S. Kompaneets realizó un brillante trabajo sobre este tema. Se publicó en 1965 y resultó ser de gran importancia para la cosmología y la astrofísica, para los plasmas del universo caliente y para la radiación de materia que cae en el campo gravitacional de un hoyo negro.

El trabajo en el campo de la teoría de las explosiones me preparó psicológicamente para la investigación de explosiones estelares y de la más grande explosión: el universo en su conjunto.

El trabajo realizado despertaba el interés lo mismo hacia la física nuclear que hacia la física de neutrones. En los cincuenta era muy fácil pasar de aquí a la física de partículas elementales. El librito de Enrico Fermi, *Teoría de las partículas elementales*, ejerció en mí un efecto profundo y muy estimulante. En la edición inglesa, que era la que yo usaba —pero no en la traducción al ruso, sino en una edición de pasta dura—, estaba el siguiente prólogo (¿no de Fermi!): "El presente libro se edita con los medios de cierta dama rica, con la intención de demostrar la existencia de Dios. El descubrimiento de las leyes de la naturaleza y su armonía demuestran la existencia de Dios mejor que un tratado teológico."

Si por existencia de Dios se entiende la objetividad de las leyes de la naturaleza, que existen independientemente de nuestro conocimiento y voluntad, entonces esta tesis puede ser suscrita por cualquier filósofo marxista.

Dentro de mis estudios autodidactas trabajé con la mejor exposición de la teoría general de la relatividad: la segunda parte de *teoría de campos*, segundo tomo del curso de física teórica de Landau y Lifshits. Quiero de nuevo subrayar el papel tan importante que tuvo para mí la re-

lación con Lev Davidovich Landau. En Kazan, y posteriormente en Moscú, vivíamos cerca uno del otro y trabajábamos en temas muy afines. La posibilidad de ir con él a recibir un consejo, a que juzgara mis suposiciones, ideas, trabajos, todo esto me daba tranquilidad. Sobre la tragedia de enero de 1962, cuando Landau dejó de ser físico teórico (aunque quedó vivo), me enteré lejos de Moscú. No es posible olvidar los días de angustia, las semanas, los meses de lucha para salvarle la vida, un colectivo de físicos que trasponía las fronteras de los estados. La escuela fundada por Landau ¡se conservó! vive en personas que continuaron su monumental *Curso de Física Teórica*: E.M. Lifshits, L.P. Pitaevskii; vive en el Instituto de Física Teórica L.D. Landau, de la Academia de Ciencias de la URSS. Su organización, la selección de personal, el mantener el más alto nivel de teóricos, todo ello es un gran mérito de I.M. Jalatnikov y sus colaboradores. A la escuela de Landau, en un sentido estrecho se puede asociar al departamento teórico del Instituto de Física Teórica y Experimental de la Academia de Ciencias de la URSS, hijo de I.M. Jalatnikov, dirigido actualmente por L.B. Okunii. En sentido amplio, las ideas y métodos de Landau, junto con las ideas y métodos de otros grandes teóricos soviéticos (ya los mencioné de manera breve) llegaron a formar parte orgánica de toda la física teórica soviética.

Regresando al género de las memorias, quiero decir que el trabajo de Kurchatov y Jariton significó mucho para mí. Lo más importante fue el sentimiento pendiente con el país y con el pueblo. Esto me dio una cierta justificación moral, para en el periodo subsecuente, trabajar en problemas del área de partículas y astronomía, sin detenerme a pensar en su valor práctico. Antes escribí sobre cómo se despertó el interés científico hacia estos problemas. Es necesario ahora de manera autocrítica, mencionar mis debilidades y problemas, con los cuales me enfrenté en este nuevo cambio de mi actividad científica. Recuerdo que 1964 pasé oficialmente al Instituto de Matemática Aplicada (IMA) de la Academia de Ciencias de la URSS, organizado por M.V. Keldish desde 1953.

A la muerte de éste, dirige el Instituto A.N. Tijonov. En este instituto trabajé 19 años (hasta que me cambié al Instituto de Problemas Físicos, a principios de 1983).

Hasta el cambio al IMA, mi trabajo so-

bre partículas y astronomía estaba fuera de calidad. Hasta hace poco yo me enorgullecía de que obtenía el máximo de resultados físicos a partir de una reserva por demás elemental de conocimientos matemáticos, pero ahora, y sobre todo en relación con la teoría de partículas elementales, veo frente a mí el otro lado de esta afirmación. Y, de hecho, ¿por qué hay que limitarse a un determinado y humilde volumen de conocimientos matemáticos? Sin embargo, ahora pienso esto aplicado sobre todo al físico teórico profesional.

