یکصدمین سالگرد تولد الن تورینگ

سال ۲۰۱۲ میلادی به خاطر تقارن با یکصدمین سالگرد تولد الن تورینگ (۱۹۱۲ـ۱۹۵۴) ریاضیدان انگلیسی و از پیشگامان علوم کامپیوتر به نام «سال تورینگ» نامیده شده است. ایدهٔ «ماشین تورینگ» که به نظر بسیاری از کارشناسان مدل و مبنای کامپیوترهای امروزی است و نیز مبحث «هوش مصنوعی» از ابداعات مهم اوست. همچنین پژوهش‌های وی در رمزشناسی در زمان جنگ جهانی دوم ــ که منجر به شکستن دستگاه رمزی نیروی دریایی آلمان شد ــ از عوامل مؤثر در شکست آلمانی‌ها قلمداد می‌شود. در «سال تورینگ» یادواره‌های متعددی برای بزرگداشت او در نقاط مختلف دنیا ــ به ویژه در انگلستان در دانشگاه‌های کیمبریج و منچستر و بلچلی پارک که محل کار و تحقیقات او بوده است ــ برگزار می‌شود. هدایت این برنامه‌ها به عهدهٔ «کمیتهٔ مشورتی سدهٔ تورینگ» است که تعداد زیادی از متخصصان و سازمان‌های مرتبط با علوم کامپیوتر در آن عضویت دارند. لوگوی بالا نشان رسمی سال تورینگ است. اطلاع‌رسانی دربارهٔ برنامه‌های این سال از طریق وب‌گاه

http://www.turingcentenary.eu

انجام می‌شود.

به این مناسبت، در این شمارهٔ اخبار نخست شرحی دربارهٔ زندگی و فعالیت‌های علمی تورینگ می‌خوانید که عمدتاً از

http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/history/Biographies/Turing.html

با نگاهی به زندگینامهٔ تورینگ در ویکی‌پدیا و نیز در دایرةالمعارف فلسفی استانفورد، گرفته شده است. سپس گزارشی از یکی از مهمترین آثار او یعنی «دربارهٔ اعداد محاسبه‌پذیر با کاربردی در مسئلهٔ تصمیم»، همان مقاله‌ای که ایدهٔ ماشین تورینگ را در بر دارد، می‌آید. آنگاه مطلبی دربارهٔ معتبرترین جایزه در رشتهٔ کامپیوتر که «جایزهٔ تورینگ» نامیده شده، خواهد آمد. مطلب صفحهٔ «لوح» (صفحهٔ داخل روی جلد) نیز دربارهٔ تورینگ است. طرح روی جلد این شماره، تصویر مجسمه‌ای از تورینگ در موزهٔ بلچلی پارک در انگلستان است.

******

الن متیسن تورینگ (Alan Mathison Turing) در ۲۳ ژوئن سال ۱۹۱۲ در خانواده‌ای از طبقهٔ متوسط مرفه بریتانیا در شهر لندن زاده شد. دورهٔ تحصیلات متوسطهٔ او در یکی از دبیرستان‌های خصوصی معروف و بسیار قدیمی انگلستان گذشت که با شیوهٔ سنتی رایج در این گونه دبیرستان‌ها اداره می‌شد. هدف این نوع مدارس، تربیت نخبگان سیاسی و اداری برای امپراتوری بریتانیا بود. برای الن تورینگ، مانند اغلب متفکران اصیل که نظام متعارف مدارس برایشان تقریباً غیرقابل درک است، تن دادن به این نظام آسان نبود. آنچه او را به دنبال خود می‌کشاند، ایده‌ها و افکار خودش بود نه خواسته‌های معلمان. به علاوه، استعداد و علایق او در زمینهٔ ریاضیات و علوم تجربی بود حال آنکه معلمان بیشتر به دروسی از قبیل ادبیات کلاسیک توجه داشتند. یک بار مدیر مدرسه برای مادر الن نوشت: «اگر او می‌خواهد دراین دبیرستان بماند، باید هدفش این باشد که آدم فرهیخته و با فرهنگی بشود. اگر هدفش فقط این است که در آینده متخصصِ یک رشتهٔ علمی شود، تحصیل در اینجا وقت تلف کردن است.» وی در آنجا ریاضیات را تقریباً پیش خود آموخت و دوست داشت مسئله‌های ریاضی را با نگرش و ایده‌های خودش حل کند، و علی‌رغم نامتعارف بودن راه‌حل‌هایش، تمام جایزه‌های ریاضی ممکن را در دبیرستان بُرد. در ۱۵ سالگی، مسائل ریاضی پیشرفته‌ای را بدون آنکه حساب دیفرانسیل و انتگرال خوانده باشد حل کرد. همین طور مقالات اینشتین دربارهٔ نسبیت و ماهیت جهان فیزیکی اثر ادینگتن را دقیق و عمیق مطالعه کرد.

تورینگ در سال ۱۹۳۱ برای تحصیل ریاضیات وارد کالج کینگز دانشگاه کیمبریج شد. محیط دانشگاه برایش بسیار راحت‌تر و مطبوع‌تر از محیط مدرسه بود زیرا آزادی بسیار بیشتری برای پیگیری ایده‌هایش داشت. از جمله آثاری که مطالعهٔ آنها بر اندیشهٔ تورینگ اثر گذاشت، درآمدی بر فلسفهٔ ریاضی اثر برتراند راسل و نوشتهٔ فون نویمان دربارهٔ مکانیک

کوانتومی ــ موضوعی که تورینگ در طول زندگی‌اش بارها به آن برگشت ــ بود. در سال ۱۹۳۳ اولین نشانهٔ توجه خاص او به منطق ریاضی آشکار شد. در یک سخنرانی در کیمبریج با عنوان «ریاضیات و منطق» این نظر را مطرح کرد که نگرش صرفاً منطقی به ریاضیات، کفایت نمی‌کند زیرا گزاره‌های ریاضی تعبیرهای گوناگونی دارند که منطق فقط یکی از آنهاست.

تورینگ در سال ۱۹۳۴ فارغ‌التحصیل شد و سپس در بهار ۱۹۳۵ در درس پیشرفتهٔ ماکس نیومن (Max Newman) دربارهٔ مبانی ریاضیات حضور یافت. موضوع این درس، نتایج قضیهٔ ناتمامیت گودل و مسئلهٔ هیلبرت دربارهٔ تصمیم‌پذیری بود. مسئلهٔ «تصمیم‌پذیری» ظاهراً پرسش ساده‌ای را مطرح می‌کرد: با مفروض بودن یک گزارهٔ ریاضی، آیا می‌توان الگوریتمی یافت که معین کند آن گزاره درست است یا نادرست؟ برای دسته‌هایی از گزاره‌ها یافتن چنین الگوریتمی آسان است. مشکل واقعی وقتی رخ می‌نماید که بخواهید ثابت کنید برای دسته‌ای از گزاره‌ها چنین الگوریتمی وجود ندارد. وقتی الگوریتمی برای حل یک مسئله داده شود، الگوریتم بودن آن واضح است؛ ولی تعریفی از الگوریتم که به قدر کافی دقیق باشد تا بتوان ثابت کرد که الگوریتمی وجود ندارد، در دست نبود. تورینگ شروع به پژوهش در این زمینه کرد.

وی در سال ۱۹۳۵ به خاطر رساله‌ای با عنوان «دربارهٔ تابع خطای گاوسی» که حاوی اثبات قضیهٔ حدی مرکزی در نظریهٔ احتمال بود، به عضویت کالج کینگز انتخاب شد. البته این قضیه کمی قبل اثبات شده بود ولی تورینگ از این امر آگاهی نداشت و قضیه را مستقلاً ثابت کرد.