Existe una pregunta, completamente diferente, sobre la enseñanza de las matemáticas impartida en la educación media. Cuando crecieron mis hijos vi sus libros escolares y decidí escribir uno nuevo. Así surgió el libro *Matemática superior para físicos y técnicos que empiezan*.

Reproduzco parte de mi carta, publicada en la revista norteamericana *Physics Today* no. 95, en relación con el análisis de esta revista sobre las causas de la disminución del nivel académico de enseñanza de la física en Estados Unidos.

En relación con la discusión acerca de cómo enseñar física a las jóvenes generaciones, quiero mencionar una dificultad común.

Las leyes de la física se formulan con expresiones de ecuaciones diferenciales; esto ocurre, por ejemplo, con las leyes de Newton del movimiento de los puntos materiales de cuerpos sólidos o del giróscopo. Las leyes de Maxwell del campo electromagnético son ecuaciones en diferenciales parciales; del mismo modo se describen las leyes de la dinámica de los gases.

Los alumnos son capaces de entender todo este material. Sin embargo, sería más exacto afirmar que no son capaces de entender profundamente la física y de amarla, si no cuentan con los conocimientos matemáticos necesarios para ello. Ésta es mi principal observación: en la mayoría de los casos la enseñanza del análisis matemático empieza ya con atraso e incluye elementos de teoría de conjuntos y límites que la dificultan.

Las llamadas demostraciones "rigurosas" y los teoremas de existencia son mucho más complejos que el acercamiento intuitivo de las derivadas e integrales.

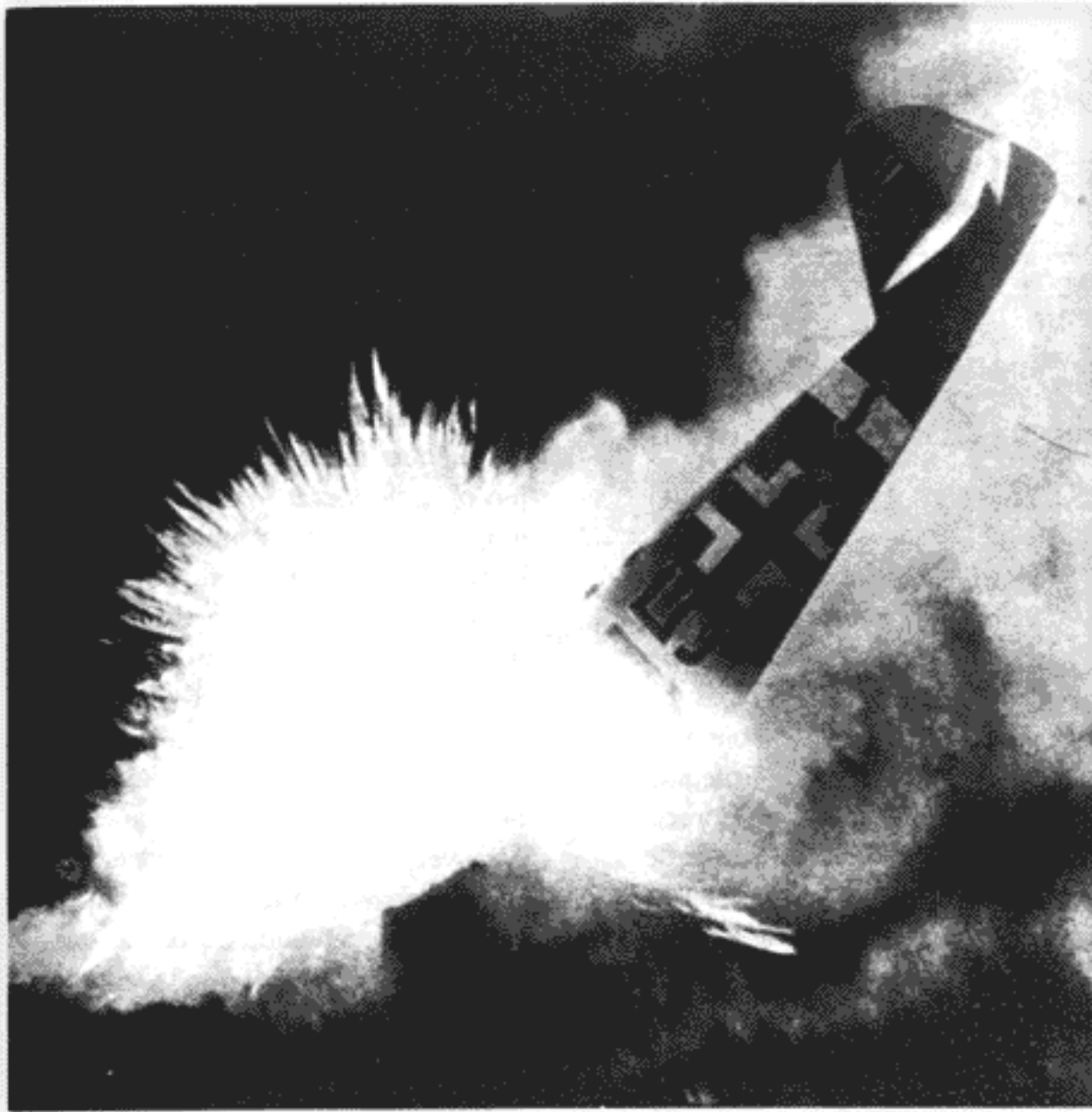
Como resultado, las nociones matemáticas necesarias para entender la física llegan a los estudiantes demasiado tarde. Del mismo modo se puede añadir la sal y la pimienta no a la hora de la comida, sino un poco después, a la hora del té."