دستاوردهای تورینگ در کیمبریج به علت تحقیقاتش در نظریهٔ احتمال بوده است ولی او، چنانکه گفته شد، کار در زمینهٔ مسئلهٔ تصمیم را نیز از زمان حضور در درس نیومن آغاز کرده بود. وی در ۱۹۳۶ مقالهٔ «دربارهٔ اعداد محاسبه‌پذیر، با کاربردی در مسئلهٔ تصمیم» را انتشار داد. این همان مقاله‌ای است که ماشین مجردی را که بعداً «ماشین تورینگ» نامیده شد معرفی می‌کند، ماشینی که با استفاده از مجموعه‌ای از قواعد دقیق، بسته به نمادی که از روی نوار می‌خواند، از حالتی به حالت دیگر می‌رود.

ماشین تورینگ می‌تواند نمادی را روی نوار بنویسد یا نمادی را از نوار پاک کند. وی در این مورد نوشت: «بعضی از این نمادها دنباله‌ای از ارقام را تشکیل می‌دهند که بسط اعشاریِ عدد حقیقی‌ای است که قرار است محاسبه شود. بقیه، علائمی برای «کمک به حافظه»اند، و فقط این علائم هستند که می‌توان حذفشان کرد.»

او عدد محاسبه‌پذیر را به عنوان عددی اعشاری تعریف کرد که بسط اعشاری‌اش به وسیلهٔ ماشین تورینگی که با یک نوار خالی آغاز شود قابل تولید است. او نشان داد که عدد π محاسبه‌پذیر است، ولی چون تنها تعداد شمارایی از اعداد حقیقی محاسبه‌پذیرند، بیشترِ این اعداد محاسبه‌پذیر نیستند.

هرچند این مقاله حاوی ایده‌هایی بود که برای ریاضیات و کامپیوتر بسیار مهم از آب درآمدند، چاپ آن در مجلهٔ گزارش‌های انجمن ریاضی لندن به آسانی امکان‌پذیر نشد. دلیلش این بود که آلونزو چرچ (Alonzo Church)

هم قبلاً، در همان سال ۱۹۳۶، مقاله‌ای انتشار داده بود که ثابت می‌کرد هیچ شیوهٔ تصمیم‌گیری برای حساب وجود ندارد. رهیافت تورینگ البته بسیار متفاوت با رهیافت چرچ بود ولی لازم آمد که نیومن در این باره با مسئولان انجمن ریاضی لندن مذاکره و آنها را متقاعد کند. در مقالهٔ تجدیدنظرشدهٔ تورینگ به کار چرچ هم ارجاع داده شده است.

نتیجهٔ مثبت جرّوبحث با چرچ، راهیابی تورینگ به دانشگاه پرینستنِ آمریکا برای تحصیلات تکمیلی بود. وی از سال ۱۹۳۶ تا ۱۹۳۸ در آنجا زیرنظر چرچ به تحقیق پرداخت و رسالهٔ خود را با عنوان «نظام‌های منطقِ مبتنی بر اوردینال‌ها» نوشت که در سال ۱۹۳۹ انتشار یافت و نیومن آن را مقاله‌ای خواند که «پرتوی بر دیدگاه‌های تورینگ دربارهٔ جایگاه شهود در اثبات ریاضی می‌افکند.»

پیش از انتشار این مقاله، تورینگ دو مقالهٔ دیگر در مباحث سنتی‌ترِ ریاضی منتشرکرده بود، یکی دربارهٔ روش‌های تقریب زدن گروه‌های لی و دیگری دربارهٔ توسیع‌های گروه‌ها.

شاید جالب‌ترین جنبهٔ کار او در زمینهٔ ماشین تورینگ این بوده باشد که وی کامپیوتر مدرن را پیش از آنکه فناوری بشر بتواند آن را عملاً بسازد، توصیف کرد. او در مقالهٔ ۱۹۳۶ خود وجود یک ماشین تورینگ عام را ثابت کرد که می‌تواند کار هر ماشین خاص‌ـمنظوره را انجام دهد یا به عبارت دیگر هر محاسبه‌ای را انجام دهد به شرط آنکه نواری حاوی «دستورالعمل‌های» مناسب در آن قرار داده شود. هر چند «کامپیوتر» در نظر تورینگ، شخصی بود که محاسبه انجام می‌دهد، در توصیف او از ماشین عام می‌توان چهرهٔ کامپیوتر امروزی را دید که در آن برنامه به جای نوار قرار گرفته است.

تورینگ پس از بازگشت به کیمبریج در سال ۱۹۳۸ شروع به ساختن وسیله‌ای مکانیکی برای تحقیق در فرضیهٔ ریمان کرد که به نظر بسیاری از ریاضیدانان مهمترین مسئلهٔ حل‌نشده در ریاضیات است، اما فعالیت‌های او پس از مدت کوتاهی جنبهٔ دیگری یافت زیرا پژوهشکدهٔ دولتی کُد و رمز (GC& CS) از او خواست برای شکستن رمزهای ماشین انیگما [راز=Enigma]، دستگاه رمز آلمانی‌ها، با این پژوهشکده همکاری کند. دستگاه الکترومکانیکی انیگما را آلمانی‌ها در انتهای جنگ جهانی اول برای رمزگذاری و رمزشکنیِ پیام‌های سرّی ساخته بودند. لهستانی‌ها در سال ۱۹۳۲ تکنیک‌هایی برای رمزگشاییِ این دستگاه یافته بودند ولی بعداً

نازی‌ها مرتباً آن را کامل‌تر و پیچیده‌تر کرده بودند. بلافاصله پس از اعلام جنگ در ۱۹۳۹، تورینگ به طور تمام وقت در پژوهشکدهٔ دولتی کُد و رمز در بلچلی پارک (Bletchley Park) مشغول کار شد. کار در آنجا برایش دلپذیر بود زیرا میدان وسیعی برای ابداع و ابتکار در اختیارش می‌گذاشت. وی با همکاری یک ریاضیدان دیگر ماشین بمب (bombe) را ابداع کرد که از اواخر ۱۹۴۰ می‌توانست همهٔ پیام‌های سرّی نیروی هوایی آلمان را رمزگشایی کند ولی شکستن رمزهایی که به وسیلهٔ ماشین‌های انیگمای نیروی دریایی فرستاده می‌شد بسیار پیچیده‌تر بود، و این چالشی بود که تورینگ از آن لذت می‌برد، و بالاخره، در اواسط ۱۹۴۲، رهیافت آماری مبتکرانهٔ تورینگ همراه با اطلاعات به دست آمده منجر به رمزگشاییِ پیام‌های نیروی دریایی آلمان در بلچلی شد. به این ترتیب، ایده‌های درخشان تورینگ، بیش از هر عامل دیگری در نجات جان بسیاری از ناویان انگلیسی و شکست نیروی دریایی آلمان مؤثر واقع شد. وی در سال‌های ۱۹۴۲ و ۱۹۴۳ چند ماهی را برای مشورت و همکاری در زمینهٔ رمزگشایی در آمریکا به سر برد. آلمانی‌ها رمزها را پیچیده‌تر کرده بودند و تکنیک‌های جدیدتری برای شکستن آنها لازم آمده بود. هر چند تورینگ مستقیماً در پروژهٔ آمریکایی‌ها درگیر نشد ولی ایده‌های او بیشترین اهمیت را در کار آنها داشت.

در پایان جنگ، آزمایشگاه ملی فیزیک در لندن از او دعوت کرد یک کامپیوتر طراحی کند. او گزارش خود دربارهٔ موتور محاسبهٔ خودکار (ACE) را در سال ۱۹۴۶ تسلیم کرد که حاوی طرح تفصیلی دست اولی از یک کامپیوتر به مفهوم مدرن بود. ولی به نظر کسانی که گزارش را دیدند، اندازهٔ حافظه‌ای که در نظر گرفته بود، بیش از حد بلندپروازانه بود، و تصویب این طرح با مشکلاتی مواجه شد.