Pero regresemos a esas matemáticas que se usan y se trabajan en la física teórica actual.

La teoría de las partículas en gran medida se desarrolló bajo la influencia de las ideas matemáticas que la adelantaban y en direcciones marcadas por las estructuras matemáticas. No voy a recordar el ejemplo clásico de la teoría de Dirac del electrón relativista, que llevó al concepto de la antipartícula. Refirámonos a la invariancia isotópica. Experimentalmente se observaba una simetría discreta: el cambio de protón por neutrón (o el cambio inverso), en estados cuánticos idénticos, no cambia la energía del núcleo. Sin embargo, Heisenberg consideró necesario introducir el grupo continuo de rotaciones en el espacio de isótopos, que directamente ¡transforma a un neutrón en protón con una rotación de 180 grados a través de místicos estados intermedios! No la más simple, sino la más complicada e ingeniosa formulación, fue la que resultó más fructífera. La profundidad de la formulación de Heisenberg se manifestó al ir del núcleo a los mesones. De manera muy evidente se manifiestan los conceptos, construidos en analogía con la rotación isotópica, relacionados con la teoría de los colores de los quarks con invariancia de gradiente, la teoría de Yang-Mills.

No voy a describir con detalle mis trabajos sobre partículas pues han sido publicados y comentados por personas muy calificadas. Dejando a un lado la gentileza de mis colegas, es fácil notar en sus observaciones la cantidad de errores que cometí.

En el presente libro se han editado parte de mis trabajos en astrofísica y los comentarios en torno de ellos. No es razonable hacer caso a estos comentarios. Ahora bien me parece que el más significativo de mis trabajos particulares es el de la teoría no lineal para la formación de estructura del universo o, como se llama actualmente, la teoría de los *blinis* (tortillas). La estructura del universo, su evolución y las características de la materia que forma la masa escondida son cuestiones que hasta la fecha siguen sin resolver del todo. En este trabajo desempeñaron un papel importante A.G. Doroshkevich, R.A. Suniaev, S.F. Shandarin y Ia. E. Einasto. El trabajo continúa. Sin embargo, la teoría de los *blinis* es "hermosa" por sí misma; si se satisfacen los supuestos de partida, entonces la teoría da una respuesta verdadera y no trivial. La teoría de los *blinis* es una contribución a la sinérgica. Me fue parti-



cularmente grato saber que este trabajo en cierto modo inició las investigaciones matemáticas de V.I. Arnold y otros. Un gran volumen de trabajo en el espectro de la radiación de fondo con la presencia de las perturbaciones "está en el aire": el universo resultó ser demasiado terso y las perturbaciones demasiado pequeñas.

La propuesta que formulé junto con R.A. Suniaev sobre el diagnóstico del plasma caliente mediante la dispersión de la radiación de fondo y del espectro producido, surgió entonces y despertó gran interés.