وی سال دانشگاهی ۱۹۴۷ـ۱۹۴۸ را بار دیگر در کیمبریج گذراند و در آنجا علائق متنوعی را، دور از کامپیوتر و ریاضیات، دنبال می‌کرد، از جمله تحقیق در نورولوژی و بیولوژی. ولی کامپیوتر را هم کاملاً فراموش نکرد وگاه برنامه برای کامپیوتر می‌نوشت. علائقی هم در خارج از حیطهٔ علمی داشت، از جمله ورزش دو و میدانی را جدّی گرفت و در یک مسابقهٔ دو ماراتن، نفر پنجم شد.

در سال ۱۹۴۸، نیومن که استاد ریاضیات در دانشگاه منچستر بود از تورینگ دعوت کرد با سمت دانشیار در آنجا کار کند. به گفتهٔ نیومن قبلاً کار برای ساخت یک ماشین محاسبه در آنجا شروع شده بود و انتظار می‌رفت که تورینگ قسمت ریاضی کار را به عهده بگیرد. وی چند سالی برای طراحی زیرروال‌هایی (subroutines) که برنامه‌های بزرگتر برای چنین ماشینی از آنها ساخته می‌شوند تحقیق کرد و سپس، وقتی این نوع مسائل به صورت استاندارد در آمد، به تحقیق در مسئله‌های کلی‌تر آنالیز عددی پرداخت.

تورینگ در سال ۱۹۵۰ مقالهٔ «ماشین محاسبه و هوش» را نوشت که یکی دیگر از شاهکارهای ذهن خلاق اوست و در واقع بعضی از مسائل مهمی را که پس از پیدایش کامپیوترهای جدید مطرح شد پیش‌بینی کرده است. این مقاله به مسائلی می‌پردازد که امروز در قلب مبحث «هوش مصنوعی» قرار دارد. در همین مقاله است که او آزمونی را که به «آزمون تورنیگ» معروف شد در پیش می‌نهد. این آزمون راهنوز هم به کار می‌برند تا پاسخی برای این پرسش بیابند که یک کامپیوتر می‌تواند هوش داشته باشد یا نه. در واقع، تورینگ درگیر بحث‌هایی دربارهٔ تقابل و تشابه بین ماشین و مغز شد. عقیدهٔ او، که با شدت و قوّت آن را بیان می‌کرد چنین بود: کسانی که معتقدند شکافی پرنکردنی بین مغز و ذهن وجود دارد باید بگویند تفاوت این دو در چیست.

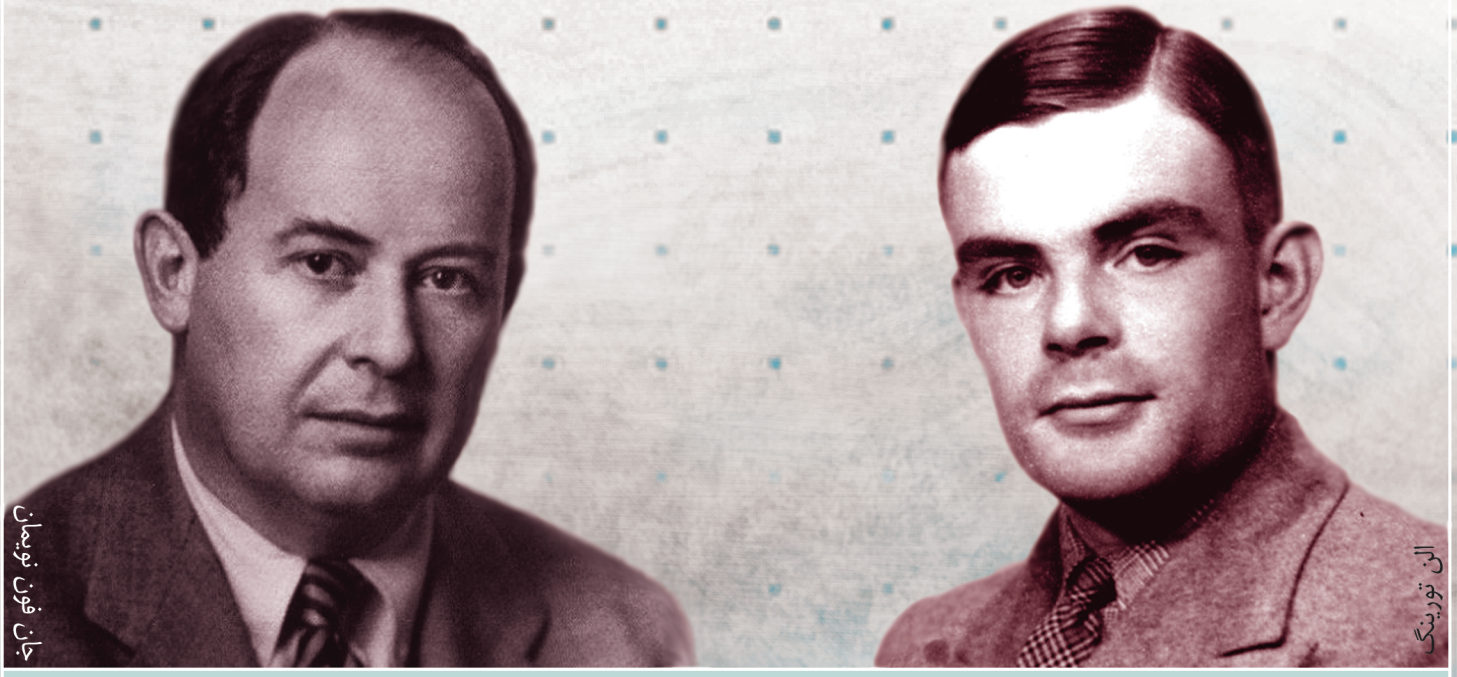
وی مسائل مربوط به تصمیم‌پذیری را نیز که نقطهٔ شروع پژوهش‌های ریاضیِ تابناکش بود فراموش نکرد. یکی از مسئله‌های اصلی نظریهٔ نمایش‌های گروه این بود که با مفروض بودن واژه‌ای در یک گروهِ متناهیْ نمایش، آیا الگوریتمی وجود دارد که تعیین کند آن واژه برابر با همانی است یا نه. ریاضیدانی به نام پُست (Post) ثابت کرده بود که برای نیمگروه‌ها چنین الگوریتمی وجود ندارد. تورینگ هم گمان می‌کرد همین حکم را برای گروه‌ها ثابت کرده است، ولی اشتباهی در اثبات خود یافت. با این حال، توانست از همان اثبات اشتباه‌آمیز این نکتهٔ صحیح را بیرون بکشد که نیمگروهی وجود دارد که مسئلهٔ واژه در مورد آن حل ناپذیر است، و این نتیجه را در سال ۱۹۵۰ منتشر کرد. ریاضیدان دیگری به نام بونه (Boone) در ۱۹۵۷ با استفاده از ایده‌های برگرفته از مقالهٔ تورینگ وجود گروهی با مسئلهٔ واژهٔ حل‌ناپذیر را ثابت کرد.

تورینگ در سال ۱۹۵۱، عمدتاً به خاطر کارش در زمینهٔ ماشین تورینگ در ۱۹۳۶، به عضویت انجمن سلطنتی لندن (که در حکم فرهنگستان علوم بریتانیاست) برگزیده شد. وی در سال ۱۹۵۱ مشغول پژوهش در کاربرد ریاضیات در شکل‌ها [فرم‌ها]ی زیستی بود و در ۱۹۵۲ بخش اول از مطالعهٔ نظری شکل‌زایی (morphogenesis) خود را که دربارهٔ پیدایش الگو و شکل در موجودات زنده بود انتشار داد.