Es muy significativo que mi trabajo (junto con el de mis colegas muy cercanos, ante todo el de R.A. Suniaev, A.G. Doroshkevich, S.F. Shandarin y, hasta 1978, I.D. Novinkov) en el campo de la astrofísica, resultara ser propagandístico, difusor y pedagógico. Todo esto es necesario y saludable; sin embargo, al comparar los resultados originales obtenidos se desdeñan un tanto.

Al principio de mi labor en la astrofísica me molestaban las formas de trabajo que había adquirido durante el desarrollo de mis actividades prácticas. El astrofísico se debe preguntar: ¿cómo está formada la naturaleza? ¿qué observaciones hacen posible aclarar

esto? Al mismo tiempo me planteé el problema más bien de este modo: ¿cómo construir mejor el universo, o cómo construir los pulsares, para que se satisfagan las condiciones técnicas; perdón, quise decir las primeras observaciones? Así surgió la idea del universo frío, así apareció la idea de los pulsares, una enana blanca en estado de fuertes oscilaciones radiales. Como justificación sólo puedo decir que no me encaprichaba con mis propuestas. Parece que toda mi actividad científica y propagandística fue útil. Los astrónomos me aceptaron en su grupo. Merced a mis trabajos en astronomía, me eligieron para la Academia Nacional de los Estados Unidos y para la Real Academia; me otorgaron medallas de oro de la Sociedad de Astrónomos del Pacífico y de la Real Sociedad de Astronomía. Fue para mí un gran honor recibir el encargo de leer el discurso sobre Astronomía Internacional, en Grecia, entre las columnas de un antiguo foro; sobre mi el negro cielo estrellado, y las personas sentadas en bancas de mármol; mis preocupaciones antes y durante la lectura, y el final feliz. La vida sigue y la cosmología profundiza en regiones donde la física ya está muy lejos de la comprobación experimental. La nueva generación de teóricos no hablan ya de los

primeros tres minutos o segundos, no de reacciones nucleares y plasmas. Se discuten procesos a la distancia de Planck de 10^{-33} cm, en el tiempo de Planck de 10^{-43} seg. con energía de Planck de 10^{19} GeV. Linderen S. Hawking, A.D. Linde, A.A. Starobinskii, A. Guth y otros. En teoría de campo se estudian espacios y dimensión 5, 11 y 26. En condiciones de laboratorio, definitivamente van a imitar nuestro habitual espacio-tiempo 3+1; las otras dimensiones se esconden, se doblan, quedando sus huellas en partículas y campos sistemáticos. Llegan muchachos de 20 años e inmediatamente, sin tener en cuenta tradiciones y los trabajos anteriores, se lanzan a una nueva temática ¿No me veré yo entre ellos como un mastodonte o arqueotipo?

Me tranquiliza la transformación mental que viene con la edad. Actualmente, a unos días de cumplir los 70 años, me interesa menos la competitividad, el que sea yo precisamente quien diga esa "E" por la que discutían Boshinskii y Dobshinskii. El resultado final, la verdad física, me interesa casi independientemente de quién la haya encontrado primero. ¿Con que me alcanzarán las fuerzas para entenderla!

La humanidad, como nunca antes, se encuentra a punto de realizar descubrimientos maravillosos. Cada vez adquiere mayor claridad la idea de una teoría física que une a todo, en la que sigue desempeñando un papel importante la geometría. Puede ser que, en un sentido superior, no literal, resulte que Einstein tiene razón y que su teoría, introduciendo la fuerza de la gravedad como geometría, sea el modelo de la teoría unificadora.

Puede resultar que sea precisamente la cosmología la piedra de toque para la comprobación de nuevas teorías. Entonces recuerdo los trabajos de S.S. Gershtein, B.F. Shvarsman, S.B. Pikelner, L.B. Okuhi, I. Yu Kobzarev, M. Yu, Jlopov, y los míos propios, como los primeros intentos de formular argumentos cosmológicos para resolver problemas de partículas elementales que no están al alcance de los experimentos actuales. Junto con L.P. Grishuk y A.A. Starobinskii intentamos avanzar en el análisis del nacimiento del universo. Hoy, a mediados de los ochenta, las interrogantes más difíciles y fundamentales del conocimiento natural constituyen un nudo gordiano. Mi mayor deseo es que se encuentre la respuesta y poder entenderla. ♦

Moscú, 3 de marzo de 1984