او در دو سال آخر زندگی‌اش نیز با شدت وحدّت به تحقیقات خود ادامه داد. علاوه بر پیشبرد مطالعاتش در شکل‌زایی، دربارهٔ ایده‌های جدیدی در نظریهٔ کوانتومی، دربارهٔ نمایش ذرات بنیادی به وسیلهٔ اسپینورها، و در نظریهٔ نسبیت تحقیق کرد. در دوران جنگ سرد، عملیات رمزگشایی در پارک بلچلی مبنای کار ادارهٔ جدیدی به نام اختصاری GCHQ قرار گرفت که حکومت بریتانیا برای عملیات رمزشکنی و اطلاعاتی تأسیس کرد. تورینگ به کار در GCHQ ادامه داد ولی زمانی که به دلایلی غیرسیاسی از این اداره اخراج شد، تبدیل به یک «مشکل امنیتی» شد زیرا کارهای رمزگذاری و رمزشکنی فوق‌العاده سرّی تلقی می‌شد. تورینگ دوستان خارجی زیادی داشت و دستگاه‌های امنیتی نگران ارتباط او و این دوستان بودند.

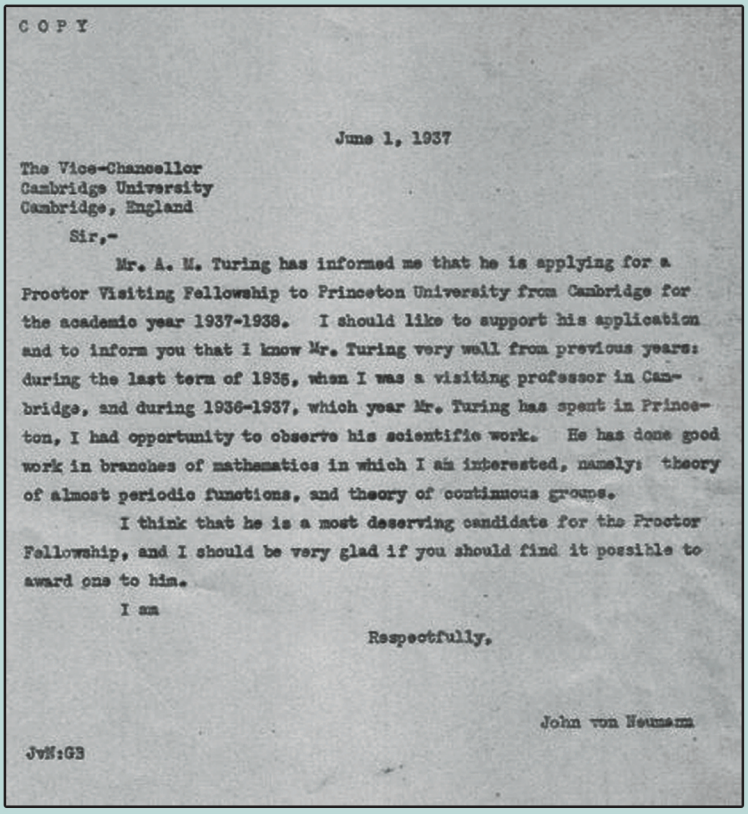
الن تورینگ روز ۷ ژوئن ۱۹۵۴ در ۴۲ سالگی بر اثر مسمومیت با سمّ سیانور درگذشت. درکنار او سیب نیم‌خورده‌ای یافتند که احتمال می‌دهند گاز زدن آن سبب مرگش شده باشد. فرضیه‌های مختلفی (از خودکشی تا بی‌مبالاتی در نگهداری مواد شیمیایی در خانه و قتل) دربارهٔ علت مرگش مطرح شده است. زندگی و علل و زمینه‌های مرگ تورینگ موضوع نوشته‌های متعدد و حتی سوژهٔ نمایشنامه و فیلم قرار گرفته است.

بسمه تعالی


جان فون نویمان

الن تورینگ

توصیه‌نامهٔ فون نویمان برای تورینگ



COPY

June 1, 1937

The Vice-Chancellor
Cambridge University
Cambridge, England

Sir,-

Mr. A. M. Turing has informed me that he is applying for a Proctor Visiting Fellowship to Princeton University from Cambridge for the academic year 1937-1938. I should like to support his application and to inform you that I know Mr. Turing very well from previous years: during the last term of 1935, when I was a visiting professor in Cambridge, and during 1936-1937, which year Mr. Turing has spent in Princeton, I had opportunity to observe his scientific work. He has done good work in branches of mathematics in which I am interested, namely: theory of almost periodic functions, and theory of continuous groups.

I think that he is a most deserving candidate for the Proctor Fellowship, and I should be very glad if you should find it possible to award one to him.

I am

Respectfully,

John von Neumann

JvN:G3

توصیه‌نامهٔ روبه‌رو مربوط به درخواست الن تورینگ برای دریافت بورس یکسالهٔ پراکتر (Procter) از دانشگاه پرینستن در تابستان ۱۹۳۷ است. وی سال قبل از آن برای ادامهٔ مطالعاتش از کیمبریجِ انگلستان به پرینستن آمده و تصمیم گرفته بود در مدت اقامتش در آنجا درجهٔ دکتری خود را زیر نظر آلونزو چرچ، منطقدان برجسته، بگیرد (در آن زمان، خیلی از ریاضیدان‌های انگلیسی گرفتن مدرک PhD را لازم نمی‌دیدند، و خودِ تورینگ هم از قبل صاحب دستاوردهای پژوهشی مهمی بود.)

این توصیه‌نامه را جان فون نویمان ریاضیدان بزرگ مجارستانی ـآمریکایی در حمایت از درخواست تورینگ نوشته است. فون نویمان در آن هنگام، در ۳۴ سالگی، ریاضیدانی نام‌آور و عضو دائم انستیتوی مطالعات پیشرفتهٔ پرینستن بود. وی در توصیه‌نامهٔ خود اشاره می‌کند که در ترم آخر سال ۱۹۳۶ که به عنوان استاد میهمان در کیمبریج بوده و در سال دانشگاهی ۱۹۳۶ـ۱۹۳۷ که تورینگ در پرینستن بوده با تورینگ و تحقیقاتش آشنا شده است، و می‌گوید «او پژوهش‌های خوبی در شاخه‌هایی از ریاضیات که مورد علاقهٔ من است، یعنی در نظریهٔ توابع تقریباً دوره‌ای و نظریهٔ گروه‌های پیوسته، انجام داده است» و تورینگ را «نامزدِ بسیار شایسته برای دریافت بورس پراکتر» معرفی می‌کند. ولی عجیب اینجاست که هیچ اشاره‌ای به اثر بسیار مهم تورینگ، «اعداد محاسبه‌پذیر ... »، که حدود شش ماه پیش از آن به چاپ رسیده بود، نمی‌کند، حال آنکه این کار به مراتب از کارهای مورد اشاره در توصیه‌نامه مهمتر، و حاوی ایده‌ای است که بعداً به «ماشین تورینگ» معروف شد. فون نویمان خود نیز از پیشگامان دانش کامپیوتر در قرنِ بیستم است که نقش برجسته‌ای در معماری کامپیوترهای نوین داشته و گزارشی که دربارهٔ طرح کامپیوتر EDVAC در سال ۱۹۴۵ نوشت، معمولاً مبنای ساخت عملیِ کامپیوترهای امروزی، کامپیوترهایِ با برنامهٔ ذخیره شده، به شمار می‌آید